Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

EXKURSIONS-FÜHRER

Tübingen 2025

DBG • Band 121 • 2025 • ISSN – 0343-1071

Schriftleitung: **Y. Oelmann, Tübingen**

DBG Mitteilungen Band 121

Schriftleitung

Prof. Dr. Yvonne Oelmann
AG Geoökologie
Universität Tübingen
Rümelinstr. 19-23
72070 Tübingen
yvonne.oelmann@uni-tuebingen.de

ISSN – 0343-1071

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN

JAHRESTAGUNG DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT 2025



Schloss Hohentübingen
(Foto: J. Klatt)



Campus Morgenstelle der Universität Tübingen
(Foto: M. Dippold)



Blick in das Ammertal
(Foto: T. Scholten)

Exkursionsführer

13. September – 18. September 2025

#GesundeBödenKlimaschutz

Tübingen

DBG
Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

Tagungsveranstalter und Danksagung

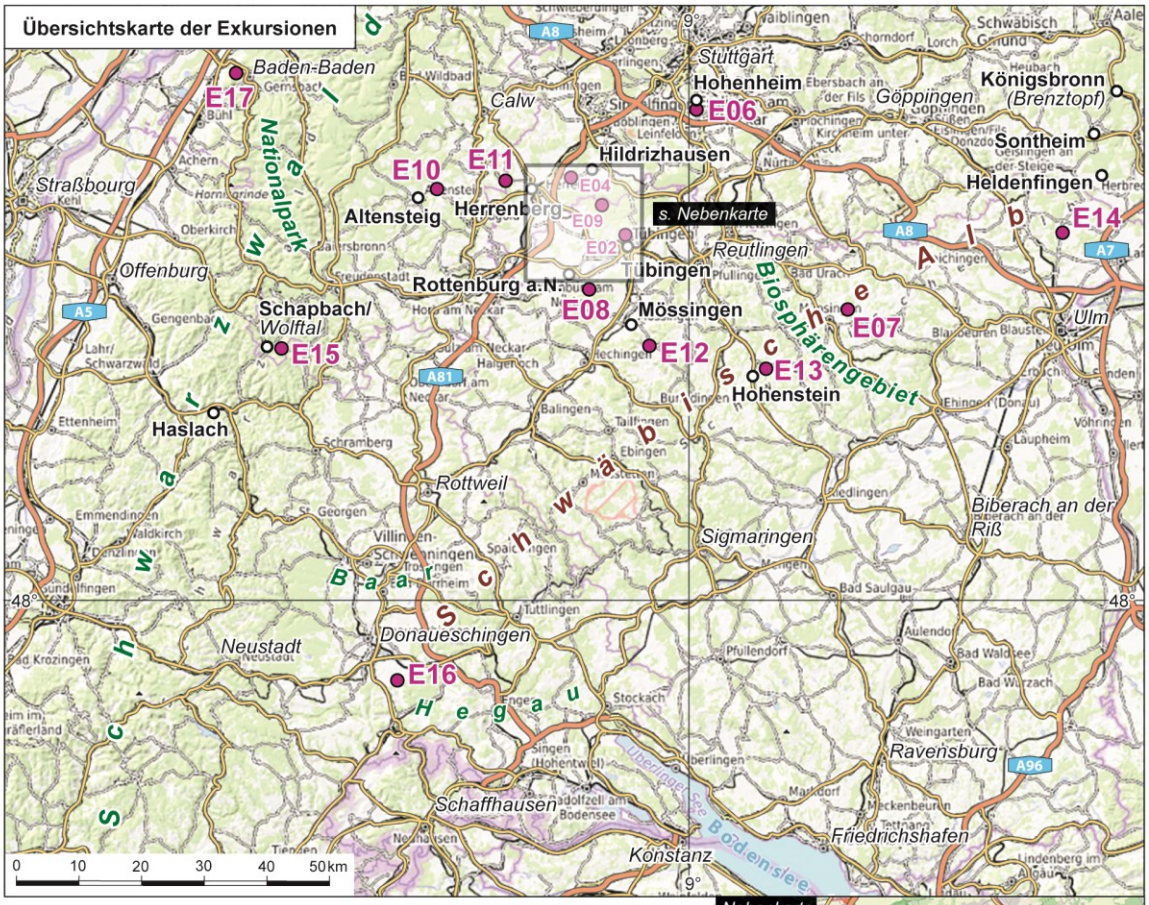
Die Tagung wird veranstaltet von der **Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft** in Zusammenarbeit mit der **Universität Tübingen** (Prof. Dr. Michaela Dippold, Geosphären-Biosphären Wechselwirkungen; Prof. Dr. Yvonne Oelmann, Geoökologie; Prof. Dr. Thomas Scholten, Bodenkunde und Geomorphologie).

Die Veranstalter bedanken sich herzlich bei den folgenden Institutionen und deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die sich an der Vorbereitung und Durchführung der Exkursionen beteiligten:

- Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Bodenökologie (F. Lang, J. Niederberger, K. Stutz)
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (E. Eberhardt)
- DBG AG Humusformen (G. Milbert)
- Eberhard Karls Universität Tübingen
  Fachbereich Biologie, Botanischer Garten (A. Kehl)
  Fachbereich Geowissenschaften, Geosphären-Biosphären-Wechselwirkungen (C. Banfield)
  Fachbereich Geowissenschaften, Geographie, Wirtschaftsgeographie (H. Eck)
  Fachbereich Geowissenschaften, Geographie, Bodenkunde und Geomorphologie
  (J. Eberle, C. Gall, S. Seitz)
  Fachbereich Geowissenschaften, Geographie, Geoökologie (M. Siegel)
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Boden und Umwelt (P. Hartmann, A. Hölscher, V. Lang, K. Näthe, H. Puhlmann, L. Rubin)
- Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (S. Ehekircher, S. Hein, H.E. Megerle, J. Schäffer, G. Spangenberg)
- Kantonsarchäologie Aargau, Schweiz (B. Höpfer)
- Landesforstbetrieb ForstBW (C. Knecht)
- Landratsamt Böblingen (K. Liedtke, W. Seitz)
- Maierhof, Schapbach (Familie F. Dieterle)
- Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Bodenwissenschaften (B. Glaser, K. Kaiser)
- Nationalpark Schwarzwald (S. Gärtner)
- Oberfinanzdirektion Baden-Württemberg (S. Hildbrand, F. Zeller)
- Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main (B. Keil)
- Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB), Ref. Landesbodenkunde (F. Baumann, M. Boll, W. Fleck, P. Haas, J. Henkner-Sennock, R. Maier, K. Rilling)
- Schotterwerk Georg Mast (M. Schmelzle)
- Sulzerhof, Schapbach (Familie B. Dieterle)
- Universität Hohenheim
  Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Biogeophysik (J. Ingwersen, T. Streck)
  Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Allgemeine Bodenkunde (K. Stahr)
- Universität Mainz, Geographisches Institut (S. Scherer)

Die Überprüfung der Bodenbeschreibungen nach den derzeit gültigen Kartieranleitungen (KA6, WRB 2022) übernahmen A. Bauriegel, E. Eberhardt, G. Milbert, K. Stahr und Kollegen.

Exkursionen DBG-Tagung 2025





E01. Dichter und Denker – Ein Spaziergang zur Universitäts- und Stadtgeschichte.

E02. Pflanzenvielfalt erleben – Der Botanische Garten der Universität Tübingen.

E03. Führung durch die Labore des Geo- und Umweltforschungszentrums (GUZ).

E04. Beschreibung von Böden mit der KA6.

E05. Kleine Pflanzen, große Wirkung: Moose und ihr Einfluss auf den Boden (Technische Tour).

E06. Exkursion zum Land-Atmosphäre Feedback Observatorium (LAFO) der Universität Hohenheim.

E07. UNESCO Global Geopark und Biosphärengebiet Schwäbische Alb.

E08. Bäume im Stress – wie sehen die Wälder der Zukunft aus?

E09. Wie ist die Lage…? – Böden des Schönbuchs unter besonderer Berücksichtigung von Bodenausgangsgestein und Lagengliederung.

E10. Klimaschützer Waldboden: Ergebnisse zu Treibhausgasflüssen aus dem forstlichen Umweltmonitoring.

E11. Böden im Oberen Gäu bei Herrenberg – tiefe Einblicke in eine vom Karst geprägte Bodenlandschaft

E12. Die Mittlere Schwäbische Alb - Geomorphodynamik und Landschaftsgenese.

E13. Böden der Schwäbischen Alb im Vergleich zu den Böden im Albvorland – Natürliche Ertragsfähigkeit und landwirtschaftliche Nutzung.

E14. Querschnitt durch die Böden und Landschaften des Langenauer Riedes und der württembergischen Ostalb.

E15. Standorte, Böden und aktuelle sowie historische Landnutzung im oberen Wolftal im Schwarzwald.

E16. Was uns Kolluvien und begrabene Böden erzählen - Prähistorische Landnutzung in SW-Deutschland.

E17. Böden und Wälder im und um den Nationalpark Schwarzwald: Bodenkundlicher Querschnitt durch den perhumiden Nordschwarzwald und waldökologische Konsequenzen.

Inhaltsverzeichnis

Naturräumliche Charakterisierung von Tübingen und seiner Umgebung 1

1 Einleitung 1

2 Die Keuperwaldberge des Naturparks Schönbuch 2

3 Der Spitzberg 4

4 Ammertal und Gäulandschaften 4

5 Das Neckartal 5

6 Albvorland und Schwäbische Alb 5

Exkursionen

E01: Dichter und Denker – Ein Spaziergang zur Universitäts- und Stadtgeschichte 7

E02: Pflanzenvielfalt erleben – Der Botanische Garten der Universität Tübingen 9

E03: Führung durch die Labore des Geo- und Umweltforschungszentrums (GUZ) 17

E04: Beschreibung von Böden mit der KA6 19

E05: Kleine Pflanzen, große Wirkung: Moose und ihr Einfluss auf den Boden (Technische Tour) 37

E06: Exkursion zum Land-Atmosphäre Feedback Observatorium (LAFO) der Universität Hohenheim 47

E07: UNESCO Global Geopark und Biosphärengebiet Schwäbische Alb 55

E08: Bäume im Stress – Wie sehen die Wälder der Zukunft aus? 63

E09: Wie ist die Lage…? – Böden des Schönbuchs unter besonderer Berücksichtigung von Bodenausgangsgestein und Lagengliederung 83

E10: Klimaschützer Waldboden: Ergebnisse zu Treibhausgasflüssen aus dem forstlichen Umweltmonitoring 121

E11: Böden im Oberen Gäu bei Herrenberg – Tiefe Einblicke in eine vom Karst geprägte Bodenlandschaft 141

E13: Böden der Schwäbischen Alb im Vergleich zu den Böden im Albvorland – Natürliche Ertragsfähigkeit und landwirtschaftliche Nutzung 173

E14: Querschnitt durch die Böden und Landschaften des Langenauer Riedes und der württembergischen Ostalb 247

E15: Standorte, Böden und aktuelle sowie historische Landnutzung im oberen Wolftal im Schwarzwald 275

E16: Was uns Kolluvien und begrabene Böden erzählen – Prähistorische Landnutzung in SW-Deutschland 305

E17: Böden und Wälder im und um den Nationalpark Schwarzwald: Bodenkundlicher Querschnitt durch den perhumiden Nordschwarzwald und waldökologische Konsequenzen 329

Naturräumliche Charakterisierung von Tübingen und seiner Umgebung

Joachim Eberle

Universität Tübingen, Geographisches Institut

1 Einleitung

Die Universitätsstadt Tübingen liegt etwa 40 Kilometer südlich der Landeshauptstadt Stuttgart im Zentrum des Südwestdeutschen Schichtstufenlandes und am geographischen Mittelpunkt Baden-Württembergs! Die Physische Geographie der Stadt und ihrer Umgebung ist außerordentlich vielfältig und ermöglicht auf kurzer Distanz das Studium sehr unterschiedlicher (Kultur-) Landschaften und Geoökosysteme.

Auch wenn der Neckar und die berühmte Neckarfront für viele das Wahrzeichen von Tübingen darstellen, liegt die eigentliche Altstadt nicht im Neckartal, sondern im Tal der Ammer. Dieser Fluss entspringt in einer Karstquelle bei Herrenberg, fließt anschließend durch die Gäulandschaft und erreicht von Westen die Stadt. Ob im alten botanischen Garten oder in den Gassen der Altstadt – die Ammer ist an vielen Stellen präsent und wurde in den letzten Jahren auch in neueren Wohngebieten städtebaulich wieder besser integriert. Das „Wohnen am Fluss“ hat in Tübingen aber auch an den beiden anderen wichtigen Flüssen – Neckar und Steinlach – zu neuen Stadtentwicklungen geführt. Neben Ammer, Neckar und Steinlach spielt der Goldersbach für die Geomorphologie und Hochwasserdynamik im Stadtgebiet eine erhebliche Rolle. Er entwässert fast den gesamten Naturpark Schönbuch und hat dem Tübinger Stadtteil Lustnau in der Vergangenheit mehrere Überschwemmungen beschert. Vor wenigen Jahren wurde durch bauliche Maßnahmen der Hochwasserschutz erheblich verbessert.

Die Lage der Stadt zwischen Schwarzwald im Westen und Schwäbischer Alb im Osten bedingt ihre klimatische Gunstsituation. Mit nur 700 mm Jahresniederschlag und einer Mitteltemperatur von etwa 8,5 °C sind die klimatischen Verhältnisse mit den Weinbaugebieten des nördlichen Baden-Württembergs vergleichbar. Bereits zwanzig Kilometer weiter südöstlich erreichen die Niederschläge am Albtrauf fast 1000 mm und die Jahresmitteltemperatur sinkt unter 7 °C. Der Höhenunterschied von fast 200 Metern innerhalb des Stadtgebietes zwischen Neckar und den nördlichen Wohngebieten am Schönbuchrand führt allerdings zu einer ausgeprägten klimatischen Differenzierung. So genießt man etwa bei Inversionslagen im Herbst und Frühjahr von den Höhenlagen aus häufig einen ungetrübten Blick zur Schwäbischen Alb, während das Stadtzentrum im Nebel verborgen bleibt. Dabei kann es zu Temperaturunterschieden von bis zu 10 Kelvin kommen.

Die Kessellage der Altstadt, die Wasserscheide zwischen Ammer und Neckar sowie zahlreiche Seitentäler und Bergrücken erschweren die Orientierung und stellen seit langem auch Verkehrsplaner vor große Herausforderungen. Für ortsfremde Autofahrer kann Tübingen zu einer echten Orientierungsprüfung werden. Die vier Flüsse und ihre Täler prägen das Relief der Stadt und erlauben gleichzeitig die Abgrenzung und Charakterisierung der wichtigsten Teillandschaften rund um Tübingen (Abb. 1).

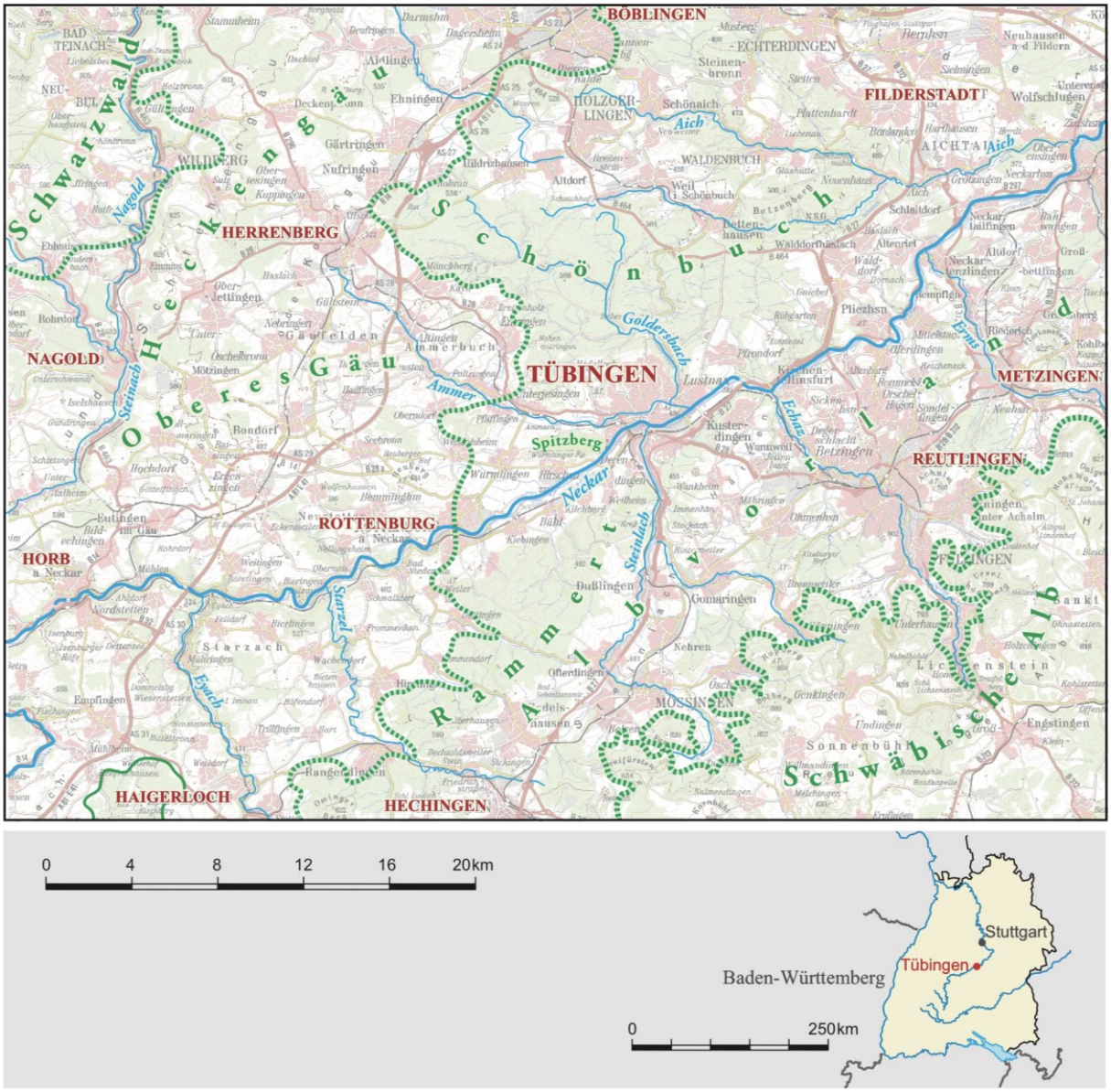


Abb. 1: Gewässernetz und Teillandschaften rund um Tübingen (Karte: R. Szydlak)

2 Die Keuperwaldberge des Naturparks Schönbuch

Der Schönbuch wurde 1972 zum ersten Naturpark Baden-Württembergs erklärt. Auch wenn dieser mit einer Fläche von 156 km² zu den kleinsten Naturparks Deutschlands gehört, ist das geschlossene Waldgebiet ohne größere Siedlungen und mit nur einer querenden Landesstraße im ansonsten dicht besiedelten Mittleren Neckarraum eine Besonderheit. Große Teile des Naturparks werden durch den Goldersbach entwässert, ein noch weitgehend naturbelassenes Gewässer, das in Tübingen in die Ammer mündet. Die Wechsellagerung widerständiger Sandsteine und leicht erodierbarer Mergel- und Tongesteine sind typisch für die Keuper-Formation der oberen Trias (Abb. 2). Sie führen zu einem ausgeprägten Schichtstufenrelief mit Hochflächen, steilen Kerbtälern („Klingen“) und rutschanfälligen Hängen. Auf dem aktuell sanierten Lehrpfad im Kirnbachtal lassen sich die geologischen und geomorphologischen

Besonderheiten des Schönbuchs sehr schön erwandern.

Die Böden im Schönbuch haben sich überwiegend in periglazialen Deckschichten entwickelt. Während auf den Hochflächen sandige Braunerden, auf Lösslehmen auch Pseudogleye und Pseudogley-Parabraunerden vorherr-schen, dominieren an den Hängen oft mehrschichtige Braunerde-Pelosole oder Pelosol-Braunerden. In den größeren Talauen treten verbreitet Gleye auf, an Quellaustritten sind oftmals Quellgleye mit Kalktuffbildungen anzutreffen.

Der „schöne Buchenwald“ sah noch vor 200 Jahren durch ungeregelte Rodung, Wiesennutzung und Waldweide ganz anders aus. Als Johann Wolfgang von Goethe den Schönbuch 1797 auf einer Reise in die Schweiz durchquerte, beschrieb er keine Wald-, sondern eine offene, parkähnliche Graslandschaft mit „einzelnen Eichbäumen auf der Trift“. Heute gelten der Naturpark und seine forstwirtschaftliche Nutzung als Vorbild nachhaltiger Waldnutzung, auch wenn sich Schäden durch die mechanisierte Holzernte nicht ganz vermeiden lassen. Ausgehend vom Kloster Bebenhausen im Zentrum des Naturparks sowie von zahlreichen Wanderparkplätzen am Rande wird der Schönbuch jährlich von mehr als 5 Millionen Menschen besucht – er ist damit das bedeutendste Naherholungsgebiet der Region Stuttgart. Gleichzeitig bietet das Waldgebiet beste Bedingungen für Forschung und Lehre zahlreicher geo- und biowissenschaftlicher Institute der Universität Tübingen.

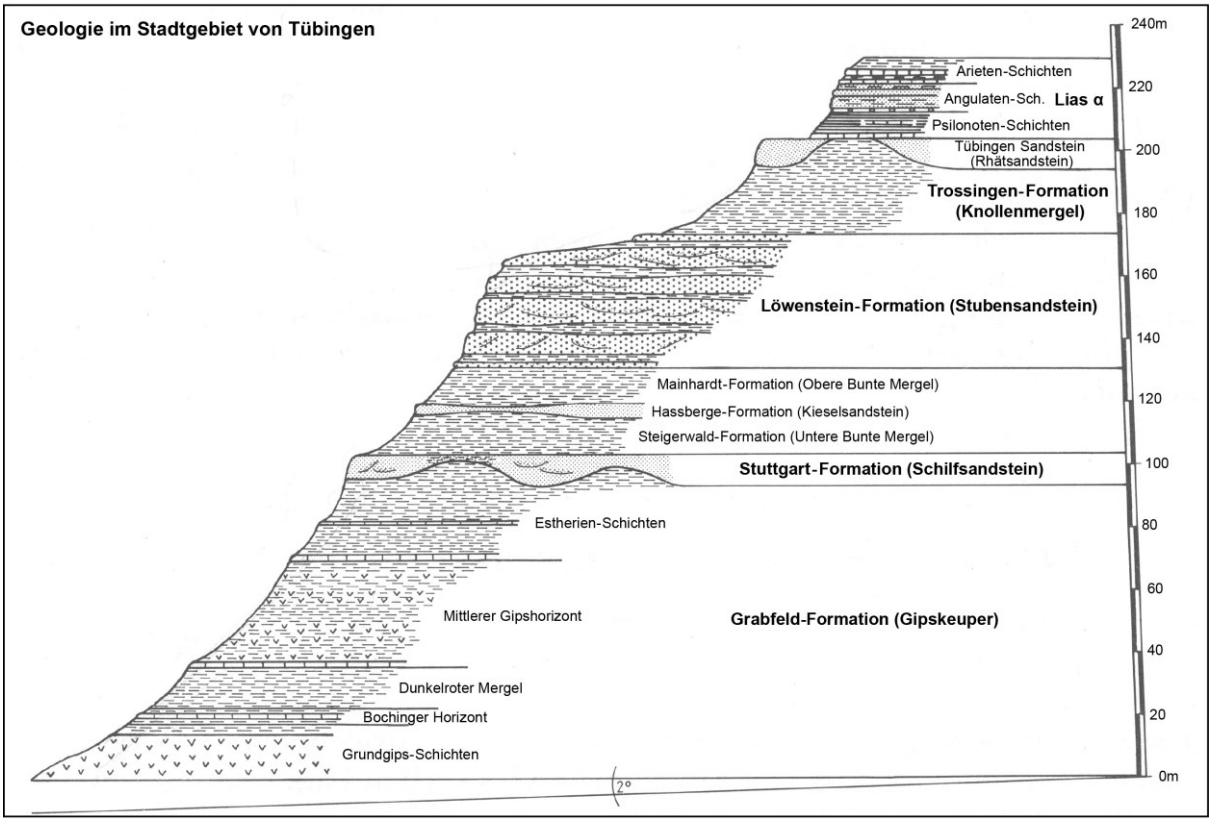


Abb. 2: Geologische Schichtfolge im Raum Tübingen (verändert nach Einsele 1986)

3 Der Spitzberg



Abb. 3: Die Wurmlinger Kapelle steht auf einem Zeugenberg der Keuperstufe und gilt als Wahrzeichen zwischen Ammer- und Neckartal. Im Hintergrund die Weißjurastufe der Schwäbischen Alb (Foto: J. Eberle)

Vom Schloss Tübingen bis zur berühmten Wurmlinger Kapelle erstreckt sich der Stubensandsteinrücken des Spitzberges, der durch die Täler von Ammer und Neckar von der Keuperstufe abgetrennt wurde. Vor allem der Südhang des Spitzbergs gehört zu den ökologisch vielfältigsten Landschaften im Kreis Tübingen. Während die Nordseite bewaldet und mäßig steil zur Ammer abfällt, ist der südexponierte Hang der Neckartalseite sehr viel steiler. Hier lassen sich neben noch oder wieder bewirtschafteten Weinbergen und Obstwiesen alle Stadien des Kulturlandschaftswandels beobachten. Viele Flächen, die bereits seit Jahrzehnten nicht mehr bewirtschaftet werden, sind inzwischen vollständig verwaldet. Insbesondere am Oberhang findet man sehr artenreiche Trockenrasen, die den Spitzberg vor allem unter Botanikern bekannt gemacht haben. Mit der Ungarischen Platterbse (*Lathyrus pannonicus*) ist hier sogar eine Pflanze heimisch, welche die letzte Kaltzeit an diesem thermisch begünstigten Südhang überdauert hat, und die in Deutschland nur noch an einer anderen Lokalität anzutreffen ist. Die von Ludwig Uhland in einem Gedicht verewigte Wurmlinger Kapelle (Abb. 3) bildet als Zeugenberg das westliche Ende des Spitzberges. Eine wenige Meter mächtige Bank des Stubensandsteins hat den Kapellenberg bislang vor der Abtragung bewahrt. Von hier hat man einen prächtigen Blick über die Täler von Ammer und Neckar, zum Schönbuch, in die Gäulandschaften und zur markanten Weißjura-Schichtstufe der Schwäbischen Alb im Süden.

Die östliche Fortsetzung des Spitzberges bildet der Österberg, der durch einen flachen Sattel auf dem zentralen Teil der Altstadt rund um die Stiftskirche liegen, mit dem Schlossberg und Spitzberg verbunden ist. Während an der Nordseite des Österberges ausgedehnte Wiesen zur Ammer abfallen, befinden sich am Oberhang der Südseite recht exklusive Wohnlagen und große Gebäude studentischer Verbindungen.

4 Ammertal und Gäulandschaften

Von Westen reichen die Gäulandschaften fast bis zur Stadtgrenze. Besonders typisch zeigt sich die flachwellige Lösslandschaft zwischen Herrenberg und Rottenburg. Hier überdecken meist nur noch geringmächtige Löss- und Lösslehme die Gesteine des Muschelkalkes, des Unteren Keupers und des Gipskeupers. Häufig sind erodierte Parabraunerden, an steileren Hängen auch Pararendzinen, Rendzinen und Pelosole anzutreffen. Entlang der Ammer finden sich zahlreiche Feuchtgebiete mit Anmoorgleyen und Gleyen aber auch Vegen sind weit verbreitet. Die Größe des Ammertales steht in auffälligem Widerspruch zur heutigen Bedeutung des Flusses. Noch im mittleren Pleistozän dürfte die Ammer ein wesentlich größeres Einzugsgebiet gehabt haben, was durch die Ausrichtung der alten Trockentäler im Westen deutlich wird (Abb. 4). Der Südhang des Schönbuchs begrenzt mit seinen ausgedehnten Obstwiesen die Agrarlandschaft des Oberen Gäus. Alte Steinbrüche und Gipsgruben bilden heute wertvolle Rückzugsgebiete für Tiere und Pflanzen und stehen unter Naturschutz.

Mehrere Zeugenberge des mittleren Keupers sorgen für ein abwechslungsreiches Landschaftsbild. Westlich von Herrenberg bildet das lössarme Heckengäu den Übergang zum Nordschwarzwald.

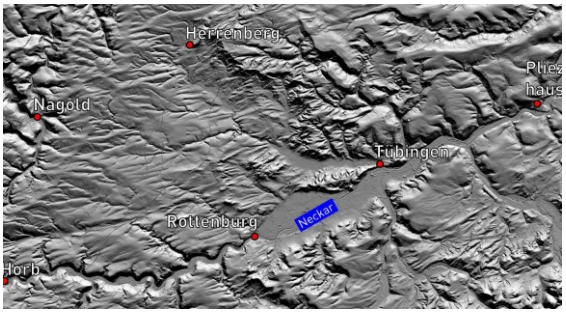


Abb. 4: Schummerungsmodell der Einzugsgebiete von Neckar und Ammer im Raum Tübingen, basierend auf einer Laserscanbefliegung durch das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL). Im linken Teil der Abbildung fallen zahlreiche Rinnen und Trockentäler auf, die das ursprünglich größere Einzugsgebiet der (Ur-) Ammer aufzeigen. Gut zu erkennen sind die tief eingeschnittenen Talabschnitte des Neckars im Muschelkalk westlich von Rottenburg sowie die Zertalung der Keuperwaldberge im Raum Tübingen. Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung und der fehlenden Vegetation werden in dieser Darstellung zahlreiche geomorphologische Details sichtbar (DGM im LOD, 5-fach überhöht, erstellt durch das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung)

5 Das Neckartal

Das Neckartal markiert die südliche Grenze der Tübinger Altstadt. Die fotogene Neckarfront wurde auf einem langgestreckten Prallhang des Neckars errichtet. Zwischen Rottenburg und Tübingen verläuft der begradigte und energetisch genutzte Neckar in einem breiten Talboden (Abb. 4). Die leicht erodierbaren Mergel und Tongesteine des Gipskeupers (km1) sind für diese Talweitung verantwortlich. Die würmzeitlichen Kiese bilden hier einen wichtigen Aquifer, wurden in der Vergangenheit aber auch zur Rohstoffgewinnung genutzt. Dies belegen zahlreiche Baggerseen, die heute überwiegend als Naturschutzgebiete ausgewiesen sind. Die fruchtbaren Auenböden werden intensiv landwirtschaftlich genutzt, sie gehören zu den ertragreichsten Standorten im Landkreis Tübingen. Während das Neckartal im Norden vom Spitzbergzug begleitet wird, bilden die Keuperwaldberge des Rammerts die Südgrenze. Dieses Waldgebiet ist weniger bekannt als der Schönbuch und markiert den Übergang zum Vorland der Schwäbischen Alb. Flussabwärts von Tübingen verengt sich das Neckartal deutlich, die Talhänge werden hier von den widerständigeren Gesteinen des Stubensandsteins (km3) gebildet. Auch flussaufwärts von Rottenburg, dem römischen *Summelocenna*, hat das Neckartal einen ganz anderen Charakter. Tief eingeschnitten in den widerständigen Oberen Muschelkalk der Gäulandschaften hat sich hier im Verlauf des Pleistozäns ein steiles Kastental entwickelt (Abb. 4). Aufgrund seiner Lage am Ausgang dieser Engtalstrecke wurde Rottenburg auch als „*Porta Suevica*“, die Schwäbische Pforte bezeichnet.

6 Albvorland und Schwäbische Alb

Östlich und südöstlich erreicht man von Tübingen aus rasch die Weißjurastufe der Mittleren Schwäbischen Alb. Über den teilweise mit Lösslehm bedeckten und daher intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen des Schwarzen Jura erhebt sich die mächtigste Schichtstufe Deutschlands bis zu 400 Meter über die Vorfluter Neckar und Steinlach. Folgt man der Steinlach von Tübingen aus nach Süden, so wird der Höhenunterschied vor allem bei Mössingen besonders deutlich. Das Vorland der Schwäbischen Alb ist hier nur sehr schmal ausgebildet und der Anstieg zum Albtrauf entsprechend eindrucksvoll. Auch aus diesem Grunde befinden sich bei Mössingen im Quellgebiet der Steinlach die größten aktiven Rutschgebiete außerhalb der Alpen. Zuletzt kam es hier 2013 zu großen

Massenbewegungen, von denen auch Siedlungen betroffen waren. Die Kreisstadt Reutlingen liegt nur 15 Kilometer von Tübingen entfernt ebenfalls direkt am Fuße der Schwäbischen Alb. Auch hier ist der Albtrauf sehr schön entwickelt und die Massenkalke des Weißjuras bilden markante Felsköpfe und Zeugenberge, wie beispielsweise die Achalm. An den Unterhängen der Schichtstufe erzeugen die rutschanfälligen Tone des Braunen Juras ein sehr unruhiges Gelände, das vorwiegend durch Grünland und Streuobstwiesen genutzt wird. Die Hochfläche der Schwäbischen Alb zeigt den typischen Formenschatz einer Karstlandschaft. Trockentäler, Dolinen und einige recht lange Höhlen bilden, neben den zahlreichen Felsmassiven und Burgen am Albtrauf, attraktive Ziele für Wanderer und Naturfreunde. Während das Bodenmuster der Hochfläche vorwiegend durch Rendzinen, Braunerden, Terra Fusca und Kolluvisol bestimmt wird, sind am Steilabfall des Albtraufs meist Rohböden und Hangschuttrendzinen entwickelt. Im Übergang zum Braunjura werden die Hangschuttdecken toniger, sodass zunehmend Pelosole und Pelosol-Braunerden anzutreffen sind. Auf den lössbedeckten Schwarzjuraflächen sind erodierte Parabraunerden und Kolluvisole vorherrschend.

Der Schichtstufe der Schwäbischen Alb ist aber nicht nur eine markante geomorphologische Grenze. Sie grenzt auch den dicht besiedelten und intensiv bewirtschafteten Mittleren Neckarraum von den ländlich geprägten und oftmals peripher gelegenen Gebieten der Albhochfläche ab. Bereits seit Jahrzehnten verliert die Landwirtschaft auf der verkarsteten Hochfläche an Bedeutung und der Waldanteil nimmt stetig zu. Neben kargen Böden und klimatischer Ungunst sind auch strukturelle Veränderungen innerhalb der Landwirtschaft für diese Veränderungen verantwortlich. Dadurch entsteht Platz für neue Großschutzgebiete wie das Biosphärengebiet Schwäbischen Alb.

Literatur

Eberle, J., Eitel, B., Blümel W. D., Wittmann, P. (2023): Deutschlands Süden - Vom Erdmittelalter zur Gegenwart. – 4. Aufl., 233 S., Springer – Spektrum.

Einsele, G. [Hrsg.] (1986): Das landschaftsökologische Forschungsprojekt "Naturpark Schönbuch". - 639 S., Weinheim.

Geyer, O. F., Gwinner, M. P. (2011): Geologie von Baden Württemberg. - 5. Aufl., 627 S., Stuttgart.

Huttenlocher, F. (1966): Geographischer Führer für Tübingen und Umgebung, 232 S.

LGL - Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung in Baden-Württemberg (2009): Digital Terrain Model (DTM) (resolution 1 m).

Wagner, G. (1960): Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte mit besonderer Berücksichtigung Süddeutschlands. - 3. Aufl., 694 S., Öhringen.

Anmerkung: Die vorhergehenden Abschnitte sind angepasste Auszüge aus dem Artikel „Einführung physische Geographie: Naturräumliche Charakterisierung von Tübingen und seiner Umgebung“ (in: Scholten, T., Teuber (Hrsg.) (2017): Tübingen und seine Umgebung: ein Exkursionsführer zum Deutschen Kongress für Geographie 2017. Tübinger geographische Studien 152)

E01: Dichter und Denker – Ein Spaziergang zur Universitäts- und Stadtgeschichte

Helmut Eck

Universität Tübingen, Geographisches Institut

Der Stadtspaziergang führt, ausgehend vom alten Universitätsviertel, vorbei an bedeutenden literarischen Orten (Cotta, Hesse, Hölderlin...), wichtigen Stätten der Stadtgeschichte (ehem. Münze, Rathaus, Keimzellen großer Betriebe...) hinauf zum Schloss Hohentübingen (mit bedeutenden Museen: Exponate des UNESCO-Welterbe Eiszeitkunst; DNA-Entdeckung; Abb. 1). Vom Schloss aus bieten sich auch reizende Ausblicke (Abb. 2): Nach Norden auf die Unterstadt und die Universitätserweiterung des 19. Jahrhunderts und hinüber zum Campus Morgenstelle (Naturwissenschaften) und den Kliniken auf dem Schnarrenberg, nach Süden über Neckar, Platanenallee, Südstadt mit neuen Stadtvierteln bis zur "blauen Mauer" (Mörike) der Schwäbischen Alb.



Abb. 1: Luftbild Schloss Hohentübingen (Foto: Simon Schmincke)



Abb. 2: Luftbild Altstadt Tübingen (Foto: Simon Schmincke)

E02: Pflanzenvielfalt erleben – Der Botanische Garten der Universität Tübingen

Alexandra Kehl

Botanischer Garten der Universität Tübingen

1 Einleitung

Der Botanische Garten ist eine zentrale Einrichtung der Universität Tübingen und wird vor allem für Lehre, aber auch Forschungsvorhaben genutzt. Gleichzeitig bietet der Botanische Garten der Öffentlichkeit kostenlos die Möglichkeit, die einzigartige Vielfalt von einheimischen und exotischen Pflanzen zu erkunden, an zahlreichen öffentlichen oder buchbaren Bildungsangeboten teilzunehmen oder auch einfach in schöner Umgebung Erholung zu finden. Auf einer Fläche von etwa zehn Hektar werden knapp 10 000 Pflanzenarten meist in geografischer Zusammenstellung gezeigt. So kann man verschiedene Gebirgsregionen der Erde im Alpinum erkunden, asiatische Rhododendronwälder oder nordamerikanische Präriegesellschaften entdecken und schließlich die Pflanzenwelt von Lebensräumen der Schwäbischen Alb kennenlernen. Manche Bereiche sind bestimmten Pflanzengruppen gewidmet, wie das Päonienbeet, die Prachtstauden oder das große Arboretum auf der anderen Seite des Nordrings, das über 1 000 Gehölzarten beherbergt. Schließlich werden im Freiland noch weitere Themen wie die Verwandtschaft der Pflanzen in der Systematischen Abteilung oder ökologische Zusammenhänge in der Ökologischen Abteilung präsentiert. Nutzpflanzen findet man im Apotheker- und im Bauerngarten sowie im Weinberg oder in den Schauhäusern in der Spezialabteilung Tropische Nutzpflanzen.

Die Gewächshäuser zeigen die tropische Pflanzenwelt verschiedener Klimazonen und sind vor allem in den Wintermonaten ein Besuchermagnet. Im Foyer der Schauhäuser wird jährlich eine Ausstellung gezeigt. Aktuell (April 2025 bis Februar 2026) ist es „Endangered Beauty – Künstlerische Portraits einheimischer Orchideen“ von Tamara Schmidt.



Abb. 1: Blick vom Arboretum über die Gewächshäuser bis hin zum Albtrauf

2 Geschichte

Der Botanische Garten der Universität Tübingen wurde auf der Morgenstelle, also am naturwissenschaftlichen Campus der Universität 1969 eröffnet, seine Geschichte reicht aber mehrere Jahrhunderte zurück. Der erste *Hortus Medicus* der Universität entstand wohl Mitte bis Ende des 17. Jahrhundert und befand sich zwischen der Burse und der Alten Aula in der Tübinger Innenstadt, in der Nähe des Neckars. Hier führte Ende des 17. Jahrhunderts Camerarius seine Experimente durch, die schließlich zur Entdeckung der Sexualität der Pflanzen geführt haben, und Johann Georg Gmelin schrieb hier an seiner *Flora Sibirica*. Anfang des 19. Jahrhunderts wurde der Garten dann aus Platzgründen in den alten „Tummelgarten“ an der Ammer

verlegt. Hier gab es drei Gewächshäuser, später auch ein kleines Alpinum, und eine Sammlung der Pflanzen der Schwäbischen Alb. Erneut aus Platzgründen, aber auch weil die naturwissenschaftlichen Fächer auf einen eigenen, modernen Campus im Norden Tübingen umziehen sollten, wurde der Botanische Garten in den 1960er Jahren auf die Morgenstelle verlegt, wo er heute ein landschaftliches und thematisches Bindeglied zwischen dem naturwissenschaftlichen Campus mit seinen hohen Gebäuden, der angrenzenden Wohnsiedlung und dem Naturpark Schönbuch ist.

Doch noch bevor der erste *Hortus Medicus* der Universität Tübingen offiziell gegründet wurde, führte der Medizinprofessor Leonhart Fuchs Anfang des 16. Jahrhunderts in seinem Privatgarten am Nonnenhaus in Tübingen Forschungen an vielerlei teils exotischen Pflanzenarten durch und nutze die Pflanzenvielfalt für die Lehre – per Definition also auch schon so etwas wie ein botanischer Garten! Nach Leonhart Fuchs, berühmt durch sein Kräuterbuch von 1543 und gern als einer der Väter der Botanik bezeichnet, wurde übrigens später die Gattung Fuchsia (Onagraceae) benannt. Wildfuchsien sind daher auch heute ein Sammelschwerpunkt im Botanischen Garten Tübingen. Fast alle Arten sind frostempfindlich, so dass die meisten Fuchsien im Subtropenhaus zu sehen sind.

Heute sind im Botanischen Garten neben der Forschungs- und Lehrtätigkeit auch die Bildungsarbeit und der Artenschutz wichtig geworden.



Abb. 2: Blick in das Subtropenhaus von der Galerie

3 Durch den Garten

Unterhalb des Haupteingangs zum Garten befinden sich das Geografische Alpinum mit Gebirgspflanzen aus aller Welt und das Ökologische Alpinum, das Pflanzen aus den Alpen in ihren natürlichen Vegetationsgemeinschaften zeigt (Abb. 3). Ein kleines Moor, ein Latschengürtel, ein Alpenrosengebüsch bis hin zu alpinen Mattengesellschaften sind hier zu sehen, wobei gerade die alpinen bis hochalpinen Pflanzenarten mittlerweile schwer zu kultivieren sind. Zum Geografischen Alpinum gehört das kleine Alpinenhaus, das subalpine und alpine Pflanzenarten zeigt, die in trockenen Regionen der Erde vorkommen. Diesen Pflanzen sind die Tübinger Niederschläge zu viel, weshalb sie unter Glas kultiviert werden müssen. Hier ist besonders die Gattung *Dionysia* (Primulaceae) hervorzuheben. Es sind bislang knapp 50 Arten dieser Gattung beschrieben, die meisten stammen aus dem Iran, auch in Afghanistan gibt es wenige Arten. Fast alle davon sind in der Tübinger Sammlung vorhanden – neben dem Botanischen Garten Göteborg ist dies die größte Sammlung dieser seltenen und schwer kultivierbaren Pflanzengattung weltweit.



Abb. 3: Blick über das Alpinum zu den Schauhäusern



Abb. 4: Blick vom Seerosenteich über die Systematische Abteilung zum Tropicarium

Direkt unterhalb der prominenten Gewächshäuser am terrassierten Südhang findet man die Systematische Abteilung, in der man angiosperme Pflanzen entsprechend ihrer Verwandtschaft angeordnet vorfindet. Vom Seerosenteich an der Basis bis hinauf zu der Familie der Asteraceae direkt vor dem Tropicarium kann man hier durch die Evolution der bedecktsamigen Pflanzen spazieren (Abb. 4). Die großen Verwandtschaftsgruppen sind durch die Etikettenfarbe gekennzeichnet, die Pflanzenarten sind innerhalb dieser Verwandschaftsgruppen nach Familien geordnet. In Zukunft wollen wir in der Systematischen Abteilung mehr einheimische Taxa zeigen, Pflanzungen und auch Beetanlagen und Wege werden sukzessive erneuert. Ein sommerliches Highlight ist die Amerikanische Lotusblume, die den Sommer über auf der mittleren und breitesten Terrasse in ihrem Wasserbecken mit dem Lotus-Effekt Studierende und Kindergruppen begeistert. Auch wenn sich die Verwandtschaft nicht jedem Besucher bei bloßer Betrachtung der Pflanzen erschließt, gibt es hier doch die ganze Vegetationsperiode über blühende Pflanzen und immer etwas zu entdecken.



Abb. 5: Blick in das Rhododendrontal zur Rhododendronblüte

Hinter einem kleinen Bambuswäldchen am Seerosenteich führt der Weg hinab in das Rhododendrontal – es handelt sich um ein tief eingeschnittenes, natürliches Bachtal, das zur interessanten Topografie des Geländes maßgeblich beiträgt. Hier werden Naturlandschaften Asiens und Nordamerikas gezeigt, in denen natürlicherweise Rhododendren vorkommen. Die Gattung *Rhododendron* ist ein weiterer Sammelschwerpunkt in Tübingen und mit aktuell knapp 350 Arten vertreten. Das tief eingeschnittene, schattige Tal mit der hohen Luftfeuchtigkeit bietet hier ideale Kulturbe-

dingungen, auch wenn der Boden den Ansprüchen nicht genügt, so dass mit eigens gemischten Substraten gearbeitet werden muss. Die Rhododendronblüte beginnt im April und endet im Juni, in dieser Zeit ist das Rhododendrontal besonders prachtvoll (Abb. 5). Hier gedeihen aber auch zahlreiche weitere, sehr interessante Arten, die vielleicht etwas weniger auffällig als die großblütigen Rhododendren sind. Schön und interessant sind beispielsweise die Kobralilien (Gattung *Arisaema, Araceae*), die Primeln und Farne am Grund des Tals oder *Calycanthus chinensis*, der Chinesische Gewürzstrauch, der relativ selten in Kultur zu finden ist. Mit seinem Duft nach Zuckerwatte begeistert der japanische Lebkuchenbaum (*Cercidiphyllum japonicum*) im Herbst. Oberhalb des Rhododendrontals befinden sich zahlreiche Prärieстauden mit einem kleinen nordamerikanischen Moorbeet und einem großen Gebirgs-Mammutbaum (*Sequoiadendron giganteum*).

Zwischen diesem Bereich und den Gewächshäusern befindet sich die Schwäbische Alb, ein großes naturlandschaftliches Revier. Hier werden nun einheimische Pflanzenarten der Schwäbischen Alb in ihren entsprechenden Lebensräumen gezeigt, denn auf der Schwäbischen Alb gibt es viele interessante und selten Arten sowie besondere Lebensgemeinschaften, die in diesem Revier „nachgebaut“ wurden. Besonders hervorzuheben ist die orchideenreiche Wacholderheide. So ähnlich wie hier sah die Landschaft an dieser Stelle aus, bevor in den 1960er Jahren der Botanische Garten und das Wohngebiet geplant und errichtet wurden. Man hat hier ein Stück der ursprünglichen extensiv beweideten Landschaft erhalten und als Wacholderheide in den Garten integriert. Viele hier autochthone Arten wie zahlreiche Orchideen sind so erhalten geblieben und bereichern heute den Botanischen Garten (Abb. 6).



Abb. 6: Die seltene Bienen-Ragwurz (*Ophrys apifera, Orchidaceae*) blüht auf der Wacholderheide in der Abteilung Schwäbische Alb

Einige der gefährdeten Pflanzenarten der Schwäbischen Alb haben wir im Botanischen Garten in Erhaltungskultur. Viele davon werden in einem kleinen Beet im unteren Bereich der Schwäbischen Alb gezeigt. Erhaltungskulturen haben wir aber auch von gefährdeten Arten aus der Tübinger Umgebung und aus der Bodenseeregion.

Nähert man sich nun den Gewächshäusern, trifft man auf mehrere kleinere, thematische Bereiche: den Apothekergarten, den Bauerngarten und die Kübelpflanzen, die nur den Sommer über im Freien zu sehen sind. Direkt vor dem Tropicarium sind einige subtropische Nutzpflanzen in Kübeln zu sehen wie der Granatapfelbaum, der Johannisbrotbaum, der Kapernstrauch und Weitere.

Auf der Nordseite der Gewächshäuser befindet sich der Ausgang zum Arboretum auf der anderen Straßenseite, sowie die Ökologische Abteilung, in welcher

verschiedene Anpassungen an biotische und abiotische Faktoren anhand von Pflanzenbeispielen gezeigt werden. Bemerkenswert ist hier das neu angelegte Sukkulentenbeet, das winterharte sukkulente Pflanzen präsentiert. Außerdem ist hier der Weinberg zu finden und die Grüne Werkstatt: ein Raum für Bildungsveranstaltungen für Kinder und Schulklassen.

Auf der anderen Seite des Nordrings befindet sich die Gehölzsammlung des Gartens, das Arboretum. Etwa 1000 Gehölze sind hier nach Verwandtschaft geordnet zu sehen. Im westlichen Bereich findet man die Nadelgehölze, im restlichen Arboretum die Laubgehölze. Am östlichen Rand befindet sich die Streuobstwiese mit mehr als 100 Apfelsorten. Gerade im Herbst mit der Herbstfärbung des Laubs ist ein Spaziergang durch das Arboretum besonders empfehlenswert. Da es an einem recht steilen Südhang liegt, geht es immer wieder bergauf. Zur Belohnung nach dem Aufstieg gibt es oben einen wunderbaren Ausblick über den unteren Gartenbereich sowie ganz Tübingen bis hin zum Albtrauf (Abb. 1).

4 Die Schauhäuser

Im Gewächshauskomplex befinden sich drei Schauhäuser. Alle sind geografisch gegliedert und weisen unterschiedliche Klimabedingungen auf. Im ganzjährig frostfreien Subtropenhaus zeigt sich die schönste Blütenvielfalt, auch viele Fuchsien blühen hier, zahlreiche Begonien und im australischen Bereich sind einige beeindruckende Baumfarne zu sehen (Abb. 2). Im hinteren Bereich des Hauses befindet sich ein Aquarienraum, in dem tropische Süßwasserpflanzen zusammen mit den geografisch passenden Fischen gezeigt werden.

Im benachbarten Sukkulentenhaus werden dickfleischige Pflanzenarten vom amerikanischen Kontinent und aus Afrika gezeigt. Hier findet man zahlreiche Kakteen, Agaven (auch die Sisal-Agave), Aloen und Dickblattgewächse. Im Afrikabereich sind auch einige stattliche und alte Palmfarne aus der Gattung *Encephalartos* zu sehen. Diese Pflanzen standen schon in einem Gewächshaus im alten Botanischen Garten in der Stadt und sind in den 1960er Jahren mit auf die Morgenstelle umgezogen und wohl an die 100 Jahre alt.

Palmfarne sind in vielen Regionen gefährdet. Sie sind langsam wachsend und wurden teilweise wegen des Stärkegehalts im Stamm gerodet. Es handelt sich hierbei weder um Palmen noch um Farne, sondern um Nadelbaum-Verwandte. Wenn die weiblichen Individuen dieser Palmfarne blühen, ist diese Verwandtschaft erkennbar: Auch wenn sie größere Zapfen bilden als die bei uns natürlich vorkommenden Nadelbäume, sind sie sich dennoch ähnlich (Abb. 7).



Abb. 7: *Encephalartos ferox* mit weiblichem Blütenstand (Zapfen) im Sukkulentenhaus



Abb. 8: Lebende Steine (Gattung *Lithops*)

Auch einige epiphytisch lebende Tillandsien und Orchideen werden hier im Haus gezeigt. Im mittleren Bereich steht eine Pereskia (*Cactaceae*), ein dorniger Strauch mit Blättern, der aber schon leicht sukkulente, grüne Triebe hat. Hier handelt es sich um einen ursprünglichen Kaktus. Geht man weiter in das direkt an das Sukkulentenhaus anschließende Schauhaus, sieht man in einer Vitrine weitere kleinsukkulente Pflanzenarten aus Südafrika, wie die Lebenden Steine (Gattung *Lithops, Aizoaceae*) (Abb. 8). Im restlichen Haus zeigen wir Pflanzen der Kanarischen Inseln mit Schwerpunkt Teneriffa. Ein besonderes Highlight ist im Juni immer wieder die Blüte von *Echium wildpretii* (Abb. 9).

Pflanzen der tropischen Tieflandregenwälder sind im Tropicarium zu sehen, dem größten und höchsten der drei Schauhäuser. Hier gibt es zwei Sonderbereiche: die tropischen Nutzpflanzen und die tropischen Farne. Das übrige Haus ist geografisch gegliedert. Beim Rundgang durch das Haus wird tatsächlich an manchen Stellen der Eindruck eines Waldes erweckt. Besonders auffällig sind die vielen großblättrigen Arten. Allerdings ist es hier im Haus eher grün als bunt, da viele Pflanzen nicht oder nur oberhalb der Augenhöhe der Besucher blühen. Bemerkenswert ist der Riesen-Bambus (*Dendrocalamus giganteus*) beim Teich und die Bananenstauden hinter dem Teich.



Abb. 9: *Echium wildpretii* blüht im Juni im Kanarenhaus

Bei der Ein- und Ausgangstür sieht man zahlreiche epiphytische Arten aus südamerikanischen Regenwäldern, die an Robinienstämmen wachsen. Die Lebensweise als Epiphyt ist in den Tropen weit verbreitet: auf Ästen oder Stämmen können die Pflanzen das Licht besser nutzen. Natürlich muss im Gegenzug auch die Wasserversorgung sichergestellt werden, die an einem solchen Wuchsort nicht über die Wurzeln im Boden erfolgen kann. Viele Arten weisen Luftwurzeln auf (z. B. Orchideen oder Araceae), deren silbriges Erscheinungsbild durch das sogenannte *Velamen radicum* zustande kommt, mehrere Schichten toter Zellen, die Regenwasser und Nebel über Kapillarkräfte aufnehmen können. Viele Bromelien nehmen Wasser und Nährsalze über ihre Blätter auf. Diese bilden trichterförmige Rosetten, in denen das Regenwasser eine Weile gespeichert werden kann und zugleich als Lebensraum für Kleinstlebewesen dient, was wiederum den

Nährstoffgehalt erhöht. Neben der Artenauswahl aus den feucht-tropischen Regionen der Erde kann man hier also auch Einblicke in ökologische Zusammenhänge erfahren. Besonders spannend sind die zahlreichen tropischen Nutzpflanzen, deren Produkte man oft aus dem Alltag kennt (Abb. 10).

5 Aufgaben und Ziele

Der Botanische Garten der Universität Tübingen möchte mit seinen Sammlungen, Beeten und Schauhäusern die Verbindung zwischen Mensch und Natur stärken und sowohl in der Öffentlichkeit als auch bei Studierenden die Faszination für die Pflanzenwelt und vor allem deren Diversität und ökologische Bedeutung wecken. Dazu bieten wir zahlreiche öffentliche Veranstaltungen an. Zahlreiche Lehrveranstaltungen finden außerdem im Garten oder mit Material aus dem Garten statt. In kleinerem Umfang finden auch Forschungsvorhaben im Garten statt, allerdings meist im Rahmen von Abschlussarbeiten. Eine weitere Aufgabe ist die Mitarbeit am botanischen Artenschutz, indem wir im Garten seltene und gefährdete Pflanzenarten aus Baden-Württemberg in Kooperation mit den Naturschutzbehörden erhalten und vermehren.

Schließlich pflegen wir zahlreiche Kooperationen innerhalb der Universität Tübingen, aber auch darüber hinaus, insbesondere auch im Netzwerk der Botanischen Gärten.



Abb. 10: Bananenblüte im Tropicarium

Öffnungszeiten

Montag bis Freitag:

7:30 bis 16:30 Uhr
(Gewächshäuser ab 8:00 Uhr)

Wochenenden und Feiertage:

8:00 bis 16:30
(Gewächshäuser ab 10:00 Uhr)

Eintritt frei!

www.botgarten.uni-tuebingen.de

Instagram: @tueboga

E03: Führung durch die Labore des Geo- und Umweltforschungszentrums (GUZ)

Callum Banfield

Universität Tübingen, Geosphären-Biosphären-Wechselwirkungen

Das Geo- und Umweltforschungszentrum (GUZ; Abb. 1) der Universität Tübingen ist ein Zentrum der Spitzenforschung in den Geo- und Umweltwissenschaften. In 2020 eröffnet und hochmodern eingerichtet, bringt es ehemals dezentrale Gruppen zusammen und fördert deren interdisziplinäre Zusammenarbeit. Das von KAAN-Architekten entworfene Gebäude selbst ist architektonisch bemerkenswert und sein Design fügt sich nahtlos in den Campus Morgenstelle ein. Der Bau des Forschungszentrums stellte eine erhebliche Investition in die Weiterentwicklung der Geo- und Umweltwissenschaften dar, mit Baukosten von über 90 Millionen Euro, und unterstreicht das Engagement der Universität Tübingen zur Bewältigung zentraler Umweltprobleme.



Abb. 1: Außenansicht des GUZ von Osten

Unsere Labortour bietet exklusive Einblicke in die Einrichtungen und Forschungsaktivitäten der bodenwissenschaftlichen und umweltwissenschaftlichen Forschungsgruppen, wie z.B. Geochemie, Geomikrobiologie, Bodenbiogeochemie, Geophysik, Umweltchemie, Hydrogeochemie, Geologie, Sedimentologie und Klimatologie. An ausgewählten Stationen werden Ihnen Doktorand:innen und Postdoktorand:innen ihre Forschungsthemen und Untersuchungstechniken kurz vorstellen.

Wir beginnen auf Ebene 6 bei der AG Geochemie, die an Paläo-Rekonstruktionen, Krusten-Mantel-Wechselwirkungen und der Entwicklung neuer Isotopen-Proxies für geologische Prozesse arbeitet. So werden wir beispielsweise einen Blick auf das MC-ICP-MS in ihren Reinraumlaboren werfen (leider kein Teil der Führung). Auf der gleichen Ebene arbeitet die AG Geomikrobiologie in ihren Biosicherheitslaboren an z.B. Permafrostböden und Eisenmineralumwandlungen, und kooperiert dabei eng mit mehreren anderen Arbeitsgruppen, wie der AG Soil Microbial Interactions (SMI), und teilt ihre molekularbiologischen und mikrobiologischen Einrichtungen mit ihnen. Die SMI-Arbeitsgruppe untersucht die Rolle von Viren für den Kohlenstoffumsatz im Boden. Bezüglich der Mikroskala wird auch ein Teil der Tübingen Structural Microscopy Core Facility (TSM) besucht. Das TSM bietet eine breite Palette von elektronenmikroskopischen Dienstleistungen für geologische, umweltwissenschaftliche und biologische Proben.

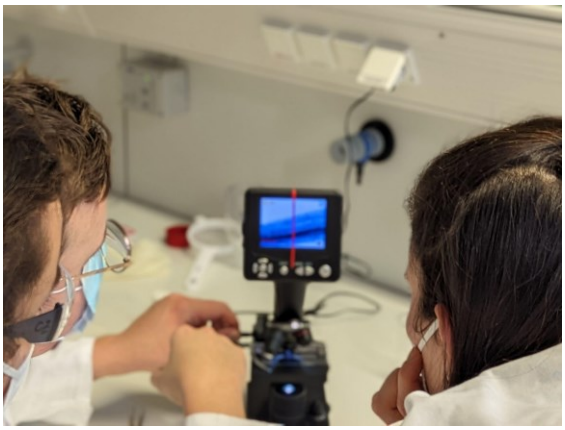


Abb. 2: Eine Postdoktorandin und ein Masterstudent bei der gemeinsamen Untersuchung von Pflanzenwurzeln auf Mykorrhizierung

Auf Ebene 5 kombiniert die AG Geo-Biosphären-Wechselwirkungen Ansätze aus der Molekularbiologie (Sequenzierung, qPCR), Nasschemie, analytischer Chemie (LC/MS, GC/MS) und Bildgebung und wendet sie auf eine Vielzahl von Skalen und Ökosystemen an (Abb. 2). Ein Höhepunkt der Tour wird der Besuch der Isotopenlabore sein, die DNA-SIP, TC/EA-/ GC-C/Py-IRMS und moderne Radionuklidlabore (einschließlich Bildgebung) umfassen.

Auf Ebene 4 arbeiten die Gruppen, die früher als „Zentrum für Angewandte Geowissenschaften“ bekannt waren, gemeinsam an biogeochemischen Prozessen in Böden und im Grundwasser und der Quantifizierung organischer Spurenstoffe in der Umwelt (Mikroplastik, PFAS). Diese Gruppen teilen sich Labore, die z.B. mit UHPLC-qToF, LC-MS/MS, GC-MS/MS, IC und EA ausgestattet sind.

Während die anderen Ebenen (3, 2 und 1) viele Computerlabore, Lehrlabore, Lagerräume und die Verwaltung beherbergen, finden wir hier weitere und recht spezialisierte Labore für Mikroskopie, Datierung und Lumineszenzdatierung (Sedimentologie), Mössbauer-Spektroskopie, Präparation von Dünnschliffen, Werkstätten und sogar einen Windkanal, der zur AG Umweltphysik gehört. Sie arbeiten z.B. an UAVs (Drohnen) und komplexen Sensorsystemen, um z.B. atmosphärische Prozesse besser zu verstehen.

E04: Beschreibung von Böden mit der KA6

Wolfgang Fleck[1], Einar Eberhardt [2]

[1]Freiburg, (ehemals Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 [LGRB])

[2]Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

1 Einleitung

Die 6. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA6) ist im Juli 2024 erschienen (AG Boden 2024). Im Unterschied zu den bisherigen Ausgaben wurde die KA6 in zwei Bände aufgeteilt. In Band 1 werden Grundlagen der Bodenkartierung sowie die Ableitung von bodenphysikalischen und -chemischen Kennwerten aus aufgenommenen Bodendaten beschrieben. Band 2 ist in erster Linie für die feldbodenkundliche Praxis vorgesehen und beinhaltet die Profilbeschreibung auf Grundlage der Boden- und Substratsystematik sowie der Kennzeichnung verschiedenster Bodenmerkmale.

Bei der Exkursion sollen die Neuerungen in der KA6 an drei Bodenprofilen getestet werden. Obwohl das Erscheinen der KA6 bei der DBG-Tagung in Tübingen schon über ein Jahr zurückliegen wird, ist es nicht zu spät, sich dem Thema Fortschreibung der Kartieranleitung im Rahmen der praktischen Geländearbeit anzunehmen. Bisherige Erfahrungen mit der KA6 und offene Fragen dazu können in die Diskussion einfließen.

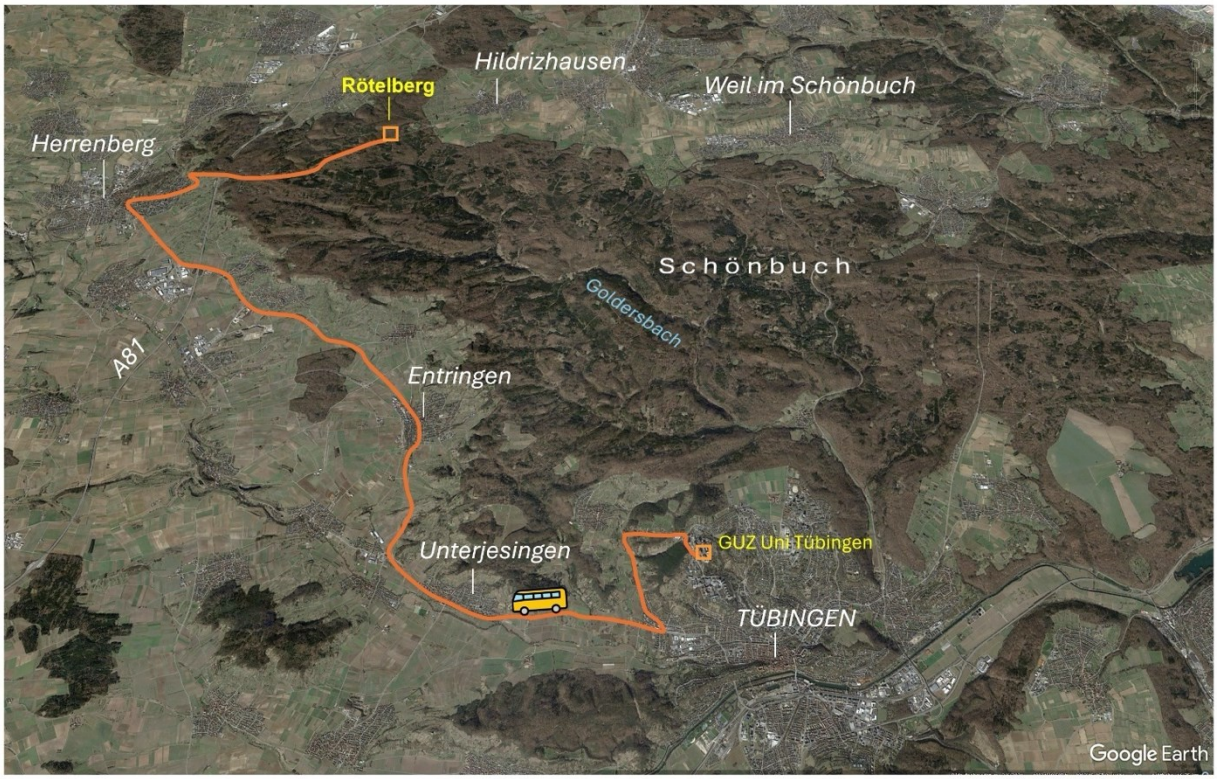


Abb. 1: Fahrtroute von Tübingen über Herrenberg zum Rötelberg bei Hildrizhausen; Luftbild: Google Earth, abgerufen am 13.01.2025

Die drei Exkursionsprofile liegen entlang einer Catena im nordwestlichen Schönbuch bei Hildrizhausen. Ein Verbraunter Normpelosol, ein Braunerde-Pelosol und ein Parabraunerde-Pseudogley aus Lehm- und Tonfließerden dienen als Demonstrationsprofile.

Die Fahrtroute führt von Tübingen am Südrand des Schönbuchs entlang über Ammerbuch-Entringen nach Herrenberg und von dort hinauf auf die bewaldete Keuperstufe des Schönbuchs (Abb. 1). Vor der Beschreibung des Exkursionsgebiets wird zunächst eine Übersicht zu den Neuerungen in der KA6 gegeben.

2 Neuerungen in der KA6

2.1 Horizontsymbolik

Die offensichtlichste Änderung gegenüber der KA5 sind die neuen Haupt- und Zusatzsymbole bei der Benennung der Horizonte. Die Hauptsymbole differenzieren jetzt stärker nach Hauptprozessen der Bodenbildung. Die bisherigen B-Horizonte, die sowohl Transformations- (wie Verbraunung) und Translationsprozesse (wie Lessivierung und Podsolierung) umfassten, wurden aufgeteilt: Die Einwaschungshorizonte werden jetzt durch das K (von „A**k**kumulation“), die Umwand-lungen weiterhin mit dem B gekennzeichnet. Die Horizonte anthropogener Ablagerung führen jetzt das Hauptsymbol D, zu denen die bisherigen kolluvialen M-Horizonte, die Plaggenesch- und Hortisol-E-Horizonte gehören. Auch die neu eingeführten Depositionshorizonte absichtlich wiederhergestellter Böden (als Dt-Horizonte) u. ä. gehören hierher. Für die neuen Bodenklassen Andosole und Rheosole wurden die Haupthorizonte N bzw. V eingeführt.

Es wurde außerdem versucht, gute Geländekriterien für jede Horizontdefinition zu finden. Alle Horizontmerkmale lassen sich im Gelände erkennen – auch wenn z. T. Laborwerte als Kriterien aufgenommen wurden. Eine gewisse Regionalkenntnis ist dabei hilfreich. Die klaren Kriterien stellen sicher, dass Horizontbenennungen eindeutig verstanden und interpretiert werden können. Für die Auswertung von Bodendaten in Bodeninformationssystemen ist dies fundamental.

Viel tiefgreifender als die Neuerungen bei den Hauptsymbolen sind die Änderungen bei der Bildung von Übergangshorizonten (Horizontsymbole mit Bindestrich[en]). Die KA5 (AG Boden 2005) ließ nur relativ wenige Übergangshorizonte zu. In der Praxis wurde davon aber immer wieder abgewichen, weil es zur adäquaten Kennzeichnung der Böden nicht anders möglich war, die Regeln unvollständig waren und häufig mehr Möglichkeiten zur Differenzierung gewünscht wurden. Dem wird das KA6-System gerecht, indem fast alle theoretisch möglichen Übergangshorizonte gebildet werden können, z. B. zwischen Ah und Bv nicht nur Ah-Bv, sondern auch Bv-Ah.

Damit diese Änderung nicht zu willkürlichen Benennungen mit unklarer Bedeutung führt, wurden für die Bildung von Übergangshorizonten Regeln aufgestellt. Die gab es in der KA5 bereits für G- und S-Horizonte, bei denen der Flächenanteil hydromorpher Merkmale darüber entscheidet, ob G bzw. S im Übergangssymbol vorn (jetzt als „subdominant“ bezeichnet) oder hinten („dominant“) stehen. So müssen dominante Kt-Horizonte (früher Bt) Tonbeläge auf mindestens 30% der Aggregatoberflächen aufweisen, subdominante auf 10 bis 30%. Zur Vermeidung von Definitionslücken ist nun festgelegt, in welchen Kombinationen von Hauptsymbolen die subdominante Stellung eines bestimmten Hauptsymbols abgeschwächte Merkmale kennzeichnet. Die Kriterien des jeweils anderen Symbols müssen dann vollständig erfüllt sein. Zum Beispiel müssen für die

Übergangshorizonte Bv-Kt bzw. Kt-Bv die Bv-Kriterien jeweils voll erfüllt sein, für den Kt die genannten Abschwächungen in subdominanter Stellung. Dagegen gelten abgeschwächte Bv-Kriterien in der Kombination Bv-Cv. Für manche Übergangshorizonte kommen zusätzlich zu den Regeln weitere Kriterien hinzu.

2.2 Bodensystematik

Die Änderungen in der Bodensystematik hatten mehrere Ziele: (1) bisher nicht enthaltene Böden widerspruchsfrei in das System aufzunehmen, (2) die Systematik selbst systematischer aufzubauen und (3) die Definitionen der einzelnen Einheiten überlappungs- und lückenfrei zu gestalten. Die auffallendste Änderung zur Erreichung des letzteren Ziels ist die Umstellung der Definitionen von Horizontfolgen auf diagnostische Horizonte. Ein Horizont wird durch Hinzufügen von Tiefen- oder Mächtigkeitskriterien diagnostisch für eine bestimmte bodensystematische Einheit. Dabei müssen im System auch immer die Kriterien / diagnostischen Horizonte der jeweils übergeordneten Einheit(en) zutreffen.

Änderungen hat es auf den höchsten Ebenen des Systems gegeben. Die bisherigen, im Prinzip nach dem Wasserhaushalt differenzierenden Abteilungen wurden etwas weiter unterteilt und auf eine neue Unterabteilungsebene verschoben. Auf der Abteilungsebene wird jetzt die grundlegende Unterscheidung mineralischer von organischen Böden vorgenommen. Die bisherigen Klassen wurden den neuen Unterabteilungen zugordnet. Viele Klassen bleiben in sich aber unverändert. Die bisherige Unterteilung von Ah/C-Böden einerseits und Schwarzerden andererseits wurde aber z. B. aufgehoben, weil der dahinterstehende Prozess, die Bildung eines Oberbodens durch Bioturbation, bei den Böden beider Klassen derselbe ist. Die neue Klasse heißt entsprechend A/C-Böden und ist ein Beispiel für das Ziel 2.

Die seit Beginn der 1970er Jahre beschriebenen Böden mit Stoffanreicherungen aus lateraler Verlagerung in Lösung wurden als Rheosole aufgenommen (Ziel 3). Sie ließen sich in das bisherige System nicht einordnen, das nur eine vertikale Umlagerung von Stoffen im Profil vorsah. Weitere Systematisierungen sind z. B. die Eingliederung der Anmoorgleye in die Nassgleye, die Auflösung der Moorgleye, die jetzt als Übergangssubtypen zwischen den Mooren und den Gleyen geführt werden, sowie die Verschiebung der Marschen, hauptsächlich als Typ Marschgley, in die Klasse der Gleye.

Neu aufgenommen wurden u. a. als Abmoor-Abweichungssubtypen die stark degradierten Moore, welche die Moorkriterien (mindestens 3 dm H-Horizonte) nicht mehr erfüllen, und Moore aus organischen Mudden (als Muddemoore). Die bisher als „kultivierte Moore“ zwar aufgelisteten, aber nicht in die Systematik eingegliederten Moormeliorationen (z. B. Sanddeckkultur, Tiefumbruch) wurden als Moorkultisole berücksichtigt – die Art der Melioration lässt sich jetzt in der dafür erweiterten Substratsystematik und damit in der Bodenform abbilden.

Mit den Umbrisolen (schwarzerdeähnliche Böden niedriger Basensättigung) und Andosolen wurden Böden aus der Weltbodenklassifikation WRB in die deutsche Systematik übernommen. Insbesondere im Hochgebirge wird es die neuen Organosole geben, deren Solum allein bzw. bis mindestens 3 dm Tiefe aus aeroben, terrestrischen Humushorizonten besteht. Mit den Deposolen sind die vom Menschen durch Auftrag wiederhergestellten Böden, z. B. im Zuge von Baumaßnahmen, aufgenommen worden.

Die Art und Weise, wie zwischen verschiedenen Bodentypen Übergangssubtypen

gebildet werden, ist gleichgeblieben: Meist ist entscheidend, ob die jeweils diagnostischen Horizonte oberhalb 4 dm unter der Oberfläche oder zwischen 4 und 8 dm auftreten (zuweilen 7 dm). Ausnahmsweise lag diese Grenze für den Podsol schon immer bei 1,5 dm.

2.3 Substratsystematik und Bodenausgangsgesteinsfolge

Die Substratsystematik hat bisher nicht die gewünschte Verbreitung gefunden, obwohl sie bereits mit der KA4 eingeführt wurde. Dabei erlaubt die Bodenform als Kombination von Bodensystematik (pedogenetische Einordnung) und Substratsystematik (Materialeigenschaften) eine sehr genaue Kennzeichnung eines Bodens. Durch eine starke Straffung der Inhalte in einem einzelnen Kapitel und eine vereinfachte Berücksichtigung des Grobbodenanteils ist der Versuch gemacht, das Verständnis des Systems und die Verwendung so weit zu erleichtern, dass sich mehr Bodenkundler und Bodenkundlerinnen an die Anwendung heranwagen.

Für die Bildung der Bodenform wurde als einfache Alternative zur substratsystematischen Einheit die Bodenausgangsgesteinsfolge, eine regelhafte Kennzeichnung der Ausgangsgesteine im Bodenprofil, formuliert.

3 Exkursionsgebiet

3.1 Geologie und Geomorphologie

Das Exkursionsgebiet liegt im nordwestlichen Teil des Schönbuchs zwischen Herrenberg und Hildrizhausen. Die mittel- bis grobkörnigen, ca. 35–50 m mächtigen Sandsteine der Löwenstein-Formation (Stubensandstein) bilden hier ein ausgedehntes Plateau zwischen 510 und 540 m ü. NHN, das erst weiter südlich in steile Täler im Mittelkeuper (Steigerwald-, Mainhardt- und Grabfeld-Fm.) übergeht (Abb. 3). Die oberflächliche Entwässerung erfolgt über den Goldersbach im Schichteinfallen in östlicher Richtung. Im Stubensandstein werden die weißlichen, linsenartig ausgebildeten Sandsteinkörper von rötlichen, grauen und grünlichen Ton- und Mergelsteinen unterbrochen.

Nach Nordwesten fällt die überwiegend bewaldete Keuperstufe zum Oberen Gäu ab, östlich schließt sich entlang einer Verwerfung der häufig mit Lösslehm bedeckte Unterjura (Obtususton- und Arietenkalk-Fm.) an. Als Besonderheit erhebt sich der Rötelberg (555 m ü. NHN), ein 10–20 m hoher Hügelrücken in der Trossingen-Formation (Knollenmergel), über das Plateau im Stubensandstein. Die Tonmergelsteine des zu Rutschungen neigenden Knollenmergels sind im Zuge der Reliefbildung als inselartiger Erosionsrest erhalten geblieben.

Zwei der drei Exkursionsprofile liegen am Süd- bzw. Nordhang des Rötelbergs auf Knollenmergel. Das dritte Profil befindet sich rund einen Kilometer südlich auf der Verebnung im Stubensandstein, der am Profilstandort nach geologischer Karte von Lösslehm bedeckt ist (Abb. 3).

3.2 Klima

Das Exkursionsgebiet wird von gemäßigtem Klima im Übergangsbereich von ozeanischen Verhältnissen in Westeuropa und osteuropäischem Kontinentalklima geprägt (Roos 2021). Mit seiner exponierten Lage ist auf den Höhen des westlichen Schönbuchs mit etwas erhöhten Niederschlägen und geringeren Temperaturen als im etwa 100 m tiefer liegenden Herrenberg zu rechnen. Wie im Gäu macht sich auch im Schönbuch die Lage im Regenschatten des Nordschwarzwaldes bemerkbar.

Für die Plateaulagen des westlichen Schönbuchs werden vom Deutschen Wetterdienst langjährige Monatsmittel des

Niederschlags zwischen 800 und 860 mm angegeben, die an den Hängen und in den Tälern bei weniger als 800 mm liegen (DWD). Die Monatsmittel des Niederschlags zeigen ein deutliches Maximum von Mai bis August (Abb. 2). Der Jahresdurchschnitt der Temperatur liegt in den Hochlagen um 9 °C und steigt in den Tälern auf Werte von 9,3–9,5 °C an. Nach Roos (2021) ist die sommerliche Niederschlagsspitze im Schönbuch konvektiv bedingt ausgeprägter als im Gäu.

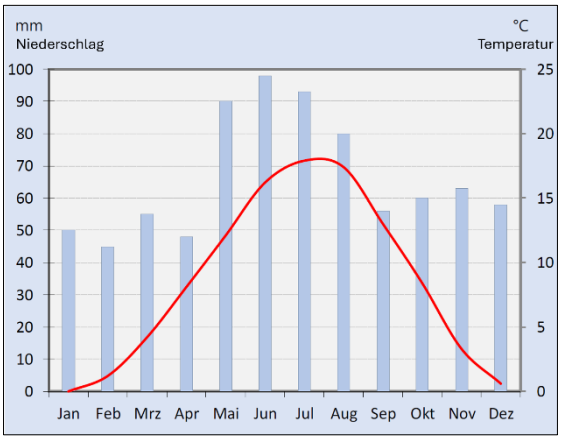
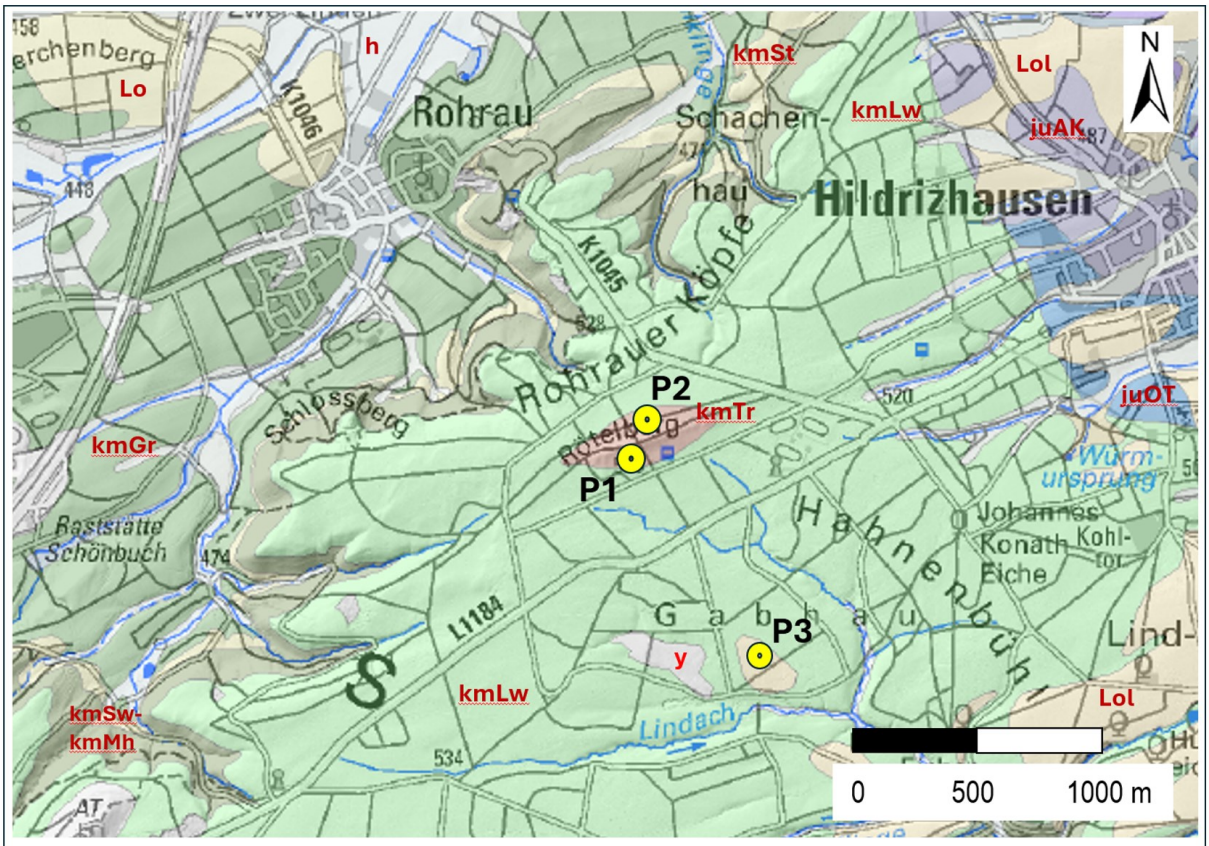


Abb. 2: Klimadiagramm Schönbuch mit langjährigen Monatsmitteln von Niederschlag und Temperatur 1991–2020; extrapoliert nach Stationen Weil im Schönbuch, Bebenhausen und Herrenberg (Roos 2021)



y - künstlich verändertes Gelände, **h** – holozänes Auensediment, **Lo** – Löss, **Lol** – Lösslehm, **juOT** – Obtususton-Fm., **juAK** – Arietenkalk-Fm., **kmTr** – Trossingen-Fm. (Knollenmergel), **kmLw** – Löwenstein-Fm. (Stubensandstein), **kmSw-kmMh** – Steigerwald- bis Mainhardt-Fm. (Bunte Mergel), **kmSt** – Stuttgart-Fm. (Schilfsandstein), **kmGr** – Grabfeld-Fm. (Gipskeuper).

Abb. 3: Geologische Karte mit Lage der Exkursionsprofile P1–P3; Grundlage: Geologische Karte 1 : 50 000 (GeoLa GK50) (Regierungspräsidium Freiburg 2021), Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg

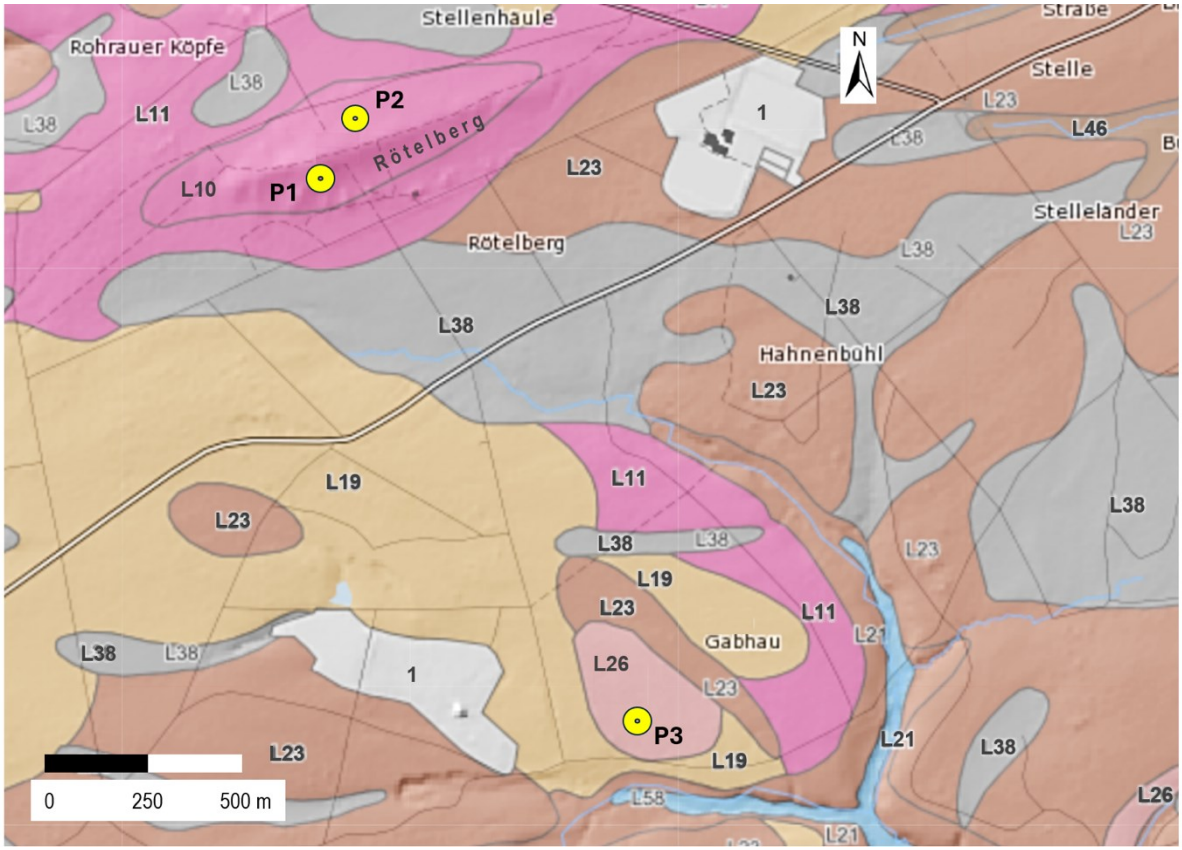
3.3 Nutzung und Vegetation

Der Schönbuch zeichnet sich durch seinen hohen Waldanteil von fast 90% inmitten des dichtbesiedelten Umlands aus. Der zentrale Bereich ist im Besitz des Landes Baden-Württemberg und die Wälder in den Randlagen gehören überwiegend den Anliegergemeinden. Heute wird rund die Hälfte des Waldes von Nadelwald (v. a. Fichte und Kiefer) eingenommen, ganz im Gegensatz zu dem ursprünglich reinen Laubwald. Die zugehörige Regionalwaldgesellschaft ist ein submontaner Buchen-Eichen-Wald.

In früheren Zeiten wurde der Wald vielseitiger genutzt. Das heutige Waldbild ist von den natürlichen Standortverhältnissen geprägt, birgt aber auch noch häufig Relikte aus der langen Nutzungsgeschichte. Neben dem hohen Wildbestand infolge der hoheitlichen Jagd im Schönbuch wirkten sich die über Jahrhunderte ausgeübte Waldweide und Streunutzung, z. T. auch zu hoher Holzeinschlag, negativ auf den Wald aus. Arnold (1986) zitiert eine Beschreibung der Waldflächen vor 200 Jahren als „devastierte und nur noch schütter bestockte Waldreste zwischen Weideflächen und Ödland“. Erst Anfang des 19. Jahrhunderts führte die planmäßige Forstwirtschaft zur langsamen Besserung des Waldzustandes. Gleichzeitig wurde der Nadelwaldanteil deutlich erhöht und die Übernutzung durch Waldweide und Streuentnahme zurückgedrängt.

3.4 Böden

Im Exkursionsgebiet sind großflächig mehrschichtige Böden aus periglaziären Deckschichten auf sandigen und tonigen Gesteinen des Mittelkeupers verbreitet. Die Fließerden bestehen aus verwittertem Keupermaterial und besitzen an der Geländeoberfläche häufig eine deutliche Lösskomponente. Die lösshaltige Fließerde an der Oberfläche wurde während der Jüngeren Tundrenzeit, der letzten Kaltphase des Spätglazials mit Dauerfrostboden, gebildet. In das Verwitterungsmaterial der anstehenden Gesteine fand im Auftaubereich Einmischung von Löss durch Solifluktion, in ebenem Gelände auch durch Solimixtion, statt. Gemäß Lagenmodell der Bodenkundlichen Kartieranleitung wird die Fließerde als Hauptlage bezeichnet. Sie weist unter natürlichen Verhältnissen eine Mächtigkeit von 3–6 dm auf und überlagert im Schönbuch meist eine tonige bis sandigtonige Fließerde (Basislage), die ausschließlich aus Verwitterungsmaterial der anstehenden Gesteine besteht und in ihrer Mächtigkeit stark schwankt. Zwischen Haupt- und Basislage schaltet sich an leeseitigen Osthängen sowie auf Plateauverebnungen mit bevorzugter Sedimentation von Löss häufig eine weitere lösshaltige Fließerde, die Mittellage, ein (Regierungspräsidium Freiburg 2019).



Legende: **L10, L11** – Pelosol bzw. Braunerde-Pelosol aus Knollenmergel-Fließerde, **L19** – Podsolige Braunerde auf Stubensandstein, **L23** – Pelosol-Braunerde aus Fließerden, **L26** Pseudogley-Parabraunerde aus lösshaltigen Fließerden, **L38** – Pseudogley aus Fließerden, **L58** – Auengley aus Auenlehm, **1** – anthropogen verändertes Gelände

Abb. 4: Bodenkarte 1 : 50 000 (Regierungspräsidium Freiburg, 2024); Ausschnitt Exkursionsgebiet mit Profilen P1–P3. Grundlage: Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg

An den Hängen des Rötelbergs sind Pelosole, Braunerde-Pelosole und Pelosol-Braunerden verbreitet (Abb. 4). Die Exkursionsprofile 1 und 2 repräsentieren diesen Bereich. Auf der nach Süden anschließenden Verebnungsfläche der Löwenstein-Formation (Stubensandstein) gehen die Böden in podsolige Braunerden aus Sandstein sowie Pelosol-Braunerden und Pseudogley-Braunerden aus Fließerden über. In flachen Plateaumulden kommen auf tongründigen Fließerden Pseudogleye und Pelosol-Braunerde-Pseudogleye vor. Untergeordnet treten pseudovergleyte Parabraunerden, Pseudogley-Parabraunerden und Parabraunerde-Pseudogleye (Exkursionsprofil 3) aus lösslehmhaltigen Fließerden (Haupt- über Mittellage) auf.

Im vorwiegend bewaldeten Schönbuch sind die Böden im Vergleich zur landwirtschaftlichen Nutzfläche wenig verändert, doch finden sich an den Hängen auch durch Bodenerosion verkürzte Profile, wie z. B. am Rötelberg. Dies betrifft v. a. die Pelosole und Braunerde-Pelosole der Kartiereinheiten L10 und L11 in der Bodenkarte (Abb. 4), die durch Erosion aus Pelosol-Braunerden entstanden sind. Der Bv-Horizont in der Hauptlage wurde durch anthropogene Einflüsse vollständig bzw. teilweise erodiert.

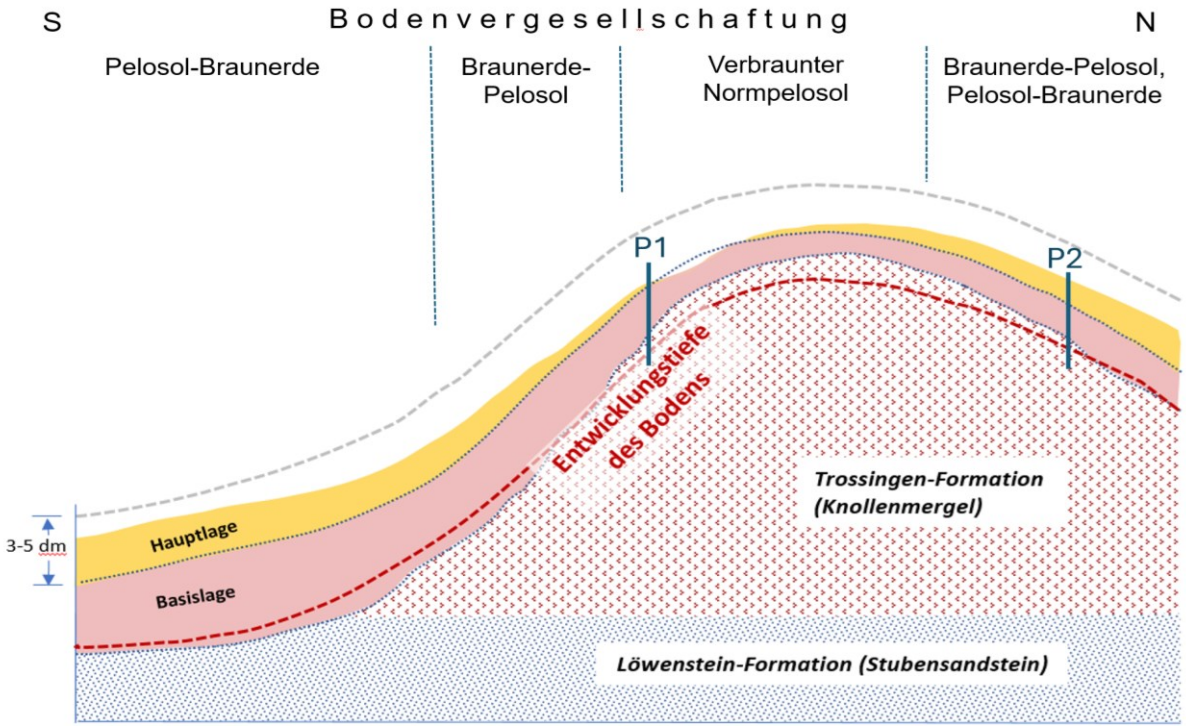


Abb. 5: Periglaziäre Lagen, bodengenetische Einheiten und Position der Exkursionsprofile P1 und P2 am Rötelberg

4 Exkursionsprofile

4.1 Profil 1 (P1)

Das Profil liegt am Südhang des Rötelbergs in einem lichten Eichenaltholz mit lockerem Unterstand aus Buche, Hainbuche und Elsbeere (Abb. 6). Die selten vorkommende naturnahe Waldgesellschaft ist ein Hainbuchen-Traubeneichen-Wald. Am Profilstandort liegt die Hangneigung bei 28%. Der Verbraunte Pelosol hat sich v. a. in einer Tonfließerde aus Verwitterungsmaterial des Knollenmergels entwickelt. Nach dem Lagenmodell handelt es sich um die Basislage (Abb. 5). Außer etwas Löss im Pv-Bv-Horizont (Erosionsrest der Hauptlage) fehlt Fremdmaterial völlig, da bis zum Scheitelbereich nur Knollenmergel ansteht. Die Grenze zwischen Tonfließerde und anstehendem Tonmergelstein lässt sich deshalb nur vermuten. Erfahrungsgemäß ist in dieser Reliefposition aber fast immer eine Basislage ausgebildet. Die Profilbeschreibung und Analysedaten zu P1 stammen aus der Musterprofilsammlung des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Regierungspräsidium Freiburg 2021). Der Pelosol war Beispielprofil für den Boden des Jahres 2022.

Tab. 1: Standortbeschreibung

Bodenausgangs-gesteinsfolge:	Flache Lehmfließerde über Tonfließerde (Haupt- über Basislage) auf Tonmergelstein des Mittelkeupers
Relief:	mit 28% nach Süden geneigter Hang
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Eiche, Buche
Höhenlage:	547 m ü. NHN
N[1]:	734 mm
JMT[1]:	9,2 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: Jahresmitteltemperatur, jeweils 1991-2020

Die ursprünglich vorhandene lössführende Hauptlage (vgl. P2) ist weitgehend abgetragen. Ah- und Pv-Bv sind im geringmächtigen Erosionsrest der Hauptlage mit deutlich höheren Schluffgehalten entwickelt. Die Untergrenze des Pv-Horizonts schwankt in der Profilgrube zwischen 6 und 10 dm. Bei Austrocknung zeigt der Pv ein ausgeprägtes Polyedergefüge mit kantigen Polyedern, teilweise auch Prismen. Der Übergang zum elCv-Horizont vollzieht sich entlang zweier Übergangshorizonte mit nach unten abnehmender Gefügeentwicklung und zunehmendem Kalkgehalt (Abb. 7).

Die Profilbeschreibung ist nur wenig von den Neuerungen in der KA6 betroffen. Das Profilbeispiel zeigt allerdings die erweiterten Möglichkeiten und den Bedarf bei der Ausweisung von Übergangshorizonten. So waren die Horizontkombinationen Pv-Bv und Pv-Cv nach KA5 nicht möglich. Außerdem existierte die Varietät Verbraunter Normpelosol noch nicht.



Abb. 6: Eichen-Altholz mit jüngeren Buchen am Standort von Profil 1 (Foto: W. Fleck)

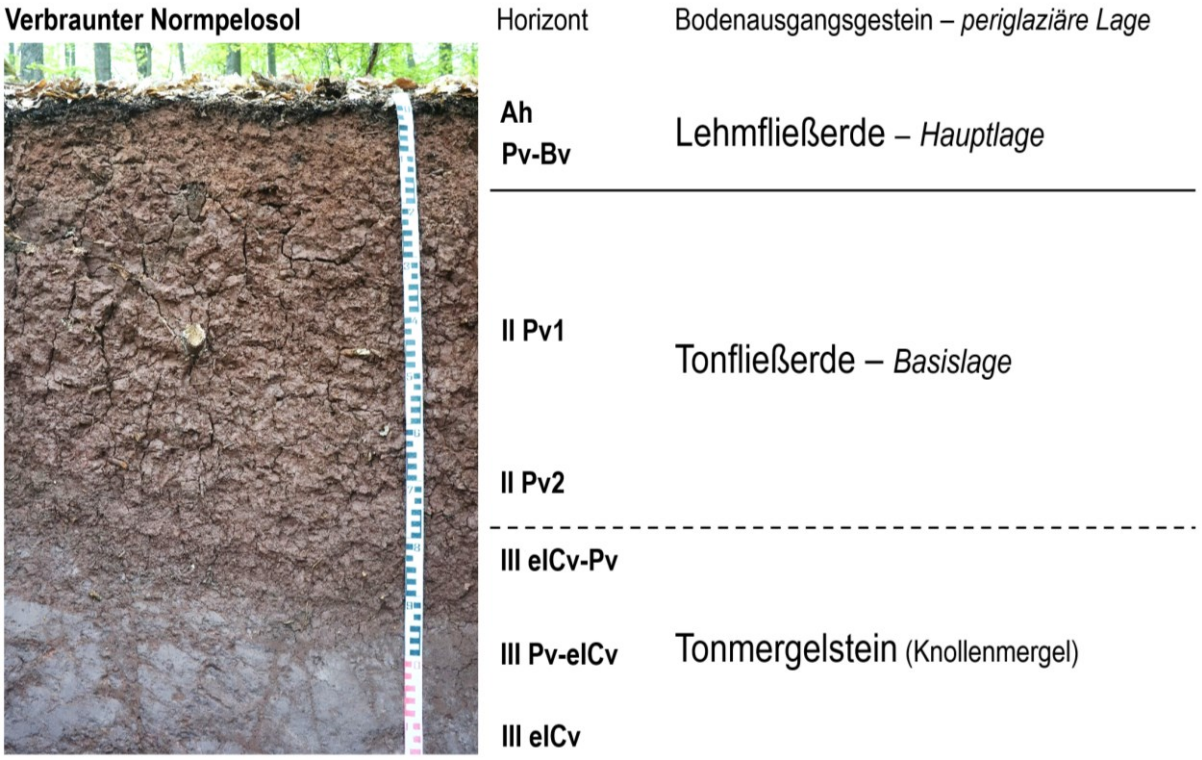


Abb. 7: Ansicht des Bodenprofils mit Horizontabfolge, Bodenausgangsgesteinen und periglaziären Lagen (Foto: W. Fleck); LGRB-Musterprofil 7319.6 (Regierungspräsidium Freiburg 2021)

Tab. 2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangsgestein	Perigl. Lage
VERBRAUNTER NORMPELOSOL AUS FLACHER LEHMFLIESSERDE ÜBER TONFLIESSERDE AUF TIEFEM TONMERGELSTEIN										
0 – 1	Ah	Tu3	0	5YR 2/4	sub+kru	Wf5	h6	c0	pf.L-qwdj	LH
– 10	Pv-Bv	Tu3	0	5YR 3/6	sub+pol	Wf4	h3	c0	pf.L-qwdj	LH
– 62	II Pv1	Tu2	0	2.5YR 3/4	pol	Wf3	h2	c0	pf.T-qW	LB
– 77	II Pv2	Tt	0	2.5YR 3/4	pol	Wf3	h2	c0	pf.T-qW	LB
– 90	III elCv-Pv	Tu2	3	2.5YR 3/4	pol	Wf3	h2	c4	Cmt-km	-
– 112	III Pv-elCv	-	-	10R 4/2 + 2.5YR 3/4	-	Wf2	h2	c5	Cmt-km	-
– 160+	III elCv	-	-	10R 4/2 + 2.5YR 3/4	-	Wf1	h1	c5	Cmt-km	-

Deutsche Klassifikation: Verbraunter Normpelosol (bDDn) LGRB-Musterprofil 7319.6 – Boden des Jahres 2022

WRB: Hypereutric Rhodic Cambisol (Amphiclayic, Endogeoabruptic, Bathycalcaric, Humic, Amphiraptic, Endoprotovertic)

Humusform: F-Mull (MF)

Tab. 3: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Bodenart
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0 – 1	Ah	0,6	1,4	3,0	11,7	27,6	16,3	39,4	55,6	5,0	Tu3
– 10	Pv-Bv	0,5	1,8	3,4	18,5	27,2	16,3	32,3	62,0	5,7	Tu3
– 62	II Pv1	0,1	0,7	1,7	10,3	13,3	10,1	63,8	33,7	2,5	Tu2
– 77	II Pv2	0,1	0,8	3,7	7,8	8,9	9,0	69,7	25,7	4,6	Tt
– 90	III elCv-Pv	0,1	1,0	4,5	15,0	13,5	10,3	55,6	38,8	5,6	Tu2
– 112	III Pv-elCv	2,0	6,7	12,3	12,8	24,1	15,4	26,7	52,3	21,0	-
– 160+	III elCv	4,2	7,0	7,8	8,3	28,8	21,9	22,0	59,0	19,0	-

Tab. 4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0 – 1	Ah	-	-	-	-	-	-
– 10	Pv-Bv	1,32	49	11	38,0	14,6	23,4
– 62	II Pv1	1,36	48	2	46,9	7,8	39,1
– 77	II Pv2	-	-	-	-	-	-
– 90	III elCv-Pv	-	-	-	-	-	-
– 112	III Pv-elCv	1,74	34	7	27,9	9,6	18,3

Tab. 5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	pH	pH	Carbonat	C_{org}	N_t	C/N	Humus	P (CAL)	K (CAL)
[cm]		[H_2O]	[$CaCl_2$]	[%]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[%]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0 – 1	Ah	-	4,7	0	112,4	5,6	20,1	22,5	31	241
– 10	Pv-Bv	-	3,8	0	23,4	1,0	23,4	4,7	4	58
– 62	II Pv1	-	3,7	0	7,0	<0,5	-	1,4	<4	57
– 77	II Pv2	-	5,3	0	6,6	0,7	9,4	1,3	<4	75
– 90	III elCv-Pv	-	6,9	10,2	7,3	0,7	10,4	1,5	4	58
– 112	III Pv-elCv	-	7,4	40,0	5,2	<0,5	-	1,0	17	33
– 160+	III elCv	-	7,5	44,4	4,0	<0,5	-	0,8	31	33

Tab. 6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 1	Ah	234,9	96	<0,2	8,3	175,0	41,8	<0,1	<0,1	9,7	<0,3
– 10	Pv-Bv	88,6	77	<0,2	1,2	49,6	17,4	<0,1	16,7	1,9	1,8
– 62	II Pv1	143,4	83	<0,2	<0,1	105,0	36,0	<0,1	<0,1	0,3	2,2
– 77	II Pv2	259,3	100	<0,2	<0,1	222,3	36,9	<0,1	<0,1	0,1	<0,4

Tab. 7: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe	Horizont	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	Tl
[cm]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
0 – 1	Ah	38	0,22	31	5	22	0,11	32	0,20
– 10	Pv-Bv	34	0,09	36	1	25	0,03	23	0,24
– 62	II Pv1	18	0,03	68	2	47	0,00	21	0,37
– 77	II Pv2	17	0,06	84	3	57	0,00	21	0,49
– 90	III elCv-Pv	17	0,09	73	5	46	0,02	22	0,51
– 112	III Pv-elCv	13	0,08	45	5	27	0,01	17	0,37

4.2 Profil 2 (P2)

Das Bodenprofil liegt nur rund 100 m von P1 entfernt am Nordhang des Rötelbergs, der hier etwas flacher, am Profilstandort mit 17%, abfällt. Im Braunerde-Pelosol ist über der Basislage die Hauptlage mit knapp 30 cm Mächtigkeit vorhanden. Die hellbraune Farbe und der hohe Schluffgehalt von 70–80% (Bodenart Ut4) lassen auf eine deutliche Lösskomponente schließen. Wie bei P1 besteht die Basislage aus tonigem Verwitterungsmaterial des Knollenmergels. Der unverwitterte Tonmergelstein setzt hier schon bei 6 dm unter der Mineralbodenoberfläche (MOF) mit dem III emCn-Horizont ein (Abb. 8). Die Profilbeschreibung mit Analysedaten stammt wie bei P1 aus der Musterprofilsammlung des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Regierungspräsidium Freiburg 2021).

Nach der KA6 ist die zugehörige bodensystematische Einstufung ein Braunerde-Pelosol, da die Untergrenze des Bv-Horizonts oberhalb von 3 dm unter MOF, bei 28 cm, liegt. Das Profil ist durch Erosion etwas verkürzt. Bei der ursprünglich vorhandenen Pelosol-Braunerde dürfte die Mächtigkeit der Hauptlage mit Ah- und Bv-Horizont deutlich über 3 dm gelegen haben.

In der KA6 erfuhr die Benennung von Übergängen zwischen Pelosol und Braunerde sowie zwischen Terra fusca und Braunerde eine wesentliche Änderung, die sich besonders auf die systematische Einordnung der

Böden auf Ton- und Karbonatgesteinen im südwestdeutschen Schichtstufenland auswirkt. Das Mächtigkeitskriterium des Ah- und Bv-Horizonts (Hauptlage) über dem II Pv- bzw. II Tv-Horizont (Basislage) wurde so verändert, dass nun der Einfluss des tonigen Unterbodens stärker gewichtet wird. Beginnt bei der Pelosol-Variante der II Pv oberhalb 3 dm unter MOF, wird der Boden als Braunerde-Pelosol eingestuft. Bei der Pelosol-Braunerde reicht der Bv dagegen über 3 dm Profiltiefe hinaus. Nach KA5 wäre P2 als Pelosol-Braunerde mit Untergrenze des Bv zwischen 1,5 und 3 dm zu benennen. Ein Braunerde-Pelosol mit geringmächtigem reinem Bv-Horizont war nicht vorgesehen.

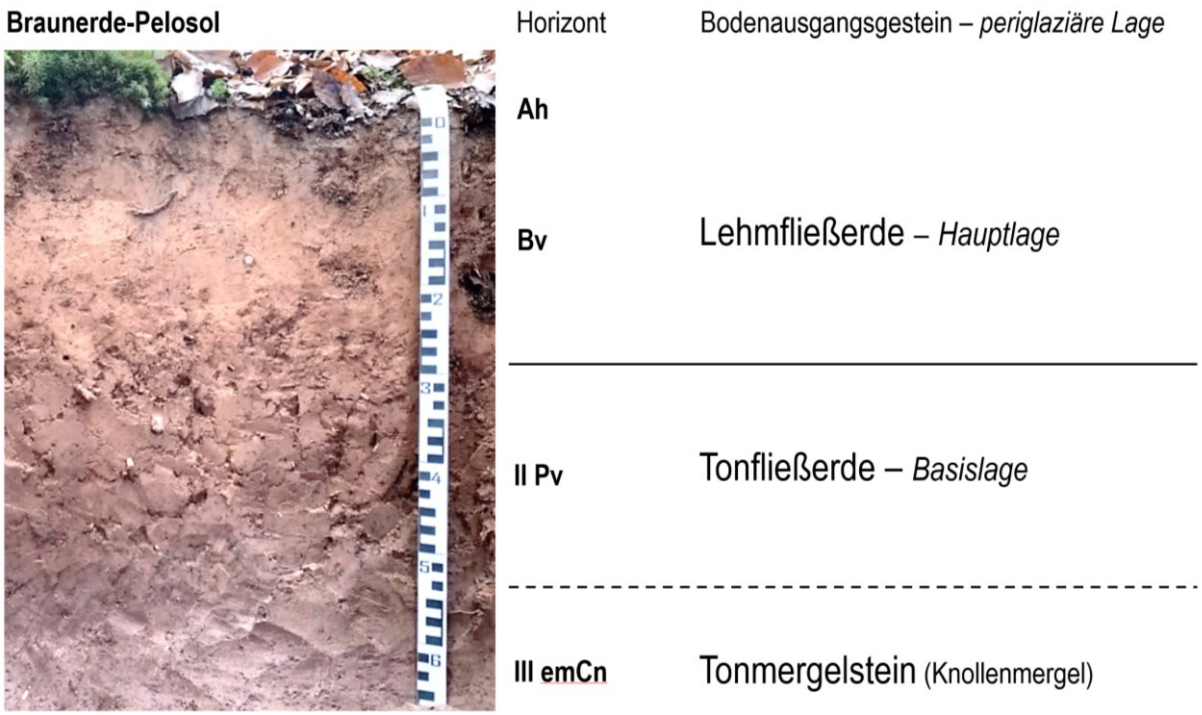


Abb. 8: Ansicht des Bodenprofils mit Horizontabfolge, Bodenausgangsgesteinen und periglaziären Lagen (Foto: W. Fleck), LGRB-Musterprofil 7319.2 (Regierungspräsidium Freiburg 2021)

Tab. 8: Standortbeschreibung

Bodenausgangsgesteinsfolge:	Flache Schlufffließerde über Tonfließerde auf Tonmergelstein des Mittelkeupers
Relief:	mittel geneigter, nach Norden exponierter Hang
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	547 m ü. NHN
N[1]:	734 mm
JMT[1]:	9,2 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: Jahresmitteltemperatur, jeweils 1991-2020

Tab. 9: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Bo-den-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangs-gestein	Perigl. Lage
BRAUNERDE-PELOSOL AUS FLACHER SCHLUFFFLIESSERDE ÜBER LEHMFLIESSERDE										
0 – 4	Ah	Ut4	0	7.5YR 3/4	sub+kru	Wf5	h4	c0	pf.U-qwdj	LH
– 28	Bv	Ut4	0	5YR 5/6	sub	Wf3	h3	c0	pf.U-qwdj	LH
– 61	II Pv	Tu2	0	5YR 3/6	pol	Wf3	h1	c0	pf.T-qW	LB
– 75+	III emCn	-	0	2.5YR 4/3	-	Wf1	h1	c5	Cmt-km	-
Deutsche Klassifikation: Braunerde-Pelosol (BB-DD) LGRB-Musterprofil 7319.2 WRB: Eutric Chromic Endoleptic Cambisol (Clayic, Humic, Raptic) Humusform: F-Mull (MF)										

Tab. 10: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 4	Ah	0,5	1,1	2,9	29,3	30,4	17,5	18,3	77,2	4,5	Ut4
– 28	Bv	0,6	1,6	2,8	29,9	28,2	18,4	18,5	76,5	5,0	Ut4
– 61	II Pv	<0,1	1,0	1,9	10,5	14,4	10,7	61,5	35,6	2,9	Tu2
– 75+	III emCn	2,2	6,2	18,1	24,4	18,4	13,4	17,3	56,2	26,5	Lu

Tab. 11: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0 – 4	Ah	-	-	-	-	-	-
– 28	Bv	1,44	45	15	30,0	20,1	9,9
– 61	II Pv	1,37	48	4	44,5	6,5	38,0
– 75+	III emCn	-	-	-	-	-	-

Tab.12: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbo-nat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	Humus [%]	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0 – 4	Ah	-	4,8	0	47,7	2,7	18	9,5	13	125
– 28	Bv	-	4,1	0	10,5	0,4	26	2,1	4	25
– 61	II Pv	-	6,1	0	4,7	0,6	8	0,9	4	58
– 75+	III emCn	-	7,6	36,4	1,2	0,3	-	0,2	4	25

Tab. 13: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 4	Ah	83,5	83	<0,5	2,5	54,0	13,1	<0,1	0,4	12,2	1,3
– 28	Bv	38,4	12	<0,5	0,9	1,1	2,7	<0,1	30,3	3,4	<1,0
– 61	II Pv	203,4	85	<0,5	5,3	107,8	60,3	<0,1	28,5	0,3	1,1
– 75+	III emCn	253,0	100	<0,5	2,9	205,9	44,2	<0,1	<0,1	0,1	<1,0

Tab. 14: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe [cm]	Horizont	Pb [mg/kg]	Cd mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Hg [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Tl [mg/kg]
0 – 4	Ah	44	<0,10	8	<1[	6	0,08	21	0,05
– 28	Bv	30	<0,10	12	<1	8	0,04	6	0,06
– 61	II Pv	18	<0,10	56	<1	37	0,02	20	0,33
– 75+	III emCn	13	<0,10	24	<1	9	0,01	2	0,33

4.3 Profil 3 (P3)

Tab. 15: Standortbeschreibung

Bodenausgangs-gesteinsfolge:	Fließerdefolge (Haupt-, Mittel- über tiefer Basislage) auf Sandstein des Mittelkeupers
Relief:	sehr schwach nach Südosten geneigte Verebnung
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Eiche, Altholz
Höhenlage:	512 m ü. NHN
N[1]:	734 mm
JMT[1]:	9,2 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: Jahresmitteltemperatur, jeweils 1991-2020

Das Profil liegt rund einen Kilometer südöstlich des Rötelbergs in einem lichten Altholz mit Eichen und Buchen. Das Gelände ist am Profilstandort mit 3% sehr schwach nach Süden geneigt und befindet sich in einer sehr flachen Plateaumulde im Stubensandstein (Löwenstein-Fm.). Über einer Wechselfolge von Sand- und Tonstein im Untergrund lagern eine Tonfließerde (Basislage, III Sd-P-ilCv-Horizont) und darüber eine Lehmfließerde mit geringem Lösslehmanteil (Mittellage, II Pv-Kt-Sd-Horizont). Das tonige, bei Wassersättigung kaum durchlässige Unterbodenmaterial wirkt als Staukörper und führt zu deutlichen Pseudogleymerkmalen, insbesondere in der nach oben abschließenden sandig-schluffigen Fließerde (Hauptlage) mit der Horizontabfolge Sw-Ah/El-Sw/Sw/Sd-Kt+Sw (Abb. 9).

Damit treffen im Profil die Merkmale von drei Bodentypen zusammen. Die Tonverlagerung wird von der Pseudovergleyung überprägt und im tonigen Unterboden ist zusätzlich eine für Pelosole typische Dynamik mit Quellung und Schrumpfung mit ausgeprägtem Polyedergefüge festzustellen. Als bodengenetische Einheit wurde deshalb ein Pelosol-Parabraunerde-Pseudogley (DD-LL-SS) ausgewiesen.

Durch die im Vergleich zu P1 und P2 komplexere Bodengenese sind die Horizontmerkmale, besonders in ihrer Gewichtung, teilweise schwer zu erkennen. Dies betrifft z. B. die Flächenanteile der hydromorphen Merkmale und der Tonbeläge im II Pv-Kt-Sd-Horizont. Bei der Profilbeschreibung im Sommer 2024 war besonders die Einschätzung des Staunässegrads aufgrund der nassen Verhältnisse schwierig.

Mit der Möglichkeit drei Hauptsymbole zu kombinieren, bietet die KA6 größeren Spielraum bei der Horizontkennzeichnung solcher sogenannter Interferenz-Typen. Bei den Lessivés wurden Tonverarmungs- (Al) und der Tonanreicherungshorizont (Bt) in El- bzw. Kt-Horizont aus den oben genannten Gründen umbenannt.

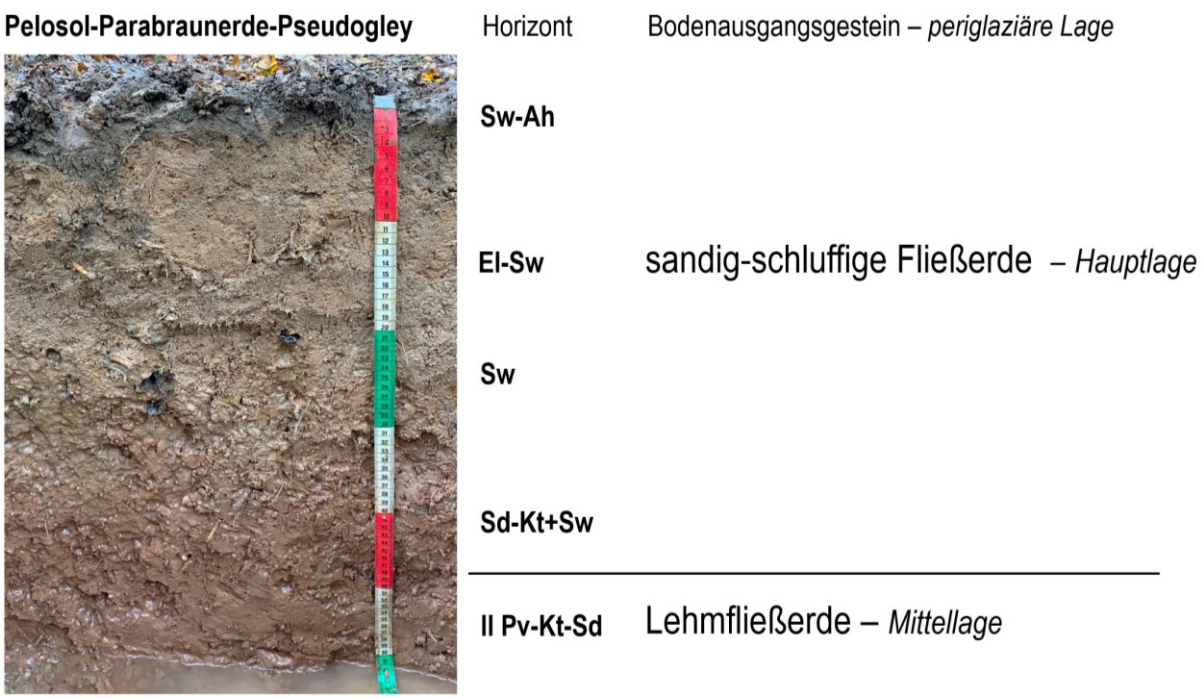


Abb. 9: Ansicht des Bodenprofils mit Horizontabfolge, Bodenausgangsgesteinen und periglaziären Lagen; Wasseraustritte über dem II Pv-Kt-Sd-Horizont im Oktober 2024 (Foto: W. Fleck)

Tab. 16: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Ske-lett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wur-zeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Aus-gangs-gestein	Perigl. Lage
PELOSOL-PARABRAUNERDE-PSEUDOGLEY AUS FLIESSERDEN										
0 – 6	Sw-Ah	Slu	0	7.5YR 3/3	koh	Wf5	h4	c0	pf-qwdj	LH
– 19	El-Sw	Slu	0	7.5YR 6/3	koh+sub	Wf4	h3	c0	pf-qwdj	LH
– 32	Sw	Slu	1	7.5YR 6/3	koh+sub	Wf4	h1	c0	pf-qwdj	LH
– 50	Sd-Kt+Sw	Slu	1	7.5YR 6/3 + 5YR 4,5/6	pol+sub	Wf4	h1	c0	pf-qwdj	LH
– 85	II Pv-Kt-Sd	Lt3	1	5YR 4,5/6	pol	Wf3	h1	c0	pf.L-qW	LM
– 130	IIISd-P-ilCv	*Tl*		2.5YR 3/4	-	-	-	c0	pf.T-qW	LB
– 160	IV ilCv	*Tl*		dvi + hgr	-	-	-	c4	pf.T-qW	LB
–170+	V ilCv	*Sl3*		hbn	-	-	-	c4	Sn-km	-

Deutsche Klassifikation: Pelosol-Parabraunerde-Pseudogley (DD-LL-SS)
WRB: Dystric Alic Stagnosol (Loamic, Humic)
Humusform: F-Mull (MF)

Tab. 17: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 6	Sw-Ah	7,3	23,3	12,9	18,7	18,0	7,6	12,2	44,3	43,5	Slu
– 19	El-Sw	8,2	20,9	10,7	18,1	18,4	7,0	16,7	43,5	39,8	Slu
– 32	Sw	7,7	22,7	10,6	18,4	17,5	7,3	15,8	43,2	41,0	Slu
– 50	Sd-Kt+Sw	13,4	20,2	9,5	17,7	17,0	6,8	15,4	41,5	43,1	Slu
– 85	II Pv-Kt-Sd	7,6	12,6	8,0	16,0	13,4	5,7	36,7	35,1	28,2	Lt3
– 130	IIISd-P-ilCv	0,6	2,7	7,3	17,5	15,5	8,7	47,7	41,7	10,6	Tu2

Tab. 18: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	pH	pH	Carbonat	C_{org}	N_t	C/N	Humus	P (CAL)	K (CAL)
[cm]		[H_2O]	[$CaCl_2$]	[%]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[%]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0 – 6	Sw-Ah	4,0	3,8	0	30,0	2,6	15,4	6,0	17	75
– 19	El-Sw	3,8	3,5	0	9,9	0,7	14,1	2,0	1	8
– 32	Sw	3,9	3,6	0	3,7	<0,5	-	0,7	0,1	8
– 50	Sd-Kt+Sw	4,1	3,6	0	2,1	<0,5	-	0,4	-	25
– 85	II Pv-Kt-Sd	4,3	3,8	0	1,2	<0,5	-	0,2	-	-

Tab. 19: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 6	Sw-Ah	175,6	94,1	<0,17	3,4	118,5	43,4	<0,02	8,4	0,4	0,8
– 19	El-Sw	49,9	46,5	<0,17	2,0	15,1	6,1	<0,02	19,3	6,9	0,5
– 32	Sw	52,1	8,4	<0,17	0,7	1,8	1,9	<0,02	45,8	1,3	0,5
– 50	Sd-Kt+Sw	50,2	12,0	<0,17	0,9	2,8	2,3	<0,02	41,5	2,3	0,4
– 85	II Pv-Kt-Sd	141,7	48,4	<0,17	3,6	45,3	19,7	0,09	71,5	1,0	0,6

Tab. 20: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe	Horizont	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d
[cm]		[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	
0 – 6	Sw-Ah	2,8	4,5	1,0	1,3	0,62
– 19	El-Sw	3,0	4,9	1,1	0.86	0,61
– 32	Sw	2,6	5,1	1,1	0,32	0,51
– 50	Sd-Kt+Sw	3,2	6,6	1,1	0,81	0,48
– 85	II Pv-Kt-Sd	1,4	9,4	1,4	0,12	0,15

Tab. 21: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe	Horizont	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	Tl	As	U	Se
[cm]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
0 – 6	Sw-Ah	36	0,09	14	6	11	0,08	19	0,16	6	0,95	0,19
– 19	El-Sw	24	0,04	16	7	11	0,06	17	0,12	6	1,23	0,17
– 32	Sw	23	0,04	20	8	13	0,04	18	0,12	6	1,05	0,23
– 50	Sd-Kt+Sw	15	0,04	39	16	26	0,03	26	0,19	7	0,99	0,21
– 85	II Pv-Kt-Sd	17	0,03	53	22	35	0,02	30	0,35	7	1,14	0,16

5 Methoden

Die Bodenansprache wurde gemäß IUSS (2022) und AG Boden (2024) durchgeführt.

Bodenphysikalische Methoden

Die Korngrößenbestimmung erfolgte gemäß der kombinierten Sieb- und Pipettmethode nach Köhn (ISO 11277), die Trockenrohdichte (TRD, g cm^{-3}) wurde durch Trocknen von ungestörten Stechzylinderproben nach (DIN 19683-12) bestimmt. Die Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen wurden bis pF 2,8 durch Druckentwässerung von Stechzylinderproben (100 cm^3) und für pF 4,2 an gestörten Teilproben bestimmt (DIN 19683-5, modifiziert).

Bodenchemische Methoden

Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtkohlenstoff (C_t) und Gesamtstickstoff (N_t) wurden durch Verbrennung im Elementaranalysator bestimmt, die Berechnung des Karbonatgehalts erfolgte durch Abzug des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) vom Gesamtkohlenstoff (C_t).

Pflanzenverfügbares Phosphat (P_2O_5) und Kalium (K_2O) wurde im Calciumlactat-Auszug, pflanzenverfügbares Magnesium (Mg) im Calciumchlorid-Auszug analysiert (VDLUFA 1991). Die Bestimmung der potentiellen Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) erfolgte im $BaCl_2$-Extrakt nach DIN ISO 13536 (modifiziert), die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) nach Extraktion mit NH_4Cl im Schüttelverfahren beim pH des Bodens. Pedogene Fe-, Al- und Mn-Oxide wurden durch Oxalat- bzw. Dithionit-Extraktionen in Anlehnung an Schwertmann (1964) bzw. Mehra & Jackson (1960) bestimmt. Die pH-Messungen in $CaCl_2$ und H_2O erfolgten durch elektrometrische Messung (DIN ISO 10930).

Danksagung

Die Vorbereitung der Exkursion wurde unterstützt vom Amt für Forsten im Landratsamt Böblingen, der Gemeinde Hildrizhausen als Waldbesitzer und den MitarbeiterInnen im Labor des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau. Allen Beteiligten ein herzliches Dankeschön!

Literatur

AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5. Aufl., 438 S.,41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover.

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 6. Aufl., 552 S., 73 Abb., 160 Tab.; Hannover.

Arnold, W. (1986): Der Wald im Naturpark Schönbuch. - In: Das landschafts-ökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. – DFG, Dt. Forschungsgemeinschaft, Hrsg. von G. Einsele, Weinheim, VCH-Verlag.

DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2 m) für Deutschland 1991–2020, Version v1.0.

IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. Wien, Österreich.

Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19.

Mehra, O. P., Jackson, M. L. (1960): Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Minerals 7: 317–327.

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2019): Geowissenschaftliches Informationsportal LGRBwissen, https:// lgrbwissen. lgrb-bw.de/ [abgerufen am 27.08.2024].

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2021): LGRB-Kartenviewer, https://maps.lgrb-bw.de/ [abgerufen am 31.12. 2024]

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau

(Hrsg.) (2024): Bodenkundliche Einheiten. – Bodenkarte 1 : 50.000 (GeoLa), Kartenansicht. https://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_geola_bod 28.10.2024

Roos, W. (2021): Klimageographie des Herrenberger Gäus. – https://www.academia.edu/60105475/Roos_Klima.

Schwertmann, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Zeitschrift für Pflanzen-ernährung, Düngung, Bodenkunde 105: 194–202.

VDLUFA (1991): Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden. – 4. Aufl.; Darmstadt.

E05: Kleine Pflanzen, große Wirkung: Moose und ihr Einfluss auf den Boden (Technische Tour)

Corinna Gall, Steffen Seitz

Universität Tübingen, Bodenkunde und Geomorphologie

1 Einleitung

Für den Wald wird Trockenstress als eine der gravierendsten Auswirkungen des Klimawandels angesehen. In diesem Zusammenhang sind Waldböden in ihrer hydrologischen Funktion von großer Bedeutung. Unter Wald stellen Moose einen wichtigen ökologischen Faktor als Wasserreservoir und Bodenstabilisator dar; sie beeinflussen den Oberflächenabfluss und bilden einen wirksamen Schutz gegen Erosion, speziell an Störungsstellen nach Forstarbeiten. Die Bäume selbst verändern in ihrer ökohydrologischen Funktion ebenfalls in bedeutendem Maße den Bodenwasserhaushalt und nehmen durch Änderungen im Bestandsniederschlag auch Einfluss auf oberflächennahe Verlagerungsprozesse.

2 Exkursionsgebiet

Wir besichtigen zunächst den Botanischen Garten der Universität Tübingen mit seinem Arboretum. Auf dem dort angelegten Moospfad wird in die Thematik eingeführt, bevor aktuelle Messsysteme der ökohydrologischen Forschung vorgestellt werden. Anschließend können aktuelle Forschungsvorhaben zu diesen Themen im Naturpark Schönbuch sowie auf den Versuchsflächen und in Gewächshäusern der Universität Tübingen besichtigt werden. Dazu zählen Klima- und Bodenmessstationen und eine mobile Klein-Beregnungsanlage.

Die Exkursion bewegt sich fußläufig zum Tagungsgebäude und endet mit Beginn der Auftaktveranstaltung (Icebreaker) dort. Insgesamt werden ca. 6 km zu Fuß zurückgelegt (Abb. 1).



Abb. 1: Darstellung der Exkursionsroute mit Standorten

2.1 Geologie

Geologisch ist Tübingen dem Keuperbergland zuzuordnen, wobei die Schichtenfolge vom Gipskeuper bis zum Beginn des Schwarzen Jura reicht. Neben der Psilonotenton-Formation zeichnen sich auch die Sandstein-Horizonte des mittleren und oberen Keupers als Schichtstufenbildner aus (Einsele and Agster 1986).

Unsere Exkursion startet am Botanischen Garten der Universität Tübingen, der sich auf der Schicht der Löwenstein-Formation (Stubensandstein) befindet. Über das Arboretum, geologisch im Bereich der Trollinger-Formation (Knollenmergel) gelegen, erreichen wir den Heuberg, der durch verschiedene Schichten der Psilonotenton- und Angulatensandstein-Formation gebildet wird, auf denen sich eine Lösslehmschicht abgelagert hat. Am Ende unserer Exkursionsroute erreichen wir den Steinenberg, der durch die Exter-Formation (Rhätsandstein) gebildet wird (Abb. 2).

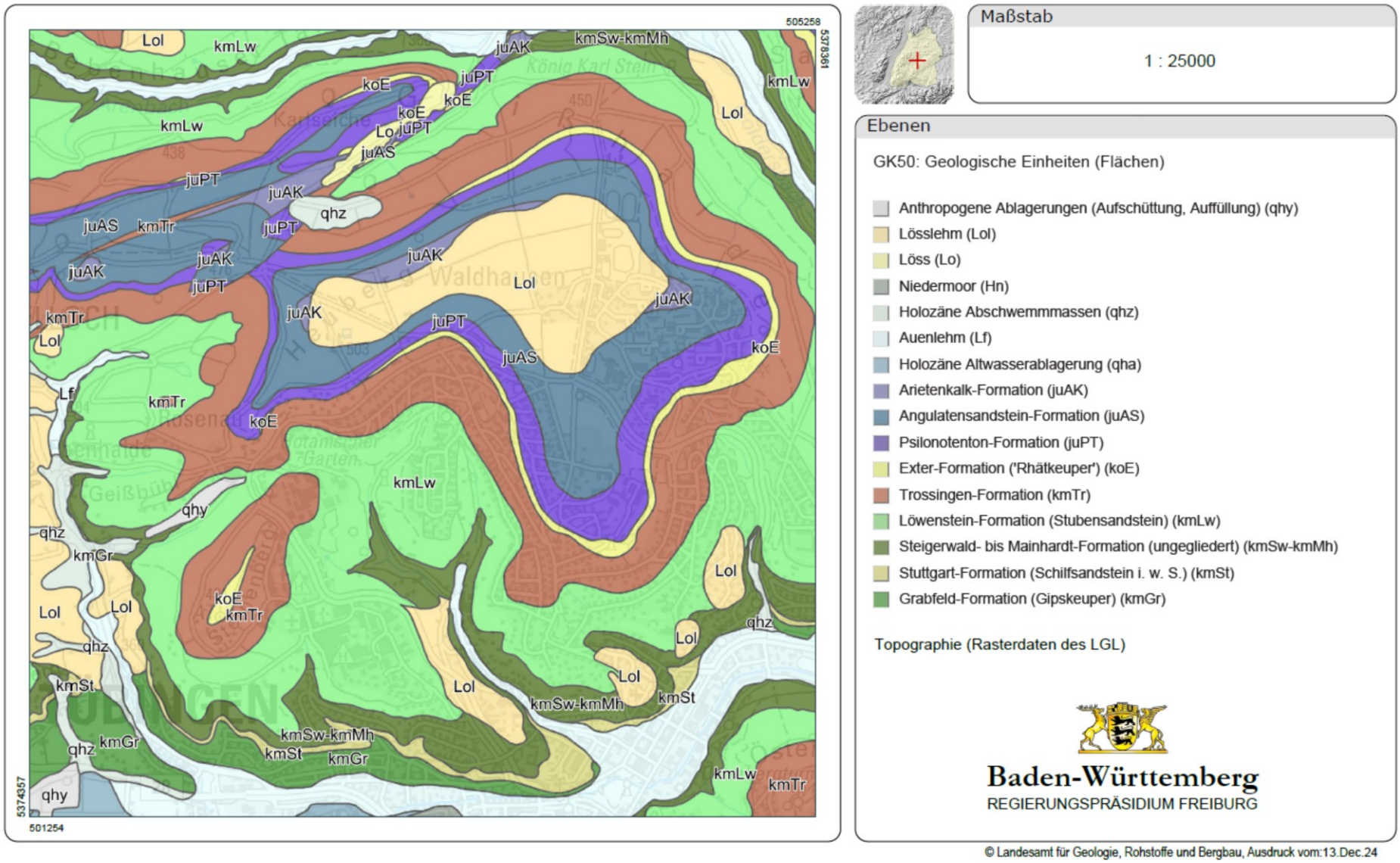


Abb. 2: Geologische Karte des Exkursionsgebietes in Tübingen (LGRB 2022)

2.2 Klima

Der Landkreis Tübingen liegt in einer gemäßigten Klimazone mit einem überwiegend milden und feuchten Klima. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 8,6 °C im Zeitraum 1971–2000. Die Sommer sind warm, mit einer höchsten monatlichen Durchschnittstemperatur von 17,6 °C im Juli, während die Winter kühl sind, oft um den Gefrierpunkt (geringste monatliche Durchschnittstemperatur von 0,0 °C im Januar; Abb. 3). Die mittleren Jahresniederschlagssummen liegen bei etwa 762 mm für den Zeitraum von 1971–2000, wobei die Niederschläge gleichmäßig über das Jahr verteilt sind (DWD Climate Data Center 2022).

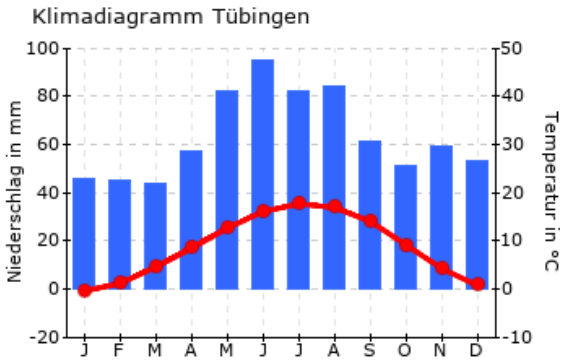


Abb. 3: Klimadiagramm (DWD)

3 Beschreibung der Standorte

3.1 Standort Nr. 1: Moospfad im Botanischen Garten der Universität Tübingen

Unsere Exkursion startet am Haupteingang des Botanischen Gartens der Universität Tübingen (Abb. 4). Dort werden wir anhand des beschilderten Moospfads, der insgesamt 45 verschiedene Moosarten aufweist, biologische und ökologische Besonderheiten von Moosen hervorheben und deren Bedeutung für den Boden erläutern.

Moose werden oft übersehen, spielen jedoch eine entscheidende Rolle an der Schnittstelle zwischen Boden und Atmosphäre, insbesondere im Hinblick auf den Wasseraustausch.



Abb. 4: Botanischer Garten der Universität Tübingen

Bryophyten, zu denen Laubmoose, Lebermoose und Hornmoose gehören, sind in einer Vielzahl von Ökosystemen zu finden – von arktischen und borealen Regionen über gemäßigte und tropische Wälder bis hin zu Trockengebieten und Wüsten (Hedenäs 2007; Lindo and Gonzalez 2010; Medina et al. 2011). Mit etwa 20.000 Arten stellen Bryophyten nach den Gefäßpflanzen die zweitgrößte Gruppe der Landpflanzen dar (Frey et al. 2009; Söderström et al. 2016).

Moosdecken erfüllen essenzielle ökologische Funktionen in verschiedenen Ökosystemen, insbesondere hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffflüsse (Cornelissen et al. 2007; Bond-Lamberty et al. 2011; Gundule et al. 2011; Gall et al. 2024a) sowie der physikalischen Bodeneigenschaften (Soudzilovskaia et al. 2013). Im Gegensatz zu Gefäßpflanzen regulieren Moose ihren Wassergehalt nicht aktiv, sondern sind poikilohydrisch, d. h. ihr innerer Wassergehalt steht mit der Umgebungsfeuchtigkeit im Gleichgewicht (Green and Lange 1994). Unter anderem durch ihre zahlreichen Kapillarräume, die je nach Art und Lebensform variieren, können Moose jedoch sehr große Mengen an Wasser aufnehmen – bei einigen Arten über 2000%

ihres Trockengewichts (Proctor et al. 1998; Wang and Bader 2018).

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass Moose den Oberflächenabfluss reduzieren (Tu et al. 2022), die Bodenerosion effektiv mindern (Gall et al. 2022a; Juan et al. 2023; Gall et al. 2024b) und die Infiltration fördern können (Gall et al. 2024b). Diese Effekte hängen jedoch von der Regenintensität und der Moosart ab (Tu et al. 2022). Zudem können Moose die Verdunstung aus dem Boden verringern (Thielen et al. 2021; Liu et al. 2022).

Gegenteilige Effekte wurden ebenfalls beobachtet: Unter bestimmten Bedingungen, insbesondere bei geringer Regenintensität, können Moose die Infiltration hemmen (Li et al. 2022; Tu et al. 2022) und die Bodenverdunstung erhöhen (Li et al. 2022). Aufgrund ihrer potenziell positiven Auswirkungen auf den Boden stellt die Wiederansiedlung von Moosen eine vielversprechende Strategie für ein nachhaltiges Bodenmanagement in der Landwirtschaft dar (Gall et al. 2022b).

3.2 Standort Nr. 2: Arboretum – Botanischer Garten der Universität Tübingen

Im Arboretum des Botanischen Gartens befindet sich eine Gehölzsammlung von über 1 000 Arten und Sorten, die nach ihrer Familienzugehörigkeit sortiert sind (Abb. 5).



Abb. 5: Arboretum des Botanischen Gartens mit Blick auf die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät auf der Morgenstelle und dahinter die Schwäbische Alb

An diesem Standort werden wir näher darauf eingehen, wie verschiedene Baumarten die Sediment- und Stoffflüsse beeinflussen und Messmethoden zur Ermittlung von Tropfenspektren, dem Bestandsniederschlag und Splash Erosion vorstellen.

Spezifische funktionelle Merkmale von Baumarten sowie Standortbedingungen beeinflussen maßgeblich die Bodenerosion. Eine hohe Kronenbedeckung und ein hoher Blattflächenindex (Leaf Area Index, LAI) reduzieren die Bodenerosion, während größere Baumhöhen sie geringfügig erhöhen können. In frühen Waldökosystemen wirken niedrigwüchsige Baumbestände mit dichter Kronenbedeckung besonders effektiv der Bodenerosion entgegen (Seitz et al. 2016).

Ein zentraler Mechanismus, der die erhöhte Bodenerosion unter verschiedenen Baumarten erklärt, ist die Wirkung des strukturellen Aufbaus der Baumart auf die Formung der Regentropfen und deren kinetische Energie (Goebes et al. 2015). Je höher die kinetische Energie eines Regentropfens, desto effektiver können Bodenaggregate auf der Bodenoberfläche zerkleinert werden, somit wird die SplashErosion erhöht (Katayama et al. 2023), was erheblich zur Gesamterosion beiträgt. Die kinetische Energie von Regentropfen kann dabei mithilfe der sogenannten Tübinger Splash Cups gemessen werden (Scholten et al. 2011).

Zur Minimierung der kinetischen Energie des Niederschlags (Throughfall Kinetic Energy, TKE) zeigt sich eine Kombination spezifischer Baummerkmale als optimal: ein niedriger Blattflächenindex, einfach gefiederte Blätter mit gezahnten Rändern, geringe Baumhöhe, eine hohe Verzweigungsdichte und eine niedrige Kronenbasis. Immergrüne Arten weisen zudem eine geringere TKE auf als laubabwerfende Arten (Goebes et al. 2015).

Untersuchungen zeigen, dass die erosive Kraft von Regentropfen im Wald sogar höher sein kann als auf offenen Flächen (Nanko et al. 2004; Geißler et al. 2012). Zudem können sich an bestimmten Holz- oder Blattstrukturen sogenannte konzentrierte Tropfenpunkte bilden, die von Katayama et al. (2023) als Hotspots der Bodenerosion im Wald beschrieben werden.

Dies unterstreicht die Bedeutung der Strauch-, Kraut- und Streuschichten in Waldökosystemen, um den Boden vor Erosion zu schützen. Besonders effektiv in dieser Schutzfunktion sind Moose. Sie wirken wie ein natürlicher Stoßdämpfer, da sie Regentropfen absorbieren und die kinetische Energie der Tropfen in Bewegungen der Moostriebe umwandeln (Roth-Nebelsick et al. 2022). Dadurch wird die Energie der Tropfen erheblich reduziert, bevor sie den Boden erreichen, was eine wichtige Rolle beim Schutz vor SplashErosion spielt.

3.3 Standort Nr. 3: Gewächshäuser und experimentelle Forschungsfreifläche des Fachbereichs Biologie

An diesem Standort werden Experimente zum Einfluss von Moosen auf den Oberflächenabfluss, den Stoffaustrag und die Bodenerosion sowie eine tragbare Kleinberegnungsanlage, der Tübingen Regensimulator, vorgestellt.

Der Einfluss von Moosen auf den Oberflächenabfluss und die Bodenerosion kann entweder unter natürlichen Bedingungen (z.B. auf mit Moos bewachsenen Waldböden) oder mithilfe von künstlich gezüchteten Moosmatten gemessen werden (Abb. 6). Einer der Vorteile der Züchtung ist, dass die Moosmatten aus verschiedenen reinen Moosarten oder aus einer Mischung besonders robuster Moosarten für verschiedene Anwendungsgebiete hergestellt werden können. Die Kulturen dieser Moosarten werden in einer hydraulischen Flüssigkeit in einer *in vitro*-Umgebung vermehrt und auf Jutevlies gezüchtet. Dadurch können die Moosmatten ähnlich wie Rollrasen aufgerollt, transportiert und ausgelegt werden. Die Herstellung der Moosmatten erfolgt durch die Hummel InVitro GmbH in Stuttgart.



Abb. 6: Im Labor kultivierte Moosmatten

Die Messung der initialen Bodenerosion erfolgt mit dem portablen Tübinger Regensimulator (Iserloh et al. 2013). Dieser ist mit einer Lechler 490.808.30.CE Düse ausgestattet und auf eine Fallhöhe von 3,5 m eingestellt. Die simulierte Regenintensität beträgt in der Regel 45 mm h^{-1} bei einer Dauer von 30 Minuten. Weitere Regenintensitäten können durch das Austauschen der Düse eingestellt werden.

Der Regensimulator kann in Kombination mit verschiedenen Messinstrumenten eingesetzt werden. Für die Messung der initialen Bodenerosion im Feld werden sogenannte „Runoff Plots“ verwendet, die entweder eine Größe von 40 × 40 cm oder 100 × 100 cm haben. Diese bestehen aus Metallrahmen, die in den Boden eingebracht werden, um Oberflächenabfluss und Sedimentabtrag zu erfassen. Alternativ kann der Regensimulator mit Infiltrationsboxen (30 × 40 cm) genutzt werden. Diese Boxen können entweder mit Bodensubstrat befüllt oder mithilfe von Metallrahmen ungestörte Bodenproben direkt vor Ort entnommen werden.

Um die Experimente vor Wettereinflüssen wie Wind oder Niederschlag zu schützen, wird ein leichtes Zelt mit einer Höhe von 4 m über der Messstelle aufgestellt. Dieses mobile Schutzsystem sorgt für standardisierte Bedingungen während der Regensimulationen (Abb. 7).



Abb. 7: Portabler Tübinger Regensimulator

3.4 Standort Nr. 4: Ökohydrologische Messstation des Lehrstuhls Bodenkunde und Geomorphologie

Die ökohydrologische Wald- und Bodenmessstation wird im Rahmen des FNR-Projektes „Anpassung an den Klimawandel – Erhöhung der Wasserretention, Bodenstabilität und CO_2-Bindung in Waldböden durch Moose (AnKliMoos)“ betrieben, welches hier vorgestellt und die Messtechnik erläutert wird (Abb. 8).



Abb. 8: Ökohydrologische Waldmessstation

Ausgestattet ist die Waldmessstation mit Sensoren für die Messung der Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung, Bodenwärmestrom und Energiebilanz. Der Niederschlag wird inner- und außerhalb der Waldbestände gemessen. Die Befeuchtung der Moose und ihre räumliche Variabilität wird mit Blattnässesensoren bestimmt.

Die Bodenfeuchte wird mit TDR-Systemen (time-domain-reflectrometry) unter Moosen in zwei Tiefen gemessen. Da bereits geringe Niederschläge und Taufall die Moospolster befeuchten, was allerdings nicht von den Boden-TDR Systemen erfasst werden kann, werden Biocrust Wetness Probes (BWPs, UP GmbH, Cottbus) verwendet. Diese messen die Befeuchtung der Moose in den obersten 5 mm. Alle Daten werden in 10 min Intervallen aufgezeichnet und täglich per GSM-Funkmodem an einen Server für die weitere Verarbeitung übertragen.

3.5 Standort Nr. 5: Steinenbergturm

Zum Abschluss der Exkursion werden wir zum Steinenbergturm wandern und die Aussicht auf Tübingen und die Schwäbische Alb genießen (Abb. 9).



Abb. 9: Ausblick auf Tübingen und die Schwäbische Alb vom Steinenbergturm

Literatur

Bond-Lamberty, B., Gower, S. T., Amiro, B., Ewers, B. E. (2011): Measurement and modelling of bryophyte evaporation in a boreal forest chronosequence. Ecohydrology 4 (1): 26–35.

Cornelissen, J. H., Lang, S. I., Soudzilovskaia, N. A., During, H. J. (2007): Comparative cryptogam ecology: a review of bryophyte and lichen traits that drive biogeochemistry. Annals of Botany 99 (5): 987–1001.

DWD Climate Data Center (2022): Raster der Tagesmitteltemperatur in °C für Deutschland - HYRAS-DE-TAS (Version v5.0), DWD [dataset] https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/daily/hyras_de/ (Letzter Zugriff: 24.06.2025).

Einsele, G., Agster, G. (1986): Überblick zur Geologie und Morphologie des Schönbuchs. In: Einsele, G. (Hrsg.) Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch : Wasser- und Stoffhaushalt, Bio-, Geo- und Forstwirtschaftliche Studien in Südwestdeutschland, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.

Frey, W., Stech, M., Fischer, E. (2009): Syllabus of Plant Families - Part 3: Bryophytes and seedless Vascular Plants. Borntraeger, Berlin, Stuttgart.

Gall, C., Nebel, M., Quandt, D., Scholten, T., Seitz, S. (2022a): Pioneer biocrust communities prevent soil erosion in temperate forests after disturbances. Biogeosciences 19: 3225–3245.

Gall, C., Ohan, J., Glaser, K., Karsten, U., Schloter, M., Scholten, T., Schulz, S., Seitz, S., Kurth, J. K. (2022b): Biocrusts: Overlooked hotspots of managed soils in mesic environments. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 185 (6): 745–751.

Gall, C., Nebel, M., Scholten, T., Seitz, S. (2024a): The effect of mosses on the relocation of SOC and total N due to soil erosion and percolation in a disturbed temperate forest. Frontiers in Forests and Global Change 7: 1–11.

Gall, C., Nebel, M., Scholten, T., Thielen, S. M., Seitz, S. (2024b): Water's path from moss to soil Vol. 2: how soil-moss combinations affect soil water fluxes and soil loss in a temperate forest. Biologia: 1101–1113.

Geißler, C., Kühn, P., Böhnke, M., Bruelheide, H., Shi, X., Scholten, T. (2012): Splash erosion potential under tree canopies in subtropical SE China. Catena 91: 85–93.

Goebes, P., Bruelheide, H., Härdtle, W., Kröber, W., Kühn, P., Li, Y., Seitz, S., von Oheimb, G., Scholten, T. (2015): Species-specific effects on throughfall kinetic energy in subtropical forest plantations are related to leaf traits and tree architecture. PLoS ONE 10: 1–13.

Green, T. G. A., Lange, O. L. (1994): Photosynthesis in poikilohydric plants: A comparison of lichens and bryophytes. In: Schulze, E.-D., and Caldwell, M. M. (Hrsg.) Ecophysiology of photosynthesis, Springer, New York.

Gundule, M. J., Deluca, T. H., Nordin, A. (2011): Bryophytes attenuate anthropogenic nitrogen inputs in boreal forests. Global Change Biology 17 (8): 2743–2753.

Hedenäs, L. (2007): Global diversity patterns among pleurocarpous mosses. The Bryologist 110: 319–331.

Iserloh, T., Ries, J., Arnáez, J., Boix-Fayos, C., Butzen, V., Cerdà, A., Echeverría, M., Fernández-Gálvez, J., Fister, W., Geißler, C. (2013): European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. Catena 110: 100–112.

Juan, J., Dongdong, L., YuanHang, F., Pu, L. (2023): Combined effects of moss colonization and rock fragment coverage on sediment losses, flow hydraulics and surface microtopography of carbonate-derived laterite from karst mountainous lands. Catena 229: 107202.

Katayama, A., Nanko, K., Jeong, S., Kume, T., Shinohara, Y., Seitz, S. (2023): Short communication: Concentrated impacts by tree canopy drips – hotspots of soil erosion in forests. Earth Surface Dynamics 11 (6): 1275–1282.

LGRB (2022): Geologische Karte von Baden-Württemberg (GK-BW), Regierungspräsidium Freiburg - Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Freiburg, https://maps.lgrb-bw.de/, (Letzter Zugriff: 24.06.2025).

Li, S., Bowker, M. A., Xiao, B. (2022): Impacts of moss-dominated biocrusts on rainwater infiltration, vertical water flow, and surface soil evaporation in drylands. Journal of Hydrology 612: 128176.

Lindo, Z., Gonzalez, A. (2010): The Bryosphere: An integral and influential component of the Earth's biosphere. Ecosystems 13 (4): 612–627.

Liu, Z., Chen, R., Qi, J., Dang, Z., Han, C., Yang, Y. (2022): Control of mosses on water flux in an alpine shrub site on the Qilian Mountains, Northwest China. Plants 11 (22): 3111.

Medina, N., Draper, I., Lara, F. (2011): Biogeography of mosses and allies: Does size matter? In: Biogeography of microscopic organisms. Is everything small everywhere?, Cambridge University Press.

Nanko, K., Hotta, N., Suzuki, M. (2004): Assessing raindrop impact energy at the forest floor in a mature Japanese cypress plantation using continuous raindrop-sizing instruments. Journal of Forest Research 9 (2): 157–164.

Proctor, M. C. F., Nagy, Z., Csintalan, Z., Takács, Z. (1998): Water-content components in bryophytes: Analysis of pressure-volume relationships. Journal of Experimental Botany 49: 1845–1854.

Roth-Nebelsick, A., Konrad, W., Ebner, M., Miranda, T., Thielen, S., Nebelsick, J. H. (2022): When rain collides with plants - Patterns and forces of drop impact and how leaves respond to them. Journal of Experimental Botany 73 (4): 1155–1175.

Scholten, T., Geißler, C., Goc, J., Kühn, P., Wiegand, C. (2011): A new splash cup to measure the kinetic energy of rainfall. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 174 (4): 596–601.

Seitz, S., Goebes, P., Song, Z., Bruelheide, H., Härdtle, W., Kühn, P., Li, Y., Scholten, T. (2016): Tree species and functional traits but not species richness affect interrill erosion processes in young subtropical forests. SOIL 2 (1): 49–61.

Söderström, L., Hagborg, A., von Konrat, M., Bartholomew-Began, S., Bell, D., Briscoe, L., Brown, E., Cargill, D. C., Costa, D. P., Crandall-Stotler, B. J., Cooper, E. D., Dauphin, G., Engel, J. J., Feldberg, K., Glenny, D., Gradstein, S. R., He, X., Heinrichs, J., Hentschel, J., Ilkiu-Borges, A. L., Katagiri, T., Konstantinova, N. A., Larraín, J., Long, D. G., Nebel, M., Pócs, T., Puche, F., Reiner-Drehwald, E., Renner, M. A. M., Sass-Gyarmati, A., Schäfer-Verwimp, A., Moragues, J. G. S., Stotler, R. E., Sukkharak, P., Thiers, B. M., Uribe, J., Váňa, J., Villarreal, J. C., Wigginton, M., Zhang, L., Zhu, R.-L. (2016): World checklist of hornworts and liverworts. PhytoKeys 59: 1–828.

Soudzilovskaia, N. A., van Bodegom, P. M., Cornelissen, J. H. C. (2013): Dominant bryophyte control over high-latitude soil temperature fluctuations predicted by heat transfer traits, field moisture regime and laws of thermal insulation. Functional Ecology 27 (6): 1442–1454.

Thielen, S. M., Gall, C., Ebner, M., Nebel, M., Scholten, T., Seitz, S. (2021): Water's path from moss to soil: A multi-

methodological study on water absorption and evaporation of soil-moss combinations. Journal of Hydrology and Hydromechanics 69 (4): 421–435.

Tu, N., Dai, Q., Yan, Y., Peng, X., Meng, W., Cen, L. (2022): Effects of moss overlay on soil patch infiltration and runoff in karst rocky desertification slope land. Water 14 (21): 3429.

Wang, Z., Bader, M. Y. (2018): Associations between shoot-level water relations and photosynthetic responses to water and light in 12 moss species. Annals of Botany Plants 10 (3): ply034.

E06: Exkursion zum Land-Atmosphäre Feedback Observatorium (LAFO) der Universität Hohenheim

Joachim Ingwersen, Thilo Streck

Universität Hohenheim, Stuttgart, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Biogeophysik

1 Einleitung

Das Land-Atmosphäre Feedback Observatorium (LAFO) der Universität Hohenheim wurde 2016 mit Mitteln der Carl-Zeiss-Stiftung auf dem Versuchsbetrieb Heidfeldhof eingerichtet, um Rückkopplungsprozesse (Feedbacks) im Bereich Boden-Vegetation-Atmosphäre zu messen. Die Ausstattung von LAFO umfasst klassische bis hin zu modernsten Messgeräten, deren Synergie einzigartige Rückschlüsse auf diese Rückkopplungsprozesse erlaubt. Mit der Einwerbung der Forschungsgruppe FOR 5639 (Land-Atmosphäre Feedback Initiative, LAFI), in der eine Reihe von auf die Messung und Modellierung von bodenhydrologischen bis atmosphärischen Prozessen spezialisierten Arbeitsgruppen aus Deutschland und Luxemburg zusammenarbeiten, wurde das methodische Spektrum noch einmal stark erweitert. Im Rahmen von LAFI wird im Jahr 2025, also zur Zeit der DBG-Exkursion, eine große Messkampagne am LAFO durchgeführt.

2 Versuchsbetrieb Heidfeldhof

Der Heidfeldhof gehört zur Hohenheimer Einrichtung „Versuchsstation Agrarwissenschaften“, die aus insgesamt sechs Versuchsbetrieben in verschiedenen Landschaften des Landes Baden-Württemberg besteht. Die personelle und technische Grundausstattung des Betriebes ist auf die Durchführung von Parzellenversuchen bei Getreide, Mais, Sonnenblume, Leguminosen und Futterpflanzen ausgerichtet. Die Bewirtschaftung orientiert sich am Ziel, hochwertige, möglichst homogene Versuchsflächen für die Nutzer bereitzustellen. Auf 86 ha Ackerfläche werden jährlich ca. 28 ha für Parzellenversuche genutzt. Mit einer Höhenlage von 400 m über NHN, langjährigen Niederschlägen von 685 mm und einer mittleren Jahrestemperatur von 8,5°C können an diesem Standort alle züchterisch bearbeiteten Nutzpflanzenarten angebaut werden (https://versuchsstation.uni-hohenheim.de/hohenheim).

Durch seine räumliche Nähe zum Campus der Universität Hohenheim ist der Heidfeldhof intensiv in die Lehre eingebunden.

3 Geologie

Die Versuchsstation befindet sich im Bereich der Filder (auch Filderebene oder Filderhochebene genannt). Die Filder ist Teil des Fildergrabens, einer der großen tektonischen Strukturen in Südwestdeutschland (Abb. 1). Im Tertiär, vor rund 20 Millionen Jahren, wurde hier die Erdkruste durch Bewegungen im Erdinnern auseinandergerissen. Der entstandene Riss wurde durch das langsame Absinken eines breiten Gesteinskeils entlang der Verwerfungen wieder geschlossen. Es entstand ein tektonischer Graben. Zwischen dem Schönbuch und dem Schurwald ist der Fildergraben 14 km breit. Seine von Stuttgart-Vaihingen über Filderstadt-Plattenhardt in Nordwest-Südost-Richtung verlaufende südliche Randverwerfung setzt sich bis in das Albvorland fort. Die nördliche Randverwerfung verläuft jenseits des Neckartals entlang des Schurwalds. Im Graben liegen die gleichen Schichten rund 100 m tiefer als an den Rändern. Aufgrund der geomorphologischen Beckensituation

wurden auf der Filder während der Kaltzeiten bevorzugt äolische Sedimente eingetragen, weshalb großflächig Lösslehme und im zentralen Teil auch jüngerer Löss verbreitet sind. Unterhalb der Lössauflage befindet sich die Angulatensandstein-Formation des Unterjura (Synonym: Schwarzer Jura), die früher auch als Lias-α bezeichnet wurde. Die Angulatensandstein-Formation besteht aus Tonsteinen mit eingelagerten, plattigen Feinsand- und Schluffsteinbänken sowie Schillkalkbänken. Die Mä chtigkeit variiert im Gebiet zwischen 9 und 20 m. Im Bereich der Filder haben sich aus dem angewehten Löss bevorzugt Parabraunerden entwickelt.

Da die Sand- und Tonsteine der Angulatensandstein-Formation als Stauschicht wirken, zeigen die Böden im Bereich des Heidfeldhofs häufig hydromorphe Merkmale. Um dieser Staunässe entgegenzuwirken, wurden über Jahrzehnte große Teile des Geländes drainiert. Die Drainagerohre liegen in der Regel 0,8 m unter Geländeoberkante. Teilweise wurden sie auch direkt auf dem Angulatensandstein bzw. Tonstein verlegt.

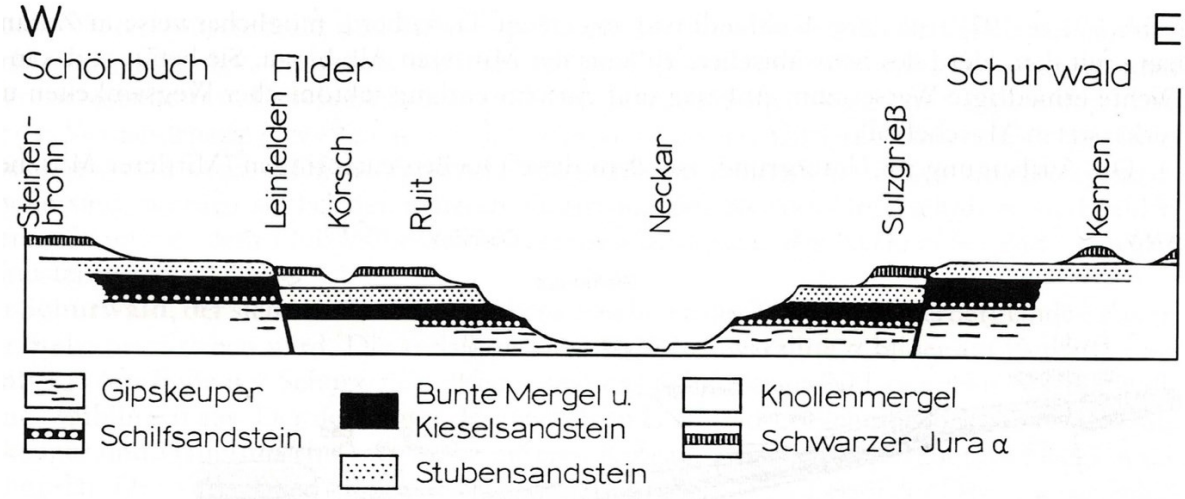


Abb. 1: Schematisches Querprofil durch den Fildergraben (Geyer und Gwinner 1991)

4 Böden

Die drei Schürfe befinden sich auf dem Systemversuch des NOcsPS-Projektes (siehe unten) (Abb. 2). Der Systemversuch wurde auf einem leicht nach Südosten geneigten Hang angelegt. Der Höhenunterschied zwischen den Schürfen in der nordwestlichen und der südöstlichen Ecke beträgt 5 m, was einem Gefälle von etwa 2% entspricht. Entlang des Hanges hat sich eine klassische Löss-Catena entwickelt. In der nordwestlichen Ecke des Systemversuchs hat sich eine tiefgründige Pseudogley-Parabraunerde (Ap/Al/Bt-Sd/Sd-Cv/elCv) gebildet. Die Mächtigkeit des Ap-Horizonts beträgt 0,25 m. Aufgrund der erosionsgeschützten Lage hat sich hier der Al-Horizont (0,25 – 0,58 m) erhalten und die Lössauflage ist > 2 m mächtig. Im Bereich des Bt-Sd Horizontes (0,58-0,90 m) treten starke Rost- und Manganflecken auf, die auf eine zeitweise Vernässung hinweisen. Die Entkalkungsgrenze liegt bei 1,5 m. Die Bodenart in den Ap, Al und Sd-Cv Horizonten ist Ut4. Infolge des höheren Tongehalts im Bt-Sd-Horizont findet sich dort die Bodenart Tu4 (Tab. 1).

Im mittleren Bereich des Systemversuches befindet sich ein mittelgründiger, erodierter Parabraunerde-Pseudogley (Ap/Bt-Sd/IISw/IISd/IIemC). Aufgrund der fortgeschrittenen Erosion fehlt hier der Al-Horizont und die Lössauflage ist nur 0,5 m mächtig. Direkt unterhalb des Ap-Horizonts befindet sich der Tonanreicherungshorizont, der auch hier starke Rost- und Manganflecken aufweist. Unterhalb des Bt-Sd-Horizontes bilden Substrate der Angulatensandstein-Formation das Ausgangsmaterial der Bodenbildung. Der IISw-Horizont direkt unterhalb der Lössauflage weist einen hohen Steingehalt auf. Der darunter liegende Horizont (IISd) ist steinfrei aber sehr tonreich. In diesem Bereich wurde ein Drainrohr freigelegt. Unterhalb von 0,8 m steht der massive Angulatensandstein an.

Im Hangfußbereich in der südöstlichen Ecke des Systemversuchs hat sich ein Pseudogley-Kolluvisol (Ap/M/Sw/IISd) entwickelt. Der humusreiche mineralische Ap-Horizont und der M-Horizont sind zusammen 0,55 m mächtig. Darunter folgt ein 0,1 m mächtiger Sw-Horizont mit starken Rost- und Manganflecken. Unterhalb von 0,65 m wechselt das Substrat. Hier steht ein Tonstein der Angulatensandstein-Formation an, der den Stauhorizont IISd bildet.

Die Profile wurden im Juni 2022 nach der KA5 (2005) kartiert. Wir werden gemeinsam an jedem Profil die neuen Horizontbezeichnungen und die daraus resultierende Klassifikation nach der neuen KA6 (2024) diskutieren.



Abb. 2: GoogleEarth-Bild vom NOcsPS-Systemversuch mit den Positionen der drei Schürfe NW, Mitte und SO

Tab. 1: Allgemeine Charakterisierung der drei Bodenprofile

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Stein-gehalt [%]	pH ($CaCl_2$)	Humus-gehalt [Gew. %]	Lagerungs-dichte [g/cm³]	Luft-kapazität [Vol. %]	Nutzbare Feld-kapazität [Vol. %]	Totwasser [Vol. %]
PROFIL NW: PSEUDOGLEY-PARABRAUNERDE AUS LÖSS									
–25	Ap	Ut4	0	6,7	1,2	1,60	4	24	16
–58	Al	Ut4	0	6,9	0,9	1,54	7	20	16
–90	Bt-Sd	Tu4	0	6,9	0,5	1,41	4	18	22
–150	Sd-Cv	Ut4	0	7,1	0,4	1,53	3	15	24
PROFIL MITTE: PARABRAUNERDE-PSEUDOGLEY AUS LÖSS ÜBER ANGULATENSANDSTEIN									
–29	Ap	Ut4	2-5	6,6	1,8	1,65	3	11	25
–50	Bt-Sd	Lu	2-5	6,5	0,3	1,57	2	8	32
–65	IISw	Ls4	25-75	6,2	0,2	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
–80	IISd	Lts	0	6,4	0,1	1,7	2	6	28
PROFIL SO: PSEUDOGLEY-KOLLUVISOL AUS LÖSS ÜBER TONSTEIN AUS DER ANGULATENSANDSTEIN-FORMATION									
–27	Ap	Ut4	1	6,9	1,1	1,67	1	20	17
–55	M	Ut4	1	6,5	1,1	1,64	4	21	16
–65	Sw	Ut4	1	6,3	0,3	1,60	5	22	15
–100	IISd	Tu2	5	6,2	0,3	1,66	3	5	34

5 Messgeräte im LAFO

5.1 Atmosphäre

Die dreidimensionale Struktur der Wasserdampfkonzentration in der atmosphärischen Grenzschicht wird mit einem abtastenden differentiellen Absorptionslidar (DIAL) gemessen. Für den flexiblen Einsatz ist es auf einer mobilen Plattform montiert. Das Messgebiet in der Horizontalen hat einen Radius von ca. 3 km, die Messhöhe reicht bis in die freie Atmosphäre (3–4 km). Die zeitliche Auflösung beträgt 1–10 Sekunden, die räumliche Auflösung 60–300 m. Die Temperaturen in der atmosphärischen Grenzschicht werden mit einem Rotations-Raman-Lidar (RRL) erfasst. Das RRL erlaubt auch die Messung der Wasserdampfmischungsverhältnisse. Das Messgebiet ist ähnlich groß wie das des DIALs. Die zeitliche Auflösung beträgt 1–10 Sekunden, die räumliche Auflösung 100–300 m. Das RRL kann automatisiert Vertikalprofile aufzeichnen.

Die Windgeschwindigkeiten in der atmosphärischen Grenzschicht werden mit drei Doppler-Lidar-Systemen bestimmt (zwei von LAFO, ein weiteres von LAFI). Diese Geräte nutzen den Dopplereffekt, um den Windvektor in Strahlrichtung zu bestimmen. Die Auflösung beträgt etwa 1 s beziehungsweise 30 m. Werden drei Doppler-Lidar-Systeme kombiniert, kann der dreidimensionale Windvektor in einem vertikalen eindimensionalen Profil in der atmosphärischen Grenzschicht gemessen werden. Ein Doppler-Wolkenradar misst die Ausdehnung von Wolken zwischen 150 m und 15 km Entfernung. Die Regentropfengrößenverteilungen werden mit einem Mikro-Regenradar bis in eine Höhe von 6 km bestimmt.

5.2 Bodennahe Grenzschicht

Zur Messung der turbulenten Energie-, Wasserdampf- und Kohlendioxidflüsse zwischen Vegetation und Atmosphäre werden

zwei Eddy-Kovarianz-Systeme betrieben. Die Messung der turbulenten Flüsse erfolgt in 2 m und 10 m mit 10 Hz zeitlicher Auflösung. Die Messdaten werden zu halbstündlichen Flusswerten aggregiert. An den Eddy-Kovarianz-Stationen werden außerdem die üblichen meteorologischen Variablen wie Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte, kurz- und langwellige Nettoeinstrahlung etc. gemessen.

Im Rahmen von LAFI wurde zusätzlich ein FODS (Fiber-optic distributed sensing) System aufgebaut. Es dient zur quasi-kontinuierlichen zeitlich (1 s) und räumlich (0,1 m) hochaufgelösten Messung der horizontalen Temperaturverteilung in der bodennahen Grenzschicht, im Pflanzenbestand und im Boden. Die Messung erfolgt auf einer Länge von rund 150 m.

5.3 Boden und Pflanzenbestand

Der Bodenwärmestrom wird an den Energiebilanzstationen mittels Wärmeflussplatten gemessen. Die Oberflächentemperatur wird mit einer fest installierten Infrarotkamera erfasst. Bodenwassergehalte und -temperaturen sowie Matrixpotentiale werden mittels FDR- und Teros-21-Sensoren in fünf Bodentiefen gemessen. Zur Charakterisierung der Pflanzenbestände werden in regelmäßigen Abständen Messungen der Bestandeshöhe, des Blattflächenindexes und der Phänologie (BBCH) durchgeführt.

Ein Ziel von LAFI ist die Auftrennung der Evapotranspiration in ihre Komponenten Evaporation und Transpiration. Im Rahmen von LAFI werden hierfür im Boden und im Pflanzenbestand quasikontinuierliche *in situ* Messungen stabiler Isotope des Wassermoleküls (^{2}H, ^{18}O) sowie Laboranalysen durchgeführt. In einem weiteren Ansatz werden die Evaporation und die Transpiration direkt gemessen: die Evaporation mittels Mini-Lysimetern, die Transpiration mittels Saftfluss-Sensoren. Hinzu kommen Profil-Messungen von Temperaturen, Wasserdampf- und Kohlendioxidkonzentrationen sowie der Strahlungskomponenten und der Energiebilanz im Pflanzenbestand mit dem Ziel, die Steuerung der Stomata im Pflanzenbestand besser zu verstehen.

5.4 Sonstige Messungen

Die Bodenwassergehalte in Oberböden des Heidfeldhof-Geländes werden im Rahmen eines speziellen Sensornetzwerks (WaTSeN, 22 Aquaflex-Sensoren) in 15-minütiger Auflösung gemessen. Das Dränwasser des Heidfeldhof-Geländes wird in einem Graben zentral gesammelt und am Gebietsauslass mittels einer Abflussmessstelle erfasst. Fernerkundungskampagnen mit Drohnen und geophysikalische Messungen (z. B. EM38) werden nach Bedarf, d.h. in unregelmäßigen Abständen, durchgeführt.

Eine umfassende Darstellung der LAFO-Messungen findet sich in der Veröffentlichung von Späth et al. (2023), aus der auch Abb. 3 entnommen wurde.

6 Der NOcsPS-Systemversuch

Im BMBF-Projekt LaNdwirtschaft 4.0 ohne chemisch-synthetischen PflanzenSchutz (NOcsPS) wird seit 2019 untersucht, wie eine Landwirtschaft ohne chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel aussehen könnte. Anders als im Ökolandbau soll bei NOcsPS jedoch nicht auf den Einsatz mineralischer Düngemittel verzichtet werden. Im Rahmen des Projektes wird seit 2020 auf dem Heidfeldhof ein großer Feldversuch durchgeführt, der als Blockanlage mit vier Wiederholungen (Blöcken) angelegt wurde. Im Versuch werden vier NOcsPS-Varianten (Normalsaat, Gleichstandsaat, Gleichstandsaat mit CULTAN-Technik und Bioeffektoren, Normalsaat mit Weidelgras als Fruchtfolgeglied; jeweils mit mineralischer Düngung nach Ertragserwartung)

gegen zwei konventionelle Varianten und eine Ökolandbau-Variante nach EU-Standard geprüft. Die Fruchtfolge ist generell sechsgliedrig; nur in einer der beiden konventionellen Varianten ist sie dreigliedrig. Im Jahr 2024 wurde sowohl die Gleichstandsaat als auch der Einsatz der CULTAN-Technik aufgegeben, die mineralische Düngung durch Rindergüllegaben ergänzt sowie das Fruchtfolgeglied Weidegras durch Klee ersetzt. Eine genauere Beschreibung des Versuchs und erste Ergebnisse finden sich in Claß-Mahler et al. (2023).

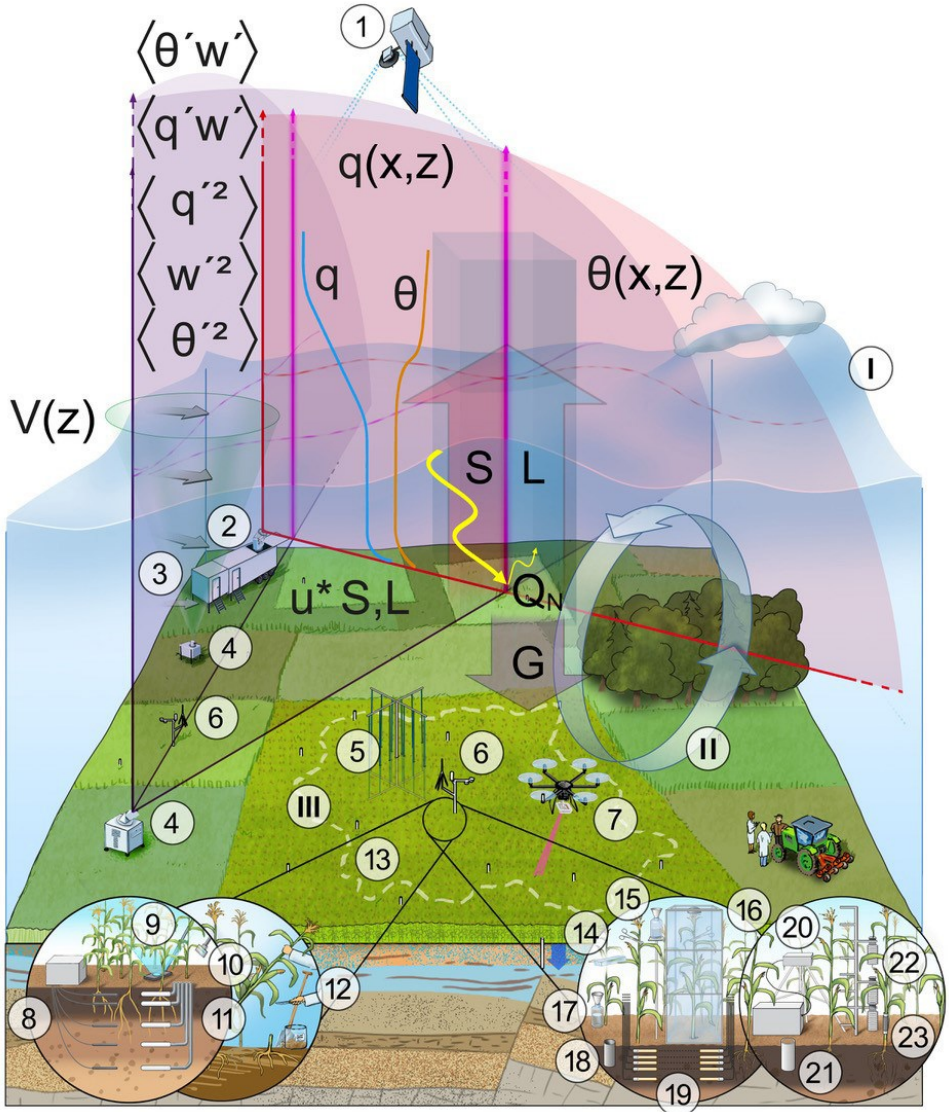


Abb. 3: LAFO-Sensorsynergie mit den folgenden Elementen: (I) atmosphärische Grenzschichthöhe; (II) mesoskaliger Turbulenzwirbel; (III) Eddy-Kovarianz Footprint; (1) Satelliten-Fernerkundung; (2, 3, 4) vertikal ausgerichtete und abtastende Doppler-, Wasserdampf- und Temperatur-Lidar-Systeme; (5) faseroptische Temperaturerfassung (FODS) in Kombination mit Wind- und Spurengassensoren; (6) Energiebilanz- und Eddy-Kovarianz-Stationen; (7) Drohne (UAV); (8) FDR-Sensoren; (9) Messung des Blattflächenindex; (10) Gasaustauschsystem zur Messung der Photosynthese- und Transpirationsrate; (11) Tensiometer; (12) *In situ* Messungen an Pflanzen; (13) Netzwerk für Bodenwassergehalte, -temperatur und -matrixpotentiale; (14) Blattküvette; (15) offener Niederschlagssammler; (16) Gasmesshauben; (17) Messung des Bestandesniederschlages; (18) Grundwassermessstelle; (19) *In situ* Bodenwassersonden (14-19 sind mit einem Wasserisotopenanalysator gekoppelt); (20) IR-Gasanalysator; (21) Mini-Lysimeter; (22) Temperatur-, Wasserdampf- und CO_2-Profile im Pflanzenbestand; (23) Saftflusssensoren. Aus Späth et al. (2023), leicht verändert.

Literatur

Claß-Mahler, I., Zimmermann, B., Hermann, W., Schwarz, J., Piepho, H.-P., Lewandowski, I., Kehlenbeck, H., Bahrs, E. (2023): Yield Potential of Cropping Systems without Chemical Synthetic Plant Protection Products in NOcsPS field trials in Germany, Landbauforschung, 72 (1), S. 1–24.

Geyer, O., Gwinner, M. (1991): Geologie von Baden-Württemberg, 4. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

KA5 (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. verbesserte und erweiterte Auflage, E. Schweizer–bart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

KA6 (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung, Band 2: Geländeaufnahme und Systematik, 6. komplett überarbeitete und erweiterte Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Späth, F., Rajtschan, V., Weber, T.K.D., Morandage, S., Lange, D., Abbas, S.S., Behrendt, A., Ingwersen, J., Streck, T., Wulfmeyer, V. (2023): The land-atmosphere feedback observatory: a new observational approach for characterizing land-atmosphere feedback, Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems, 12 (1), S. 25–44.

E07: UNESCO Global Geopark und Biosphärengebiet Schwäbische Alb

Heidi Elisabeth Megerle

Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

1 Einleitung

Die Schwäbische Alb ist ein Mittelgebirge in Südwestdeutschland, welches sich über eine Länge von 220 km vom Hochrhein im Südwesten bis zur Grenze des Nördlinger Ries im Nordosten erstreckt und damit eine Fläche von ca. 5 800 km² umfasst. Kaum bekannt ist, dass die Schwäbische Alb als eines der wenigen Gebiete weltweit insgesamt fünf UNESCO-Auszeichnungen aufweist: Neben dem römischen Limes und den nördlichsten Pfahlbauten sind das die Höhlen- und Eiszeitkunst sowie das UNESCO Biosphärengebiet und der UNESCO Global Geopark.

Die besonderen Geopotentiale der Alb wie z.B. die Böden sind eine wesentliche Grundlage für die naturräumlichen Charakteristika sowie für die touristische Inwertsetzung und Umweltbildung, aber auch für die Landwirtschaft und Siedlungsentwicklung.

2 Exkursionsgebiet

Das Exkursionsgebiet umfasst Teile des Albvorlandes sowie der Mittleren Schwäbischen Alb und damit auch Teilbereiche des Biosphärengebietes und des Geoparks.

2.1 Geologie

Die Schwäbische Alb ist Teil des südwestdeutschen Schichtstufenlandes. Die markante Schichtstufe und die Hochfläche der Alb werden von Sedimenten des Weißjura (Oberjura) gebildet, d.h. überwiegend Kalkstein. Brauner und Schwarzer Jura bilden das wellige Albvorland, das im Nordwesten an die Schichtstufe anschließt. Im Süden tauchen die flach einfallenden Juraschichten unter die Molasseablagerungen, welche im Zuge der Alpenfaltung entstanden sind. Die Alb ist das größte Karstgebiet Deutschlands und durch vielfältige Karstformen (höhlenreichste Landschaft Deutschlands mit über 2 800 dokumentierten Höhlen, zahlreiche Dolinen, Hungerbrunnen, Trockentäler, etc.) geprägt. Eine Besonderheit stellen die Formen des tertiären Vulkanismus dar, die sich im Bereich Urach-Kirchheim konzentrieren und eines der größten Vulkanschlotfelder der Erde bilden (Megerle 2020). In geologischen Fachkreisen ist die Schwäbische Alb weltweit bekannt aufgrund ihrer herausragenden Fossilfundstellen (u. a. Holzmaden, Nusplingen), der Meteoritenkrater (Steinheimer Becken und Nördlinger Ries, wobei letzterer östlich unmittelbar außerhalb der naturräumlichen Grenzen der Alb in Bayern liegt), die erstmalige Benennung der Jura-Stratigraphie durch Quenstedt und der sensationellen Eiszeitfunde, die seit 2017 UNESCO-Weltkulturerbe sind („Caves and Ice Age Art in the Swabian Jura“). Weitergehende umfangreiche Informationen zur Geologie der Schwäbischen Alb finden sich bei Rothe (2019) und Geyer et al. (2011).

2.2 Klima

Aufgrund ihrer durchschnittlichen Höhenlage von meist über 800 m ü. NHN bis hin zu über 1 000 m ü. NHN weist die Schwäbische Alb ein deutlich kühleres und niederschlagsreicheres Klima als das niedriger gelegene Vorland auf (Abb. 1). Die Jahresdurchschnittstemperaturen liegen zwischen 6 °C auf der Westalb und maximal 7,5 °C (zum Vergleich: Stuttgart hat eine Jahresmitteltemperatur von 10 °C). Aufgrund zufließender Kaltluft können in Hochtälern und Karstwannen bei winterlichen Hochwetterlagen Kälterekorde bis -30°C erreicht werden (LGRB o. J.).

Die Jahresniederschläge liegen zwischen 750 mm (nordöstlich von Ulm) und bis zu 1 000 mm auf der Westalb (LGRB o. J.). (Zum Vergleich: Stuttgart hat einen Jahresniederschlag von 700 mm).

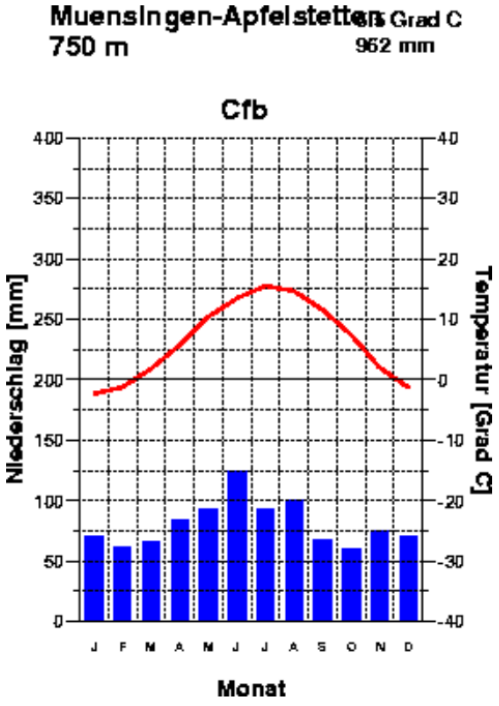


Abb. 1: Klimadiagramm Münsingen (klimadiagramme.de)

2.3 Geomorphologie

Als Teil des südwestdeutschen Schichtstufenlandes prägt der Albtrauf als markante und höchste Schichtstufe das Landschaftsbild. Die leicht nach Süden einfallende Hochfläche weist zwei deutlich unterschiedliche Landschaftseinheiten auf, die durch die Klifflinie des miozänen Molassemeeres getrennt werden. Nördlich der Klifflinie befindet sich die sichtbar wellige Kuppenalb, südlich der Linie die Flächenalb mit ausgeprägten Verebnungen (LGRB o. J.). Kleinräumig prägen Karst- sowie lokal Vulkanformen das Landschaftsbild. Insbesondere der Albtrauf weist zahlreiche Rutschungen auf. Der Bereich des Mössinger Bergrutsches gilt außerhalb der Alpen als aktivstes Rutschungsgebiet Deutschlands (Eberle 2017, S. 182). Ausführliche Informationen zur Landschaftsgeschichte Süddeutschlands finden sich bei Eberle et al. (2017).

2.4 Vegetation

Die potentiell natürliche Vegetation der Schwäbischen Alb wäre größtenteils von unterschiedlichen Buchenwaldsystemen geprägt. Seit Beginn der Siedlungsentwicklung wurden die Wälder zugunsten von landwirtschaftlichen Flächen zurückgedrängt (Eberle et al. 2017). Heute weist die Albhochfläche noch einen Waldanteil von etwas über 40% auf, wobei die standortfremde Fichte auf Kosten der Buche deutlich gewonnen hat (Wilmanns 2004, S. 89). Auf der Albhochfläche finden sich weit verbreitet Kalkmagerrasen sowie v.a. an Hängen die charakteristischen Wacholderheiden (Pfündel et al. 2005). Der Albtrauf ist aufgrund seines Reliefs bis auf wenige Sonderstandorte (Felsköpfe, Kalktuffvorkommen) weitgehend bewaldet und das botanisch abwechslungsreichste Gebiet (Wilmanns 2004, S. 88). Botanische Besonderheiten finden sich an Standorten mit besonderen Bedingungen, wie z.B. dem Schopflocher Moor (siehe Standort 3) oder

den Kalktuffbereichen (siehe Standort 7). Umfangreiche Informationen zur Vegetation der Schwäbischen Alb sind Pfündel et al. (2005) zu entnehmen.

3 Beschreibung der Standorte

3.1 Standort Nr. 1 / Hohenbol

Eine Besonderheit der Schwäbischen Alb, die jedoch außerhalb geologischer Fachkreise meist nur wenig wahrgenommen wird, ist der sogenannte Schwäbische Vulkan, heute aufgrund der Lage der Magmakammer meist als Urach-Kirchheimer Vulkangebiet bezeichnet (Eberle et al. 2017, S. 50). Die Hauptaktivitätszeit ist ins Miozän zu datieren. Aufgrund der überwiegend pyroklastischen Gesteine handelte es sich um einen explosiven Vulkanismus, d.h. aufsteigendes heißes Magma kam mit Grundwasser in Verbindung (phreatomagmatische Prozesse) (Rothe 2019, S. 164). Dies erklärt auch, wieso, im Gegensatz zur Vulkaneifel, auf der Alb weder Lavaströme noch mächtige Tuffschichten vorzufinden sind. Stattdessen konnten inzwischen über 360 Vulkanschlote kartiert werden, die meist nur wenige hundert Meter Durchmesser aufweisen und teilweise nicht einmal die Oberfläche erreicht haben. Mit einem Areal von 1 600 km² gehört der Schwäbische Vulkan zu den bedeutendsten Tuffschlotgebieten der Erde (Heizmann und Schmidt 1998, S. 177).

Aufgrund der unterschiedlichen Härte der Vulkangesteine und der umgebenden Materialien wurden die Vulkanschlote im Albvorland als Härtlinge aus den relativ weichen, meist tonigen Schichten des Schwarzen und Braunen Juras herauspräpariert (Abb. 2), während sie auf der Albhochfläche, eingebettet in die relativ harten Weißjuraschichten, Senken bilden (Abb. 4). Der Hohenbol ist einer dieser Vulkanschlote des Albvorlandes. Er ist weitgehend waldfrei, mit Ausnahme einer zu Beginn des letzten Jahrhunderts angepflanzten Gruppe von Schwarzkiefern, die aufgrund ihrer exponierten Lage den Spitznamen „Zahnbürstle“ trägt. Von Hohenbol öffnet sich ein weiter Blick auf das Albvorland bis zum Agglomerationsraum Stuttgart sowie zu Berg und Burg Teck. Im Gegensatz zum Hohenbol handelt es sich beim Teckberg um einen Zeugenberg.



Abb. 2: Hohenbol (Megerle 2020)

3.2 Standort Nr. 2 / Schwäbischer Yellowstone in Lenningen-Gutenberg

Als größtes Karstgebiet Deutschlands weist die Schwäbische Alb zahlreiche Kalktuffformationen auf. Die mächtigen Kalktuffablagerungen der Schwäbischen Alb entstanden schwerpunktmäßig in der postglazialen Wärmezeit (Kiessling 1993, S. 41). Die landesweite Kartierung der Geotope (Schöttle 2007 sowie Burgmeister und Schöttle 2002) erfasste für die Gebietskulisse des UNESCO Geoparks insgesamt 29 Kalktuffgeotope unterschiedlichster Art.

Am Standort Gutenberg haben sich an der weißen Lauter Kalksinterterrassen gebildet (Abb. 3). Die kaskadenförmige Ausbildung, die eine beeindruckende Optik bietet, wird daher gelegentlich auch als der schwäbische Yellowstone bezeichnet und wurde vom Geopark 2017 als erster Geopoint im Landkreis Esslingen ausgezeichnet.



Abb. 3: Sinterterrassen in Gutenberg (Megerle 2020)

3.3 Standort Nr. 3 / Schopflocher Moor

Auf der Schwäbischen Alb war das Vorkommen der Vulkangesteine für die Siedlungsentwicklung sehr prägend. Im Gegensatz zu den verkarsteten Kalkgesteinen, in denen die Niederschläge schnell versickern, so dass die Schwäbische Alb trotz der hohen Niederschläge ein Wassermangelgebiet ist, sind die Vulkangesteine wasserstauend. Daher finden sich zahlreiche Siedlungen in der Nähe von Vulkanschloten, z.B. Zainingen mit seiner bekannten Hüle (Dorfteich) (Megerle 2020). Verständlicherweise spielt dieser wasserstauende Effekt auch für die Vegetation eine entscheidende Rolle. Das Schopflocher Moor, das einzige Moor auf der wasserarmen Alb, hat sich aus einem verlandenden Maarsee auf einem Vulkanschlot gebildet. Das heutige Moor ist leider nur das Überbleibsel des einstigen Hochmoores. Der auf der Alb extrem seltene Torf wurde seit Ende des 18ten bis zum Beginn des 20ten Jahrhunderts abgebaut. 1931 konnte der Schwäbische Albverein die letzten Reste aufkaufen, die dann 1942 als Naturschutzgebiet geschützt wurden. Seit 2000 erfolgen Wiedervernässungsmaßnahmen. Schon länger besteht ein Bohlenweg, der es den Besuchenden erlaubt, das Schopflocher Moor zu durchqueren, ohne die sensible Vegetation zu schädigen.

Trotz der gravierenden Beeinträchtigungen konnten im Schopflocher Moor fast 280 Pflanzenarten erfasst werden, von denen 10% in Baden-Württemberg als gefährdet gelten. Die botanisch wertvollen Streu- und Feuchtwiesen bieten Trollblumen und Teufelsabbiss Lebensraum. Torfmoose und Wollgräser als typische Hochmoorpflanzen finden sich nur noch als Relikte (Stiftung Naturschutzzentrum Schopflocher Alb o. J.).



Abb. 4: Schopflocher Moor (Megerle 2020)

3.4 Standort Nr. 4 / Naturschutzzentrum Schopfloch

Das mittlerweile seit über 30 Jahren bestehende Naturschutzzentrum Schopfloch wird vom Land Baden-Württemberg und dem Landkreis Esslingen getragen und betreut die naheliegenden Naturschutzgebiete Schopflocher Moor, Randecker Maar und Lenninger Tal. Mit seiner umfangreichen Ausstellung und zahlreichen Veranstaltungsangeboten versteht es sich auch als regionale Umweltbildungsstätte (Abb. 5). Weitere Informationen siehe unter: https://naturschutzzentrum-schopfloch.de/

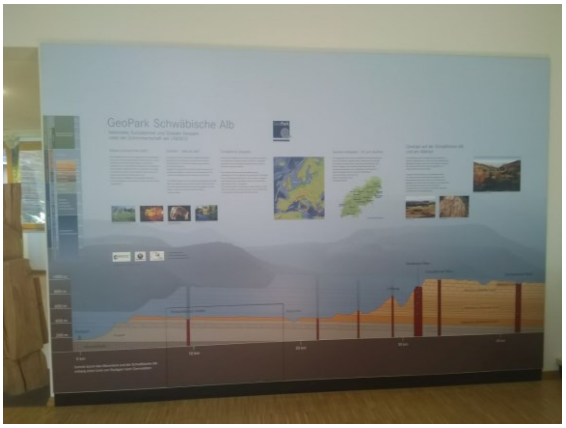


Abb. 5: Ausstellung im Naturschutzzentrum Schopfloch (Megerle 2020)

3.5 Standort Nr. 5 / Gruorn, UNESCO Biosphärengebiet Schwäbische Alb

Seit 2009 sichert das UNESCO Biosphärengebiet Schwäbische Alb im Bereich der mittleren Schwäbischen Alb auf über 85 000 ha Fläche die über Jahrtausende entstandene Kulturlandschaft unter dem Motto „Leben und Wirtschaften im Einklang mit der Natur“ (Biosphärengebiet Alb o. J.). Ein Paradebeispiel hierfür ist die Gemarkung von Gruorn (Abb. 6). Das Dorf Gruorn wurde ab 1937 im Zuge der Erweiterung des Truppenübungsplatzes Münsingen aufgelöst und in den folgenden Jahrzehnten weitgehend zerstört (Morrissey 2010, S. 271). Nach Aufgabe des Truppenübungsplatzes wurde die parkartige Weidelandschaft, die durch die kontinuierliche Schafbeweidung entstanden ist und eines der größten von Infrastruktur unzerschnittenen Offenlandgebiete Deutschlands ist, zu einem Kerngebiet des neu geschaffenen Biosphärengebietes (Biosphärengebiet Alb o. J.). Zahlreiche historische Kulturlandschaftselemente wie Lesesteinriegel, Steingruben oder Weidbuchen zeigen die frühere Nutzung durch den Menschen. Flora und Fauna konnten sich auf der Fläche weitgehend ungestört entwickeln, sodass heute zahlreiche seltene Vogel- und Insektenarten, aber auch Pflanzenarten anzutreffen sind. Die Bodenverdichtungen durch die frühere militärische Nutzung hat zahlreiche Feuchtgebiete geschaffen, die auf der wasserarmen Alb Lebensräume für Amphibien bieten. Umfangreiche Informationen zu den Naturschätzen des früheren Truppenübungsplatzes sind Künkele und Nittel (2005) zu entnehmen.



Abb. 6: Landschaft bei Gruorn (Megerle 2008)

3.6 Standort Nr. 6 / Seeburg, Kalktuffbarre und Bodenloser See

Die großflächigen, teilweise kilometerlangen Kalktuffablagerungen, die lokal den Hauptanteil an den Talfüllungen u.a. der Erms, der Echaz und der Wiesaz einnehmen können, entstanden im Holozän (Geyer et al. 2011), überwiegend in den wärmeren Phasen des Atlantikums (5 000 bis 3 000 v. Chr.). Im Uracher Teilort Seeburg hatte sich über einen Zeitraum von ca. 10 000 Jahren eine 30 m mächtige Kalktuffbarre gebildet (Abb. 7; Werner et al. 2013), die als natürlicher Damm den Fischbach zu einem bis zu 8 m tiefen und einen Kilometer langen See aufstaute, der sogenannte Bodenlose See. 1618 wurde ein 415 m langer und 2,5 m hoher Tunnel durch die Kalktuffbarre getrieben (Binder 1989, S. 98), um den See zugunsten der Fischerei periodisch entwässern zu können. 1821 wurde der See zur Gewinnung von Bauland dann

endgültig abgelassen (Schöttle 2007, S. 215). Die Blütezeit des Tuffabbaus lag in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als ca. 60 Steinhauer mit dem Abbau beschäftigt waren. 1952 wurde der Abbau eingestellt (Werner et al. 2013). 1996 wurde der Stollen eingetragenes Kulturdenkmal (Waßner 2005).



Abb. 7: Seeburger Kalktuffbarre (Megerle 2020)

3.7 Standort Nr. 7 / Gütersteiner Wasserfall

Der Großteil der Schwäbischen Alb befindet sich innerhalb der Gebietskulisse des UNESCO Global Geopark Schwäbische Alb. Im Juni 2000 wurde das Netzwerk der European Geoparks ins Leben gerufen. Geoparks sind keine zusätzliche Naturschutzkategorie, sondern eine Prädikatisierung für Gebiete, die ein herausragendes Geopotential aufweisen sowie eine Strategie zur nachhaltigen Regionalentwicklung (European Geoparks o. J.). Geoparks sollen nachhaltigen Geotourismus entwickeln und als Innovationsregionen einen umfassenden Schutz mit einer ökonomischen Entwicklung in Einklang bringen (Bétard 2017, S. 151). Die Gründung des Geoparks Schwäbische Alb wurde bereits im Jahr 2000 initiiert. Im Jahr 2002 wurde er als einer der ersten in Deutschland als Nationaler und European Geopark anerkannt; im Jahr 2015 dann als UNESCO Global Geopark (mehr Informationen finden sich bei Geopark Schwäbische Alb o. J. sowie Megerle 2024).

Die Schwäbische Alb ist als größte Karstregion Deutschlands ein regionaler Schwerpunkt des Vorkommens von Kalktuffbildungen. An den zahlreichen Kalktuffquellen ist auch aktuell die Bildung von Kalktuff zu beobachten (Megerle 2021). Kalktuff entsteht in Regionen mit kalkhaltigen Gesteinsformationen, die löslich sind und eine starke Klüftigkeit aufweisen (Golubić et al. 2008; Pfeffer, 2010). Kalziumkarbonat reagiert unter Einwirkung kohlensäuregesättigten Wassers zu Kalziumhydrogenkarbonat (Bögli 1978, S. 18). Die oberflächennahe Verkarstung ist hauptsächlich vom Wasserdargebot abhängig und der Aufnahmefähigkeit des Wassers für CO_2, die mit abnehmender Temperatur ansteigt. An Quellaustritten ändern sich Temperatur- und Druckverhältnisse, so dass CO_2 entweicht und zumindest ein Teil des gelösten Kalks ausfällt. Entscheidend ist hierbei auch eine möglichst große Verdunstungsoberfläche. Das Zerstäuben des Wassers fördert das Entweichen der Kohlensäure. Daher finden sich insbesondere an Wasserfällen mächtige Kalktuffablagerungen (Stirn 1964, S. 6). Spezialisierte Moos- und Algenarten erhöhen die Kalkausfällung, da sie dem Wasser CO_2 für ihre Assimilation entziehen. Kalktuffbildungen sind daher nicht nur hochwertige Geotope, sondern auch Biotope und damit Orte, an denen die Interaktionen und Interdependenzen von Geodiversität und Biodiversität exemplarisch zu beobachten sind.

Der Gütersteiner Wasserfall weist mit bis zu 3 cm jährlichem Zuwachs eine der höchsten rezenten Kalktuffbildungsraten auf (Abb. 8; Stirn 1964, S. 21). Wie der bekanntere Uracher Wasserfall wurde auch der Gütersteiner Wasserfall durch den Kalktuffabbau stark verändert. Dies ist heute im Gelände noch deutlich zu erken-

nen. Die große Kalktuffterrasse wurde durch den Abbau verkleinert, die Terrassen anschließend neugestaltet. Das Wasser wird zusammengeführt und stürzt dann über drei Stufen jeweils ca. 6 m unter Bildung der typischen Tuffnasen und Tuffpolster ins Tal (Schöttle 2007, S. 92).

Analog zum Uracher Wasserfall finden sich auch im Gütersteiner Wasserfall mehrere Primärhöhlen, wovon die Größte, die Gütersteiner Kartause, von 1226 bis 1534 als Grablege der württembergischen Herzöge genutzt wurde (Huth und Junker 2003, S. 318). Zu dieser Zeit befand sich auf der obersten Kalktuffterrasse das über Jahrhunderte sehr einflussreiche Kloster Güterstein. Als Württemberg im Zuge der Reformation protestantisch wurde, wurde die Begräbnisstätte nach Tübingen verlegt und das Kloster aufgegeben (Deigendesch 2003). Heute finden sich am Wasserfall keinerlei Spuren mehr, die auf die frühere kulturelle Bedeutung hinweisen könnten, da die Klosterruine von den Bewohnern der umliegenden Orte abgetragen wurde, um die Steine für neue Bauwerke zu verwenden.

Wie der Uracher Wasserfall weist auch der Gütersteiner Wasserfall hohe Besucherzahlen auf, die zu einer starken Beeinträchtigung der sensiblen Kalktuffbereiche führen (Megerle 2022).



Abb. 8: Gütersteiner Wasserfall (Langrehr 2013)

Literatur

Bétard, F. (2017): Géodiversité, Biodiversité et Patrimoines Environnementaux. De la Connaissance à la Conservation et à la Valorization. (Bd. 1). Université Sorbonne Paris Cité. Mémoire d`Habilitation à Diriger des Recherches.

Binder, H. (1989): Höhlenführer Schwäbische Alb. Höhlen, Quellen, Wasserfälle (4. Auflage). Stuttgart. Konrad Theiss Verlag.

Biosphärengebiet Schwäbische Alb (o. J.): Biosphärengebiet Schwäbische Alb. https://www.biosphaerengebiet-alb.de/ (Zugriff: 02. Februar 2025).

Bögli, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. Heidelberg. Springer.

Burgmeier, G., Schöttle, M. (2002): Geotope im Regierungsbezirk Stuttgart. Mannheim. JVA Mannheim. Druckerei.

Deigendesch, R. (2003): Die Kartause an den Gütersteiner Wasserfällen. Blätter des Schwäbischen Albvereins 2: 4–9.

Eberle, J. (2017): Und sie bewegt sich doch! – Geomorphologie und Georisiken im Bereich der Mittleren Schwäbischen Alb. In: Scholten, T. und Teuber, S. (Hrsg.): Tübingen und seine Umgebung. Ein Exkursionsführer anlässlich des Deutschen Kongress für Geographie 2017 in Tübingen. Tübinger Geographische Studien, Heft 152: 177–188.

Eberle, J., Eitel, B., Blümel, W., Wittmann, P. (2017): Deutschlands Süden – vom Erdmittelalter zur Gegenwart. 3. Auflage. Springer.

European Geoparks (o. J.): European Geoparks. https://www.europeangeoparks.org/ (Zugriff: 02. Februar 2025)

Geopark Schwäbische Alb (o. J.): Geopark Schwäbische Alb. https://www.geopark-alb.de/ (Zugriff: 02. Februar 2025)

Geyer, M., Nitsch, E., Simon, T., Gwinner, M. (2011): Geologie von Baden-Württemberg (5. Auflage). Stuttgart. Schweizerbart.

Golubić, S., Violante, C., Plenković-Moraj, A., Grgasović, T. (2008): Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis. Geologia Croatica 61 (2–3): 363–378.

Heizmann, E., Schmidt, F. (1998): Tertiärer Vulkanismus auf der Schwäbischen Alb und im Hegau. In: Heizmann, E. (Hrsg.): Erdgeschichte mitteleuropäischer Regionen. Vom Schwarzwald zum Ries. München. Verlag Dr. Friedrich Pfeil. S. 177–190.

Huth, T., Junker, B. (2003): Geotouristische Karte Nationaler Geopark Schwäbische Alb mit Umgebung. München. Reiff Druck.

Kiessling, A. (1993): Rezente Kalktuffbildung auf der Wiesentalb. Bildungsbedingungen und jahreszeitlicher Verlauf. Mitteilungen der Fränkischen Geographischen Gesellschaft 40: 41–60.

Künkele, G., Nittel, L. (2005): Europäische Juwelen auf dem Truppenübungsplatz Münsingen. Bund Naturschutz Alb-Neckar e.V. 31. Jg. Sonderheft. Reutlingen.

LGRB (o. J.): Die Schwäbische Alb. https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/unser-land/schwaebische-alb (Zugriff: 30. Januar 2025)

Megerle, H. (2024): Geotourismus: Inwertsetzung und Schutz unseres Geoerbes. Springer VS.

Megerle, H. (2022): Kalktuffgeotope: Vorkommen, Gefährdung und Schutzmöglichkeiten am Beispiel des Geoparks Schwäbische Alb. Laichinger Höhlenfreund 57, S. 3–24.

Megerle, H. (2021): Calcerous Tufa as invaluable Geotopes endangered by (over-)tourism: A case study in the UNESCO Global Geopark Swabian Alb, Germany. Geosciences. Geological and Geomorphological Heritage – Protection versus Geotourism. Geosciences 11 (5): 198.

Megerle, H. (2020): Geoheritage and Geotourism in Regions with Extinct Volcanism in Germany. Case Study Southwest Germany with UNESCO Global Geopark Swabian Alb. Geosciences 10 (11), 445.

Morrissey, C. (2010): Historische Kulturlandschaft Gruorn: auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz Münsingen. Schwäbische Heimat 61(3): 271–276.

Pfeffer, K.-H. (2010): Karst. Entstehung - Phänomene - Nutzung (Studienbücher der Geographie). Stuttgart. Gebrüder Borntraeger.

Pfündel, T., Walter, E., Müller, T. (2005): Die Pflanzenwelt der Schwäbischen Alb. Theiss.

Rothe, P. (2019): Die Geologie Deutschlands. 48 Landschaften im Portrait (5. Auflage). Darmstadt. WBG Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Schöttle, M. (2007): Geotope im Regierungsbezirk Tübingen (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), Hrsg.). https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/45542-Steckbrief.pdf. (Zugriff: 30. Januar 2025)

Stiftung Naturschutzzentrum Schopflocher Alb (o. J.): Schopflocher Moor. https://naturschutzzentrum-schopfloch.de/schopflocher-moor. (Zugriff: 30. Januar 2025)

Stirn, A. (1964): Kalktuffvorkommen und Kalktufftypen der Schwäbischen Alb. Dissertation. Universität Tübingen. (Abhandlungen zur Karst- und Höhlenkunde). München. Mangold.

Waßner, M. (2005): Ein langes, dunkles Bauwerk – Heinrich Schickhardts „Seedohle“. In: W. Rosendahl und D. Sahm-Stotz (Hrsg.), Bodenloser See und Schickhardt-Stollen (Grabenstetter höhlenkundliche Hefte, Bd. 10, Bd. 2, S. 33–37). Burladingen. Göckel Druck und Graphik GmbH.

Werner, W., Bock, H., Kimmig, B. (2013): Naturwerksteine aus Baden-Württemberg. Vorkommen, Beschaffenheit und Nutzung. Rüsselsheim. Asterion GmbH.

Wilmanns, O. (2004): Landschaft und Vegetation der Schwäbischen Alb im Vergleich mit dem Schwarzwald. Schriften des Vereins für Geschichte und Naturgeschichte der Baar, 47, S. 83–98.

E08: Bäume im Stress – Wie sehen die Wälder der Zukunft aus?

Jürgen Schäffer[1], Stephan Ehekircher[1], Göran Spangenberg[1,2], Sebastian Hein[1]

[1]Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, [2]Fachhochschule Erfurt

1 Einleitung

Das Exkursionsgebiet deckt aufgrund der Vielfalt der geogenen Ausgangssubstrate für die Bodenentwicklung aus der Keuper- und Jurazeit, deren Überprägung durch periglaziale Umlagerungsprozesse sowie aufgrund von topographischer Bewegtheit und klimatischer Variabilität ein breites Spektrum an Standortsausprägungen für das Wachstum der dort vorkommenden Wälder ab. Veränderungen in der Verfügbarkeit von Bodenwasser, wie sie im Klimawandel großflächig zu erwarten sind, sind aufgrund der in der Region sehr weit gespannten klimatologischen Gradienten sowie der auf der Bodengenese beruhenden Unterschiedlichkeit der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazitäten der Böden bereits heute kleinstandörtlich vertreten. Durch die vergleichende Untersuchung wachstumskundlicher Reaktionsmuster auf Standorten unterschiedlicher Wasserverfügbarkeit lassen sich bereits heute Hinweise auf die zukünftige Vitalitätsentwicklung von Baumarten bei fortschreitender Erwärmung und damit verbundener Zunahme des Trockenstressrisikos ableiten. Für jeweils zwei Standorte in der Keuper- und in der Juralandschaft werden nach der Vorstellung des Exkursionsgebietes und der -standorte Ergebnisse waldwachstums-kundlicher Analysen vorgestellt.

2 Exkursionsgebiet

Die beiden Exkursionspunkte P1 und P2 liegen im Lehrwald der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg südlich des Neckars (Abb. 1). Der Höhenzug des Rammerts ist aus Gesteinen aus der Keuper- und Jurazeit aufgebaut. Die beiden weiteren Exkursionsstandorte befinden sich im Albvorland (P3) und auf der Albhochfläche (P4).

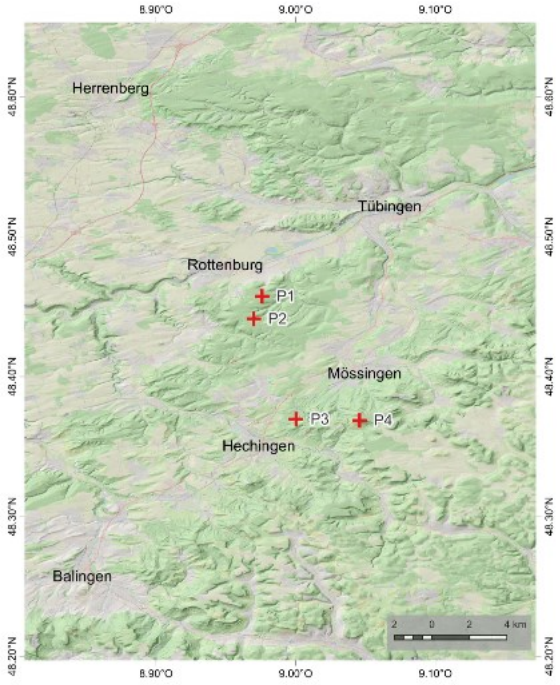


Abb. 1: Lage der Exkursionsstandorte P1 und P2 sowie von P3 und P4 (Kartengrundlagen: basemap: © Geo-Basis-DE/BKG (2025) CC BY 4.0; OSM: © OpenStreetMap Mitwirkende)

Während der Stufenrand des Rammerts in einer Höhe von ca. 500 m liegt, wird am östlichsten Exkursionspunkt im Bereich des Verebnungssporns des Hirschkopfs eine Höhe von über 850 m erreicht. Dort bietet der nahe gelegene Aussichtspunkt des Dreifürstensteins einen spektakulären Blick auf den Albtrauf der Mittleren und Westlichen Alb sowie auf das Albvorland (Abb. 2).



Abb. 2: Blick vom Dreifürstenstein in Richtung Süden auf den Zeugenberg Hohenzollern

2.1 Geologisch-geomorphologischer Überblick

Die Exkursionsroute quert einen charakteristischen Ausschnitt aus der südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft mit ihrer prägenden Schichtenneigung von ca. 2° in Richtung Südosten (Abb. 3). Die an den Exkursionspunkten vorkommenden Gesteine stammen aus dem älteren Mittelkeuper, dem Unteren Mitteljura sowie dem Unteren Oberjura.

Im Rammert wird die Schichtfläche durch die Sandsteine der Löwenstein-Formation gebildet (Abb. 4). Sie erreicht in der Region um Tübingen eine Mächtigkeit von 30 bis 50 m. Die hellen Stubensandsteine sind grob gekörnt und schlecht sortiert. In die Sandsteinlagen sind rote, schluffig-tonige Sedimentlagen eingeschaltet. Sockelbildner der Stubensandsteinstufe stellen die verwitterungsanfälligen Ton- und Mergeltongesteine der Mainhardt- und Steigerwald-Formation (Bunte Mergel) dar. Der Plateaubereich des Rammerts ist wie auch die östlich anschließenden Verebnungen der Unterjuraflächen der Angulatensandstein- und Arietenkalk-Formationen durch Lösslehmüberlagerungen geprägt.

Als eine regionale Besonderheit tritt im Vorland der Mittleren Schwäbischen Alb der Kalksandstein des jurassischen Blaukalks als Stufenbildner in Erscheinung, der von mergeligen und tonigen Gesteinen des höheren Unterjuras und des Unteren Mitteljuras unterlagert wird. Darunter sind die dunkelgrauen bis schwarzen, ca. 90 m mächtigen Tonsteine der Opalinuston-Formation regional bedeutend (Abb. 5). Der rückwärtige Abschnitt der Blaukalkverebnungsfläche wird bereits von Hangrutschungsmassen erreicht, die erhebliche Anteile der gebankten Kalksteine des Unteren Oberjura beinhalten. Der aus den vorwiegend kaltzeitlichen Massenverlagerungsprozessen hervorgegangene Hangschutt setzt sich vorwiegend aus Grobgrus und Steinen zusammen. Dieser stammt zum einen aus Steinschlag- und Felsstürzen unterhalb der übersteilten Hangbereiche. Daneben haben aber auch flache Schuttrutschungen im periglazialen Milieu zur Akkumulation von Schutt beigetragen. Bis in die jüngste Geschichte kamen in der Exkursionsregion Rutschungen beträchtlichen Ausmaßes vor (Bergrutsche am Hirschkopf im Jahr 1983 und bei Öschingen im Jahr 2013).

Die Stirnseite des Albtraufs bildet eine markant ausgeprägte, weit vorspringende Stufenkante, die durch die gebankten Kalksteine der Wohlgeschichteten-Kalke-Formation eingenommen wird. Sockelbildende Gesteine sind dort die unterliegenden Impressamergel. Hinter der Stufenkante liegend erstreckt sich die ausgedehnte Verebnungsfläche der sogenannten Schichtflächen-Alb. Die weiter östlich vorkommenden, ebenfalls stufenbildenden Gesteine der Massenkalk-Formation gehen auf das Herausmodellieren von Riffkalkkomplexen aus den dazwischenliegenden, geschichteten Fazies zurück. Die Gesteine der Massenkalk-Formationen zeichnen sich durch eine massive Verkarstung mit teilweise tief reichenden Karstschloten aus. Diese sind häufig mit Umlagerungsprodukten intensiver kreidezeitlicher und tertiärer Verwitterungsprozesse verfüllt. Im Liegenden der Massenkalk-Formation sind die Gesteine aus der Lacunosamergel-Formation Sockel bildend.

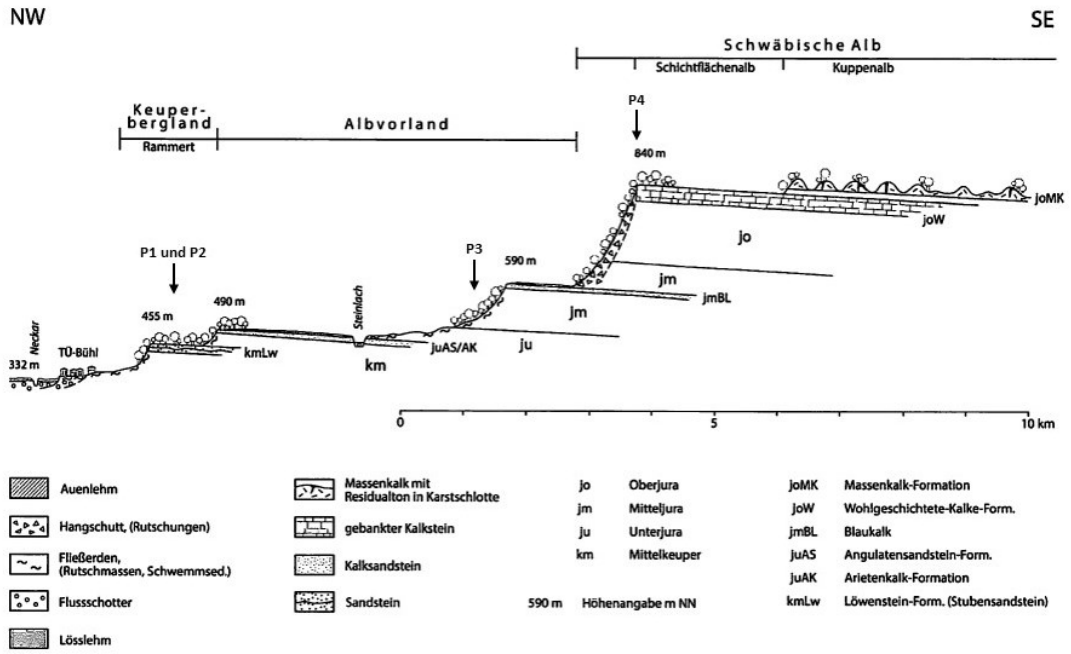


Abb. 3: Schematischer Schnitt durch die Schichtstufenlandschaft vom Neckartal bis auf die Albhochfläche (verändert nach Kösel und Fleck 2017)

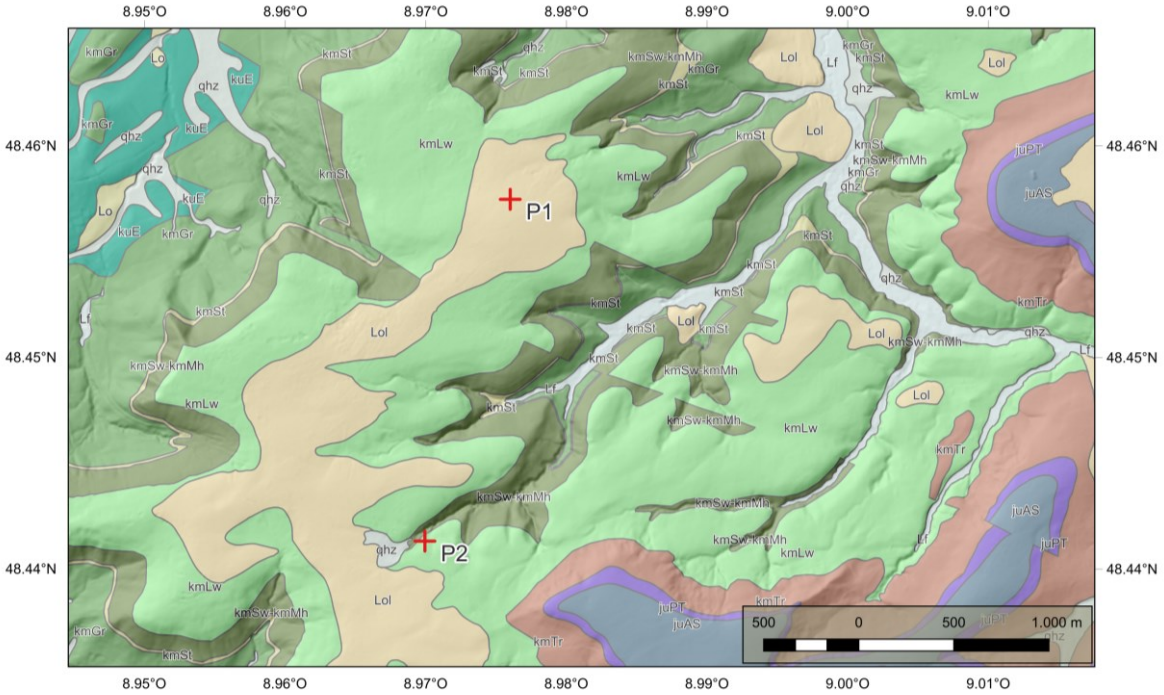


Abb. 4: Geologische Schichtenfolge im Bereich des Rammerts mit den Exkursionspunkten P1 und P2 (qhz-holozäne Abschwemmmassen, LF-Auenlehm, Lol-Lösslehm, Lo-Löss, juAS-Angulatensandstein, juPT-Psilonotenton, kmTr-Trossingen-Formation, kmLw–Löwenstein-Formation, kmMh-Mainhardt-Formation, kmSw-Steigerwald-Formation, kmSt–Stuttgart-Formation, kmGr-Grabfeld-Formation, kuE-Erfurt-Formation (Kartengrundlagen: basemap: © GeoBasis-DE/BKG, 2025, CC BY 4.0; LGRB-BW: GK50, 22.01.2025, © Regierungspräsidium Freiburg, LGRB)

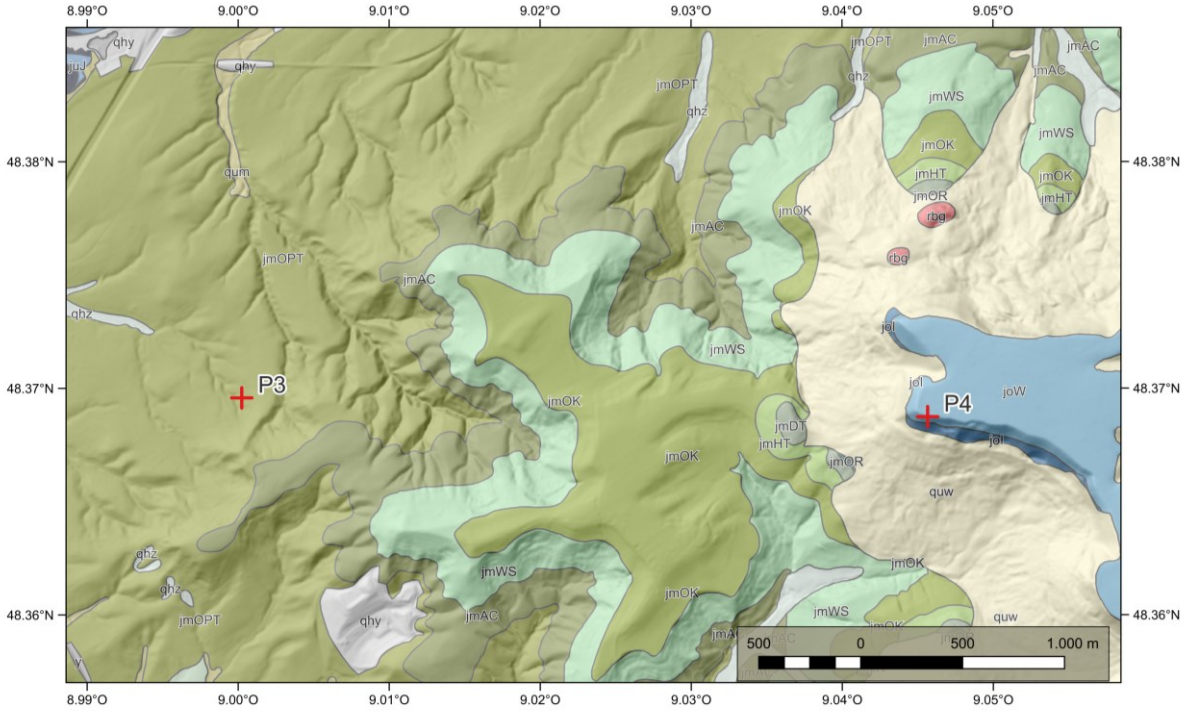


Abb. 5: Geologische Schichtenfolge an den Exkursionspunkten P3 und P4 (qhy- anthropogene Ablagerung, qhz-holozäne Abschwemmmassen, qpz-pleistozänes Schwemmsediment, qum-Verwitterungs-/Umlagerungsbildung, LF–Auenlehm, rbg-Rutschungsbildung; joW-Wohlgeschichtete Kalke-Formation, joI-Impressamergel-Formation, jmDT-Dentalienton, jmOR-Ornatentonformation, jmHT-Hamitenton-Formation, jmOK-Ostreenkalk-Formation, jmWS-Wedelsandstein-Formation; jmAC-Achdorf-Formation, jmOPT-Opalinuston-Formation; juJ: Jurensismergel-Formation (Kartengrundlagen: basemap: © GeoBasis-DE/BKG, 2025, CC BY 4.0; LGRB-BW: GK50, 22.01.2025, © Regierungspräsidium Freiburg, LGRB)

2.2 Periglaziale Formungsprozesse

Im kaltzeitlichen Klima des Pleistozäns wurden die Keuper- und Juralandschaft des Exkursionsgebiets durch periglaziale Umlagerungsprozesse geprägt. Hierdurch entstanden über den unverwitterten klastischen Sedimentgesteinsbildungen Lockergesteinsdecken unterschiedlicher Mächtigkeit. Neben der Bildung von Fließerden fand auch eine Akkumulation von unterschiedlich mächtigen Lössbildungen statt. Diese wurden nach ihrer Ablagerung häufig ebenfalls in die Umlagerungsprozesse einbezogen. Die periglazialen Deckschichten sind durch einen mehrgliedrigen Aufbau geprägt. Sie werden in Haupt-, Mittel- und Basislagen untergliedert (Semmel und Terhorst 2010). Die im Hinblick auf ihre Mächtigkeit sehr variable Basislage liegt dem Ausgangsgestein auf und bildet die älteste periglaziale Deckschicht. Sie besteht vorwiegend aus hangaufwärts verbreitetem, durch Solifluktion und Abspülung abwärts verlagertem Gesteinsmaterial. Wie die Basislage besteht die Hauptlage aus verlagertem Verwitterungsmaterial der hangaufwärts vorkommenden Gesteine. Die Mächtigkeit der darüber liegenden Hauptlage ist auffallend konstant und liegt in der Regel bei etwa 50 cm (± 20 cm). Im Gegensatz zur Basislage weist die Hauptlage eine äolische Lössbeimischung auf. Eine geringer mächtige Hauptlage, wie sie beispielsweise am Standort P2 vorgefunden wurde, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Erosionsprozesse im Zuge der mittelalterlichen und neuzeitlichen Nutzung zurückzuführen. In der Region spielte als Störungsprozess des Lagenaufbaus beispielsweise die Gewinnung von Stubensand eine bedeutende

Rolle. In erosionsgeschützterer Lage wie beispielsweise am Exkursionspunkt P1 blieb zwischen Haupt- und Basislage eine ebenfalls lössbeeinflusste, skelettarme Mittellage erhalten.

2.3 Klimatische Verhältnisse im Exkursionsgebiet

Für die Einschätzung der klimatologischen Verhältnisse an den Profilstandorten P1 und P2 lässt sich die DWD-Referenzstation Rottenburg-Kiebingen heranziehen (Abb. 6). An dieser lag die Jahresdurchschnittstemperatur für den Zeitraum von 1991 bis 2020 bei 9,9°C und die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme bei 708 mm. Anhand der klimatologischen Kennwerte kann der Klimatrend bereits deutlich nachvollzogen werden. In der Referenzperiode von 1961 bis 1990 lag der Jahresdurchschnittstemperaturwert um 1,6°C niedriger und die Jahresniederschlagssumme um 130 mm höher. Bedingt durch die Leelage der Messstation in Bezug auf den Höhenzug des Rammerts und die geringere Meereshöhe von 360 m sind an den beiden Profilstandorten niedrigere Jahresdurchschnittstemperaturen und höhere durchschnittliche Jahresniederschlagssummen zu erwarten.

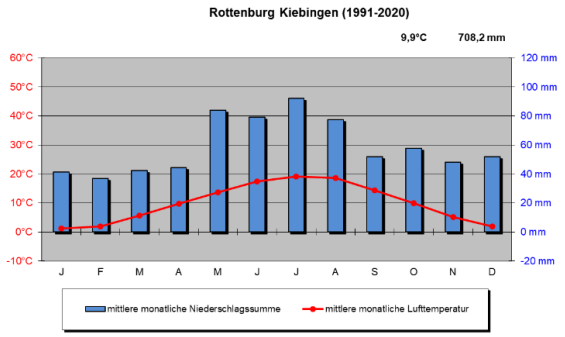


Abb. 6: Klimadiagramm für die DWD-Messstation Rottenburg-Kiebingen (DWD-ID: 4294) für den Referenzzeitraum 1991–2020 (DWD 2024)

An der DWD-Klimastation Hechingen nahe des Exkursionspunktes P3 lag die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur für den Zeitraum 1991–2020 bei 9,2°C (Abb. 7). Die mittlere Jahresniederschlagssumme betrug 806 mm. Im Vergleich zu den Werten der Referenzperiode 1961 bis 1990 nahm der durchschnittliche Temperaturwert um 0,9°C zu und die Jahresniederschlagsmenge um ca. 30 mm ab. Im Vergleich zur Messstation Rottenburg-Kiebingen fallen Temperaturanstieg und Niederschlagsrückgang weniger ausgeprägt aus.

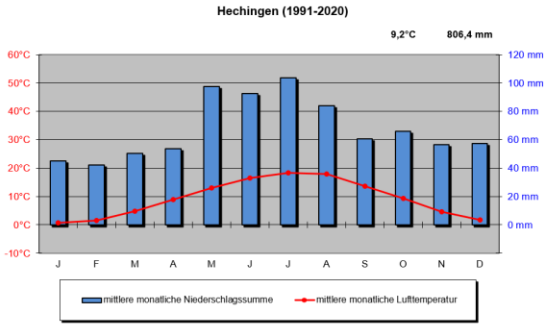


Abb. 7: Klimadiagramm für die DWD-Messstation Hechingen (DWD-ID: 2074) für den Referenzzeitraum 1991–2020 (DWD 2024)

Für Exkursionspunkt P4 kann die östlich auf der Albhochfläche gelegene Messstation Trochtelfingen für die Klimacharakterisierung herangezogen werden. An dieser lag der mittlere Jahresdurchschnittstemperaturwert im Zeitraum zwischen 1991 und 2020 bei 7,8°C bei einer mittleren Jahresniederschlagssumme von 898 mm (Abb. 8). Gegenüber dem Zeitraum von 1961–1990 betrug der Temperaturanstieg bei nahezu unveränderter durchschnittlicher Jahresniederschlagssumme +2,0°C. Da Exkursionspunkt P4 unmittelbar an der Traufkante in südexponierter Lage liegt, ist dort eine höhere Jahresdurchschnittstemperatur und eine höhere durchschnittliche Jahresniederschlagssumme zu erwarten.

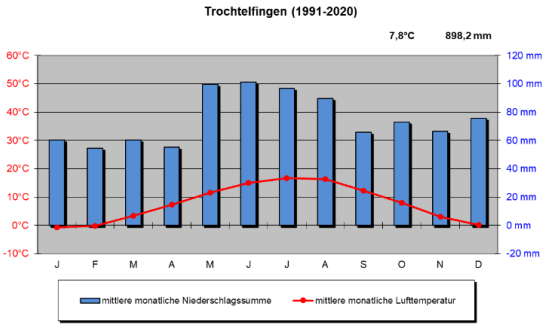


Abb. 8: Klimadiagramm für die DWD-Messstation Trochtelfingen (DWD-ID: 5105) für den Referenzzeitraum 1991–2020 (DWD 2024)

3 Beschreibung der Standorte und Bodenprofile

3.1 Standort P1

Der Standort P1 befindet sich im Plateaubereich der Stubensandsteinstufe (Löwenstein-Formation) ca. 2 km südöstlich von Rottenburg am Neckar. Die Verebnungsfläche ist dort von Lösslehm überlagert. Der Profilstandort weist einen dreigliedrigen Aufbau aus Basis-, Mittel- und Hauptlage auf. Die Basislage ist mehrgliedrig aufgebaut: Im Liegenden bis 100 cm unter Flur ist diese durch eine Durchmischung von grusig-steinigem Sandsteinverwitterungsmaterial, das in eine rot gefärbte, tonreiche Matrix eingebettet ist, geprägt (Abb. 9). Dieser Teil wird als III ilCv-Horizont angesprochen. Darüber differenziert sich die Basislage in einen grobbodenreicheren unteren Teil zwischen 80 cm und 100 cm (III Sd-Kt2) und einen darüber liegenden, grobbodenärmeren Bereich (III Sd-Kt1), der bis 50 cm unter Flur reicht. In beiden Teilen sind ausgeprägte Toncutane auf den Aggregatoberflächen zu erkennen. Bedingt durch die dichte Lagerung der Basislage wirkt diese wasserstauend. Über der Basislage hat sich im Profil eine bis zu 20 cm mächtige Mittellage erhalten. Auch in dieser sind Toneinlagerung und Staunässeeinfluss zu erkennen (II Swd-Kt). Die lösshaltige, locker gelagerte Hauptlage zeigt im unteren Bereich Mangankonkretionen (Sw-El), die sich oberhalb von 20 cm unter Flur im Ah- und El-Horizont verlieren. Das Bodenprofil wird als pseudovergleyte Parabraunerde angesprochen.

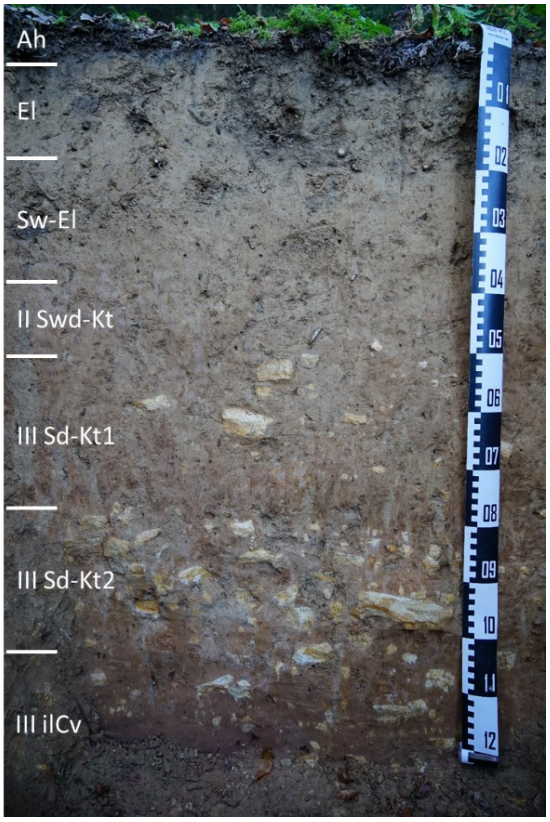


Abb. 9: Pseudovergleyte Parabraunerde aus lösslehmhaltiger Fließerde unterlagert von grus- und schuttführender Fließerde aus Verwitterungsmaterial des Mittelkeupers

Tab. 1: Standortbeschreibung Profil 1

Substrat:	Lösslehmhaltige Fließerde unterlagert von grus-und schuttführender Fließerde aus Verwitterungsmaterial des Mittelkeupers
Relief:	Plateau, schwach nach N bis NE geneigt
Landnutzung:	Forstwirtschaft
Vegetation:	Douglasienbaumholz
Höhenlage:	498 m ü. NHN
Lage:	8.975996 E 48.457476 N

Tab. 2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation Profil 1

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Steine [Vol.-%]	Gefüge-form	Humus	Durchwurzel-ungsintensität	Carbonat [%]	Ausgangs-gestein	Strati-grafie
PSEUDOVERGLEYTE PARABRAUNERDE									
0–4	Ah	Lu	<1	kru/sub	h4	Wf4/Wg3	c0	pf	qwdj
–20	El	Lu	<1	sub	h3	Wf4/Wg2	c0	pf	qwdj
–38	Sw-El	Lu	<1	sub	h2	Wf3/Wg2	c0	pf	qwdj
–58	II Swd-Kt	Lt2	<1	pol	h1	Wf2/Wg1	c0	pf	qw
–80	III Sd-Kt1	Ls4	20	pol	h0	Wf1/Wg1	c0	pf	qw
–100	III Sd-Kt2	Ls4	50	pol	h0	Wf1/Wg1	c0	pf	qw
–120+	III ilCv	Ls4	30	koh	h0	Wf1/Wg1	c0	pf	qw

Humusform: Typischer F-Mull (MFT)

Deutsche Klassifikation: Pseudovergleyte Parabraunerde aus solifluidalem Tonschluff über solifluidalem Reinlehm über solifluidalem, grus- und schuttführendem Reinlehm aus dem mittleren Keuper

[sLLn]. pfl-lu(co)/pfl-t(co)/pfl-(zn)ll(Snza-kmLw)

WRB: Albic Stagnic Luvisol (siltic, cutanic, differentic, epidystric, ochric, endoraptic)

Tab. 3: Bodenphysikalische Eigenschaften – Partikelgrößenverteilung (Bodenart nach KA6)

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0–4	3,59	14,90	7,46	20,8	24,9	10,2	18,7	55,9	25,94	Lu
–20	2,97	15,57	7,61	19,1	24,2	10,3	19,9	53,6	26,16	Lu
–38	3,23	15,20	7,29	18,7	24,3	10,2	21,0	53,2	25,72	Lu
–58	3,04	13,69	5,87	15,4	20,6	8,9	32,6	44,9	22,61	Lt2
–80	9,46	29,04	9,66	8,1	11,9	7,9	24,0	27,9	48,16	Ls4
–100	8,53	35,36	11,72	5,8	8,9	7,7	22,3	22,4	55,61	Ls4
–120+	13,20	38,07	11,44	2,8	5,5	6,7	22,2	15,0	62,72	Ls4

Tab. 4: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	C_{org} [mg g^{-1}]	C_{anorg} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N
0–4	4,58	3,80	31,56	-	1,56	20,2
–20	4,52	3,86	10,53	-	0,63	16,8
–38	4,64	3,94	6,44	-	0,48	13,4
–50	4,81	3,86	2,44	-	0,34	7,2
–80	5,03	4,04	1,06	-	0,22	4,9
–100	5,04	4,04	0,89	-	0,23	3,8
–120+	5,07	4,01	0,77	-	0,17	4,5

Tab. 5: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–4	68,5	40,5	-	2,2	28,6	9,7	1,8	51,6	1,8	4,4
–20	32,9	6,7	-	1.0	2,5	3,2	4,2	82,9	1,6	4,7
–38	29,2	4,6	-	1,1	1,4	2.0	4,4	84,4	2.0	4,6
–50	71,1	17,8	-	1,4	5,1	10,7	0,1	78,6	0,7	2,9
–80	52,3	55,1	-	1,6	15,7	37,9	2,3	39,2	0,7	2,8
–100	58,0	62,7	-	1,4	20,8	40,5	2,2	31,4	0,5	3,2
–120+	62,4	73,9	-	1,2	32,6	40,1	1,9	21,4	0,2	2,5

3.2 Standort P2

In unmittelbarer Nähe des Bodenprofilstandorts P2 liegt der Quellbereich des zum Bühlertalbach entwässernden Geistgrabens an der Schichtgrenze zwischen der Löwenstein-Formation (Stubensandstein) und der Mainhardt-Formation (Obere Bunte Mergel). Im Bodenprofil ist das rote Verwitterungsmaterial aus Tonsteinen der Mainhardt-Formation prägend. Die oberste Lage ist mit 20 cm wenig mächtig ausgeprägt und enthält nur geringe Anteile von Stubensandstein. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die frühere Nutzungsgeschichte und nachfolgende Erosionsprozesse zurückzuführen, worauf auch die unruhige Geländeoberfläche im Umfeld des Profils hindeutet. In der Hauptlage haben sich ein Ah und ein Bv-Ah-Horizont entwickelt. Unter dieser wäre aufgrund der Lage des Profils im Geländebezug eine Basislage mit eingearbeitetem Sandsteinmaterial zu erwarten. Diese ist am Profilstandort jedoch nicht ausgebildet. Der unter dem Bv-Ah entstandene, polyedrisch strukturierte II Pv-Horizont ist, wie auch die darunterliegenden Horizonte II Pv-elCv und II elCv, frei von Sandsteinkomponenten aus der Löwenstein-Formation. Beide Horizonte sind durch hohe Anteile an stark verwittertem Tonmergelgesteinsmaterial geprägt. Der Bodenprofilaufbau wird als Braunerde-Pelosol (Abb. 10) aus geringmächtiger lösslehmhaltiger Hauptlage über Tonmergelgesteinen der Mainhardt Formation angesprochen. Denkbar wäre neben einer periglaziären Bildung der Hauptlage auch ein anthropogener Entstehungsprozess dieser Deckschicht durch nutzungsbedingte Auflagerung oder Verlagerung von Bodenmaterial während des Holozäns.

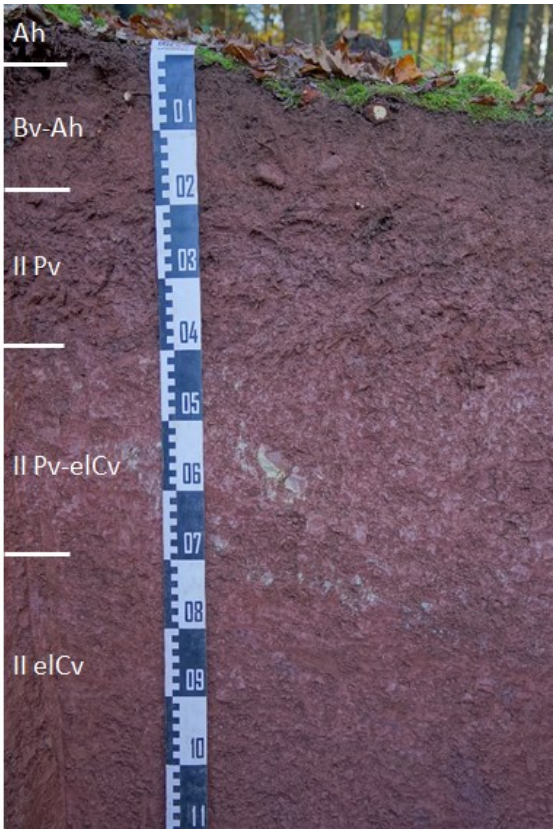


Abb. 10: Braunerde-Pelosol aus geringmächtiger lösslehmhaltiger Hauptlage über Tonmergelgestein des Mittelkeupers

Tab. 6: Standortbeschreibung Profil 2

Substrat:	Lösslehmhaltige Fließerde mit Verwitterungsmaterial aus Stubensandstein über tonigem Verwitterungsmaterial der Mainhardt Formation
Relief:	Plateaurandlage, mittel geneigt, Exposition: N
Landnutzung:	Forstwirtschaft
Vegetation:	Douglasien-Fichtenbaumholz
Höhenlage:	505 m ü. NHN
Lage:	8.969937 E 48.441313 N

Abb. 7: Bodenprofilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Steine [Vol.-%]	Gefügeform	Humus	Durchwurzelungsintensität	Carbonat [%]	Ausgangsgestein	Stratigrafie
BRAUNERDE-PELOSOL									
0–4	Ah	Sl4	2	kru	h3	Wf4/Wg2	co	pf	qwdj
–20	Bv-Ah	Ls4	3	sub	h3	Wf3/Wg2	co	pf	qwdj
–40	II Pv	Tl	0	pol	h2	Wf3/Wg2	c2	Cmt	kmMh
–70	II Pv-elCv	Tu3	30	pol/koh	h1	Wf1/Wg0	c5	Cmt	kmMh
–130+	II elCv	Lt3	30	koh	h0	Wf0/Wg0	c5	Cmt	kmMh

Humusform: Typischer F-Mull (MFT)
Deutsche Klassifikation: Braunerde-Pelosol aus solifluidalem, schwach grusführendem Reinlehm aus dem mittleren Keuper über Lehm- und Schluffton aus dem mittleren Keuper
[BB-DD]: pfl-(z2)-ll(co,Snza-kmLw)\zcut(Cmt-kmMh
WRB: Hypereutric Vertic Cambisol (clayic, geoabruptic, ochric)

Tab. 8: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung (Bodenart nach KA6)

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Bodenart
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0–4	20,44	24,43	17,14	6,1	10,2	8,5	13,4	24,8	62,01	Sl4
–20	17,27	19,91	13,56	7,4	10,6	10,9	20,2	28,9	50,74	Ls4
–40	4,33	7,50	6,21	2,5	8,2	13	58,1	23,7	18,04	Tl
–70	0,43	4,55	4,13	4,7	29,7	22	34,7	56,4	9,11	Tu3
–130+	2,65	8,06	4,53	5,7	18,2	25,2	37,1	49,1	15,25	Lt3

Tab. 9: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	C_{org} [mg g^{-1}]	C_{anorg} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N
0–4	4,97	4,15	19,23	-	1,24	15,5
–20	5,39	4,41	10,50	-	0,82	12,8
–40	6,82	6,34	5,75	0,76	0,84	6,8
–70	8,15	7,48	2,19	45,87	0,42	5,2
–130+	8,21	7,58	1,26	36,06	0,42	3,0

Tab. 10: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	KAK_{eff} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	Sättigung % der KAK_{eff}							
			Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–4	34,2	55,9	-	3,5	39,8	12,5	3,9	29,3	7	3,9
–20	36,7	69	-	2,5	34	32,5	3,6	19,9	5,5	2
–40	150,6	98,8	-	1,6	47,3	49,9	0,8	-	0,3	-
–70	115,6	98,9	-	1,3	49,2	48,4	1,1	0,1	-	-
–130+	350,1	99,3	-	9,4	56,3	33,5	0,7	-	-	-

3.3 Standort P3

Mit der Weiterfahrt zum Standort P3 wird das Keuperbergland verlassen und das durch die jurassischen Sedimentgesteine geprägte Albvorland erreicht. Profil 3 befindet sich nordöstlich von Hechingen im Anstieg der Opalinuston-Formation (jmOPT) zur Blaukalkschichtstufe (jmOK). Dieser Landschaftsteil ist durch Erosionsprozesse in den wenig verwitterungsresistenten Schluff-, Mergel- und Tongesteinen topographisch stark gegliedert. Die sich im Exkursionsgebiet eingeschnittenen Bachläufe entwässern über die Steinlach nach Norden bzw. über die Starzel nach Westen zum Neckar. Im Bodenprofil ist eine markante, ca. 30 cm mächtige Hauptlage mit einem hohen Lössanteil ausgeprägt (Abb. 11). In dieser entwickelte sich während der holozänen Bodenentwicklung ein Bv-Horizont. Die sich im Liegenden anschließende tonige Basislage ist durch eine polyedrische Gefügebildung charakterisiert (II Pv1- und II Pv2-Horizont). Die hellgrau-braunorange Fleckung in der Basislage ist auf die Oxidation des im Opalinuston enthaltenen, feinverteilten Pyrits und nicht auf Staunässeeinfluss zurückzuführen. Im Unterboden stehen im Bodenprofil die mäßig verwitterten, dunkelgrauen Tonmergelgesteine der Opalinuston-Formation an. Das Bodenprofil wird als Pelosol-Braunerde aus lösslehmhaltiger Fließerde über Tonmergelgesteinen der Opalinuston-Formation angesprochen.



Abb. 11: Pelosol-Braunerde aus lösslehmhaltiger über toniger Fließerde über Tonmergelstein des Unteren Mittleren Jura (Opalinuston-Formation)

Tab. 11: Standortbeschreibung Profil 3

Substrat:	Lösslehmhaltige Fließerde über toniger Fließerde über Tonmergelgestein aus der Opalinuston-Formation
Relief:	Mittelhang, mittel schwach geneigt, Exposition: NW
Landnutzung:	Forstwirtschaft
Vegetation:	Eichen-Buchen-Altholz
Höhenlage:	551 m ü. NHN
Lage:	9,000237 E 48,369583 N

Tab. 12: Bodenprofilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Steine [Vol.-%]	Gefüge-form	Humus	Durchwurzel-ungsintensität	Carbonat [%]	Ausgangs-gestein	Strati-grafie
PELOSOL-BRAUNERDE									
0–3	Ah	Lt3	0	kru	H6	wf5/wg2	c0	pf	qwdj
–32	Bv	Tu2	0	sub	h3	wf4/wg2	c0	pf	qwdj
–55	II Pv1	Tt	0	pol	h2	wf3/wg2	c0	pf	qpo
–65	II Pv2	Tu2	5	pol	h2	wf2/wg1	c0	pf	qpo
–80	III Pv-elCv	Tu2	5	pol	h2	wf2/wg1	c1	CmT	jmOPT
>80	III elCv	Tu2	5	koh	h2	wf2/wg1	c3	CmT	jmOPT

Humusform: Typischer F-Mull (MFT)
Deutsche Klassifikation: Pelosol-Braunerde aus solifluidalem Lehmton über solifluidalem Lehmton über schwach grusführendem Verwitterungsmaterial aus Tonmergelgestein aus dem Unteren Mittleren Jura
[DD-BB]: pfl-lt(co, Cmt-jmOPT)/pfl(z2)-lt(Cmt-jmOPT)/Cmt-jmOPT
WRB: Dystric Cambisol (clayic, geoabruptic, epiloamic, ochric, protovertic)

Tab. 13: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung (Bodenart nach KA6)

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0–3	5,83	2,53	3,91	10,1	18,6	15,9	43,0	44,6	12,28	Lt3
–32	3,22	2,32	4,76	8,9	17,6	17,6	45,4	44,1	10,30	Tu2
–55	0,66	0,63	1,96	4,3	9,7	11,4	71,2	25,4	3,25	Tt
–65	1,81	1,20	2,82	5,1	12,5	13,6	62,9	31,2	5,83	Tu2
–80	1,62	1,51	2,65	7,3	15,9	14,9	55,6	38,1	5,79	Tu2
>80	1,49	2,42	3,07	9,7	18,9	16,3	48,0	44,9	6,98	Tu2

Tab. 14: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	C_{org}	C_{anorg}	N_t	C/N
[cm]	[H_2O]	[$CaCl_2$]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]	
0–3	5,16	4,81	137,69	-	7,23	19,0
–32	4,71	3,85	16,75	-	1,33	12,6
–55	4,80	3,97	6,80	-	0,92	7,4
–65	5,10	4,09	5,61	-	0,85	6,6
–80	6,54	5,60	5,49	0,11	0,79	6,9
>80	8,22	7,48	5,48	10,09	0,77	7,1

Tab. 15: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–3	238	93,1	-	8,1	62,6	22,5	1,1	0,1	5,7	-
–32	58,8	25,7	-	2,1	14,3	9,4	2,3	67,1	0,9	3,9
–55	110,9	51	-	2,6	30,1	18,3	1,2	45,5	0,1	2,2
–65	111,2	64,2	-	2,5	41,6	20,2	1,1	32,3	0,1	2,3
–80	180	98,9	-	1,4	79,6	18,5	1,2	0,6	0,1	-
>80	152,6	99,1	-	1,5	76,6	21,1	0,8	-	0,1	-

3.4 Standort P4

Der Standort P4 liegt unmittelbar an der Abbruchkante der durch die Gesteine der Wohlgeschichteten Kalke-Formation (joW) gebildeten Schichtfläche. Die holozäne Bodenentwicklung am Exkursionspunkt ist durch die extreme Übersteilung des Geländes geprägt. Unter einem humosen Ah-Horizont schließt sich ein skelettreicher Übergangshorizont mit Terra fusca-Merkmalen an (II Tv-Ah). Dieser ist im Gelände jedoch nicht durchgängig ausgebildet. Im Liegenden sind die Spalten zwischen den Kalksteinbänken durch humoses, polyedrisch aggregiertes Tv-Material verfüllt (III Ah-Tv+cmCv). Die Zwischenräume sind intensiv und tiefreichend durchwurzelt. Die Wurzeln reichen bis in den darunterliegenden III cmCv-Horizont hinein. Bei der Probenahme wurde in den Klüften eine hohe Regenwurmdichte festgestellt. Die auf der angrenzenden Schichtfläche vorhandenen Haupt- und Basislagen fehlen erosionsbedingt am Profilstandort nahezu vollständig. Unmittelbar an der Abbruchkante der Schichtstufe hat sich auch keine flächendeckende Oberlage ausgebildet. Die für Hauptlagen charakteristische äolische Schluffkomponente ist im Ah-Horizont noch spürbar und der Lösungsrückstand im II Tv-Ah-Horizont entstammt vermutlich einer rudimentären Basislage, in der im Zuge der holozänen Bodenentwicklung eine weitere Anreicherung von Kalklösungsrückstand stattfand. Die Bodenausprägung wird als Terra fusca-Rendzina auf geringmächtigem Kalksteinschutt aus der Wohlgeschichteten Kalke-Formation angesprochen (Abb.12).

-



Abb. 12: Geringmächtig ausgeprägte Terra fusca-Rendzina über Kalksteinschutt der Wohlgeschichteten Kalke-Formation des Oberen Jura

Tab. 16: Standortbeschreibung Profil 4

Substrat:	Rest ehemaliger Haupt- und Basislage über Kalksteinschutt aus dem Oberen Jura (jo)
Relief:	sehr steil, Exposition: S
Landnutzung:	Forstwirtschaft
Vegetation:	Eichen-Buchen-Altholz
Höhenlage:	855 m ü. NHN
Lage:	9,045661 E 48,368745 N

Tab. 17: Bodenprofilbeschreibung und Bodenklassifikation P4

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Steine [Vol.-%]	Gefüge-form	Humus	Durchwurzel-ungsintensität	Carbonat [%]	Ausgangs-gestein	Strati-grafie
TERRA FUSCA-RENDZINA									
0–10	Ah	Tt	20	kru /pol	h6	wf6+wg5	c3	pf	qwdj
–20	II Tv-Ah	Tt	50	kru/pol	h6	wf4+wg3	c3	pf	qW
–60	III Ah-Tv+cmCv	Tt	85	kru/pol	h2	wf4+wg3	c4	Ck	jo
60+	III cmCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	Ck	jo

Humusform: Typischer F-Mull (MFT)
Deutsche Klassifikation: Terra fusca-Rendzina aus solifluidalem, schutt- und carbonatführendem Schluffton über solifluidalem, schuttführendem Carbonatlehmton über Kalksteinschutt des Oberen Jura
[CF-RR]: pfl-(zn3)-(c)lt(co, Ck-jo)\pfl-(zn)-clt(Ck-jo)\Ck-jo
WRB: Skeletic Rendzic Leptosol (clayic, humic)

Tab. 18: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung (Bodenart nach KA6)

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0–10	3,49	1,25	1,14	2,4	7,1	14,4	70,4	23,9	5,50	Tt
–20	4,18	1,40	2,11	1,4	3,4	7,8	80,8	12,6	6,86	Tt

Tab. 19: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	C_{org}	C_{anorg}	N_t	C/N
[cm]	[H_2O]	[$CaCl_2$]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]	
0–10	7,43	6,99	110,49	2,40	7,00	15,8
–20	7,64	7,11	76,56	5,25	5,41	14,15

Tab. 20: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–10	394,1	99,7	-	0,3	97,8	1,6	0,3	-	0,1	-
–20	674,4	99,5	-	0,4	97,8	1,3	0,3	0,1	0,1	-

6 Waldwachstumskundliche Untersuchungen an den Exkursionsstandorten

6.1 Untersuchungsflächen im Lehrwald der Hochschule (Standorte P1 und P2)

Seit 1997 werden im Lehrwald der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg waldwachstumskundliche Zuwachsuntersuchungen an den Baumarten Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb. Franco)) und Gemeiner Fichte (*Picea abies* (L.) H. KARST) an Standorten mit unterschiedlicher Wasserverfügbarkeit durchgeführt. Die Baumart Douglasie wurde gewählt, da ihr im Vergleich zur Gemeinen Fichte aber auch zu der in den natürlichen Waldgesellschaften in der submontanen Höhenstufe prägenden Baumart Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) eine höhere Klimastabilität zugesprochen wird (Stangler et al. 2016). Ziel der Untersuchungen ist es, das Wachstumsverhalten von Douglasien entlang eines standörtlichen Gradienten unterschiedlicher Wasserhaushaltsbedingungen aufzuzeigen und hierbei insbesondere das Reaktionsverhalten in Jahren mit extrem ausgeprägten Trockenperioden zu analysieren. Für die Erfassung der Trockenstressreaktion wurden Bohrkernanalysen und hochaufgelöste Dendrometermessungen durchgeführt. Die beiden Exkursionsstandorte P1 und P2 repräsentieren zwei von insgesamt sieben Untersuchungsstandorten im Lehrwald der Hochschule.

Extreme Trockenjahre im Zeitraum von 2000 bis 2020

Für die Detektion von Jahren mit extremer Trockenheit in den Vegetationszeiten von Mai bis August wurden die De Martonne-Indexwerte (de Martonne 1926) analysiert. Hierfür wurden die Messdaten der DWD-Klimastation Hechingen des Zeitraums von 2000 bis 2020 herangezogen. Die Berechnung der Indexwerte erfolgte nach der Formel DMI = P/(T+10), wobei P der Niederschlagsmenge (in mm) und T dem Temperaturwert (in °C) entsprechen. Daneben wurden für die Abgrenzung von Jahren mit extremer Trockenheit an den Untersuchungsstandorten die vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Halle (UFZ, 2021) modellierten Soil-Moisture-Indexwerte (SMI-Wert) betrachtet. Diese werden für den Oberboden bis 25 cm Bodentiefe sowie für den Gesamtboden bis 180 cm Bodentiefe in einer räumlichen Auflösung von 4 × 4km^2 auf Tagesbasis bereitgestellt. Die Herleitung der SMI-Werte basiert auf modellierten Bodenfeuchtewerten (Zink et al. 2016). Die auf Tagesbasis modellierten Daten werden in Bezug zu den langjährigen Erwartungswerten einer Referenzperiode gesetzt und in Dürreklassen eingeteilt. Ein SMI-Wert von 0,02 entspricht dabei dem 2%-Perzentil, was bedeutet, dass der modellierte Wert nur in 2% der Fälle der langjährigen Simulationsreihe unterschritten worden ist. Diese geringe Auftrittshäufigkeit in der betrachteten Referenzperiode wird im Dürremonitor als außergewöhnliche Dürre klassifiziert (extreme Dürre: SMI 0.02-0.05, schwere Dürre: SMI 0.05-0.1 moderate Dürre: SMI 0.1-0.2; ungewöhnliche Trockenheit: SMI 0.2-0.3).

Trockenjahre und Zuwachsverhalten im Zeitraum von 2000 bis 2020

Sowohl die berechneten DMI- wie auch die SMI-Werte weisen die Jahre 2003/2004 sowie das Jahr 2018 als extreme Trockenjahre aus (Abb. 13a).

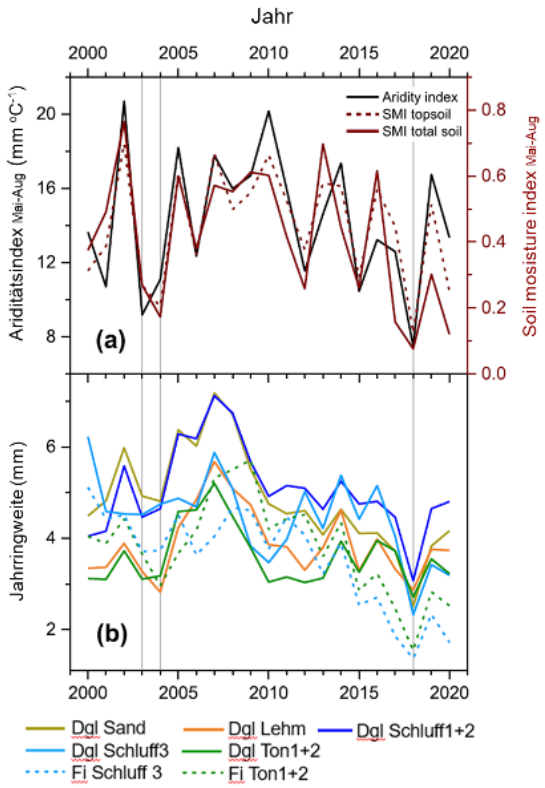


Abb. 13: a De Martonne Trockenheitsindex und Soil-Moisture Index (SMI) für die Untersuchungsregion Rammert berechnet für Mai bis August für die Jahre 2000 bis 2020. **b** Jahrringweiten für die Baumarten Douglasie (Dgl) und Fichte (Fi), klassifiziert nach der dominierenden Bodenart (verändert nach Spangenberg et al. 2024b). Die vertikalen Referenzlinien verdeutlichen die extremen Trockenjahre 2003, 2004, und 2018. Dgl Schluff3 und Dgl Ton1 repräsentieren die Profilstandorte P1 und P2.

In den Jahrringweiten sind in diesen Jahren deutliche Zuwachsdepressionen für die dargestellten Baumarten Fichte und Douglasie zu erkennen (Abb. 13b). Auffallend ist die nach 2003 folgende Erholungsphase in der Zuwachsbildung. Ab dem Jahr 2008 ging das Jahrringwachstum bei hoher Schwankungsbreite zurück und erreichte im Jahr 2018 ein Minimum. In diesem Jahr brach die Zuwachsbildung für beide Baumarten im Vergleich zur Trockenperiode 2003/2004 noch deutlicher ein. Auch auf den durch Schluff geprägten Standorten mit höherer nutzbarer Feldkapazität waren die pflanzenverfügbaren Wasservorräte in der Wachstumsphase offensichtlich so weit aufgebraucht, dass die Zuwachsbildung nur noch eingeschränkt möglich war.

Resilienz des Jahrringweitenzuwachses als Trockenstressindikator

In der Waldwachstumskunde werden die Indikatoren Resistenz, Erholung und Resilienz im Zuwachsverhalten für die Beschreibung der Reaktion von Bäumen auf die Trockenstresssituation herangezogen (Lloret et al. 2011). Für die Berechnung dieser Indikatoren sind Zeitreihen des jährlichen Jahrringweitenzuwachses erforderlich, die an Bohrkernen gewonnen werden können. Die Resilienz beschreibt das Verhältnis des Jahrringzuwachses einer der dem extremen Trockenjahr nachfolgenden Periode im Vergleich zum Zuwachsniveau einer vorauslaufenden Periode. Ein Resilienzwert von 1 bedeutet, dass sich die Zuwachsbildung in der dem Extremjahr nachfolgenden Periode wieder auf dem Niveau der vorauslaufenden Referenzperiode eingependelt hat, während Werte unter 1 eine dem Trockenjahr nachfolgende Zuwachsdepression indizieren. Für die extremen Trockenjahre 2003/2004 wurden für die Vorperiode das Zuwachsniveau der Jahre 2001/2002 verwendet, für die nachfolgende Zeitspanne das der Jahre 2005/2006. Für das Trockenjahr 2018 bildeten die Zuwachswerte aus den Jahren 2015/2016 bzw. 2019/2020 die Berechnungsgrundlage.

Abb. 14 zeigt die Unterschiedlichkeit der Ausprägung der Resilienzwerte für die betrachteten extremen Trockenjahre an den insgesamt sieben untersuchten Standorten im Rammert. Die als „Schluff3“ und „Ton1“ bezeichneten Standorte entsprechen den Exkursionsstandorten P1 bzw. P2. Die Mediane der Resilienzwerte lagen für die Trockenjahre 2003/2004 an allen untersuchten Standorten zwischen 1 und 1,5 (Abb. 14 links). Trotz des erkennbaren Rückgangs der Zuwachsbildung im Trockenjahr lag der Zuwachs des überwiegenden Teiles der untersuchten Bäume in der nachfolgenden Periode über dem des vorausgehenden Zeitraums. Im Gegensatz zu diesem Befund war im Nachgang zum Trockenjahr 2018 an den beiden Exkursionsstandorten P1 und P2 eine anhaltende Zuwachsdepression gegeben.

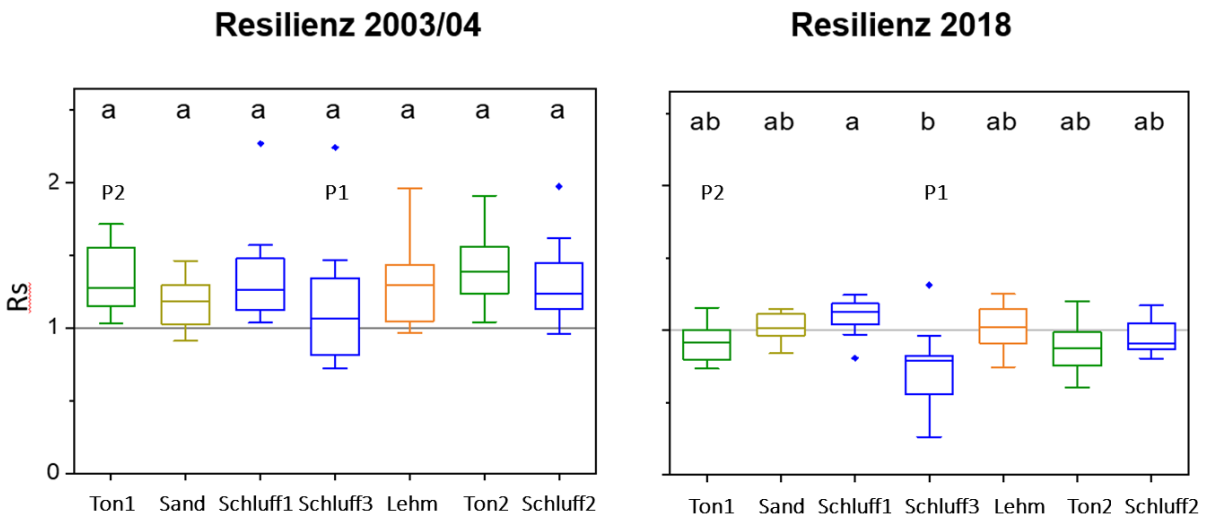


Abb. 14: Resilienz der Douglasie an den Standorten P1 („Schluff3“) und P2 („Ton1“) im Vergleich zu anderen Untersuchungsstandorten im Rammert (Resilienz = mittlerer Radialzuwachs nach Trockenheit / mittlerer Radialzuwachs vor Trockenheit, graue Linie: unveränderte Jahrringweite). Kleinbuchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Standorten hin ($p < 0,05$) (verändert nach Spangenberg et al. 2024b)

In einem linearen, gemischten Modell (LMM) zeigte sich für das Jahr 2018 ein positiver Einfluss der Durchwurzelungstiefe auf das Resilienzverhalten. Am Standort P1 wurde eine vergleichsweise geringe effektive Durchwurzelungstiefe festgestellt. Erstaunlicherweise wies das Modell einen negativen Einfluss einer höheren nutzbaren Feldkapazität auf (Spangenberg et al. 2024b).

Dendrometermessungen

Mittels zeitlich hoch aufgelöster, intraannueller Radialzuwachsmessungen lassen sich Zeiträume des Andauerns von Trockenstress und auch der Intensität der Trockenstressreaktion bestimmen. Hierfür werden Zeiträume ohne physiologisches Zuwachsverhalten und die in diesen Perioden auftretenden Tagesamplituden betrachtet (Zweifel et al. 2016). Hierfür wurden auf den Versuchsflächen im Lehrwald im Frühjahr 2017 Punktdendrometer an jeweils fünf vorherrschenden oder mitherrschenden Douglasien angebracht. Im darauffolgenden Jahr 2018 war es hierdurch möglich, das Reaktionsverhalten der Douglasien in diesem Trockenjahr zu beobachten. In Abb. 15 sind die Verläufe der mittleren Zuwachswerte für Douglasien an den beiden Exkursionsstandorten P1 und P2 für zwei Zeitfenster im Juni/Juli und im August/September dargestellt. Im ersten Zeitfenster (Abb. 15 oben) verlaufen die Kurven bis zum 13. Juni an beiden Standorten synchron ansteigend. Am tongeprägten Profilstandort 2 geht die Zuwachsbildung ab diesem Zeitpunkt zurück und weist ab dem 21. Juni einen abfallenden Verlauf auf. In dieser Zeitspanne war trockenheitsbedingt kein wachstumsbedingter Zuwachs gegeben. Nach den Niederschlagsereignissen um den 06. Juli zeigt die Zuwachskurve wieder einen ansteigenden Trend. Im August 2018 ist am tongeprägten Profilstandort 2 ein vergleichbarer Verlauf der Stammradiusentwicklung zu erkennen. Im Gegensatz zum tongeprägten Profilstandort P2 konnte am Profilstandort P1 in der dargestellten frühsommerlichen Austrocknungsphase ein anhaltender, nahezu linear verlaufender Jahrringweitenzuwachs aufrechterhalten werden. In der hochsommerlichen Trockenperiode im August lässt die Stammradiusänderung aber auch an diesem Standort eine allmähliche Ausschöpfung des Bodenwasserspeichers

vermuten (Abb. 15 unten). Die Verlaufskurve der Stammradiusänderung geht ab dem 23. August in einen horizontalen Verlauf über.

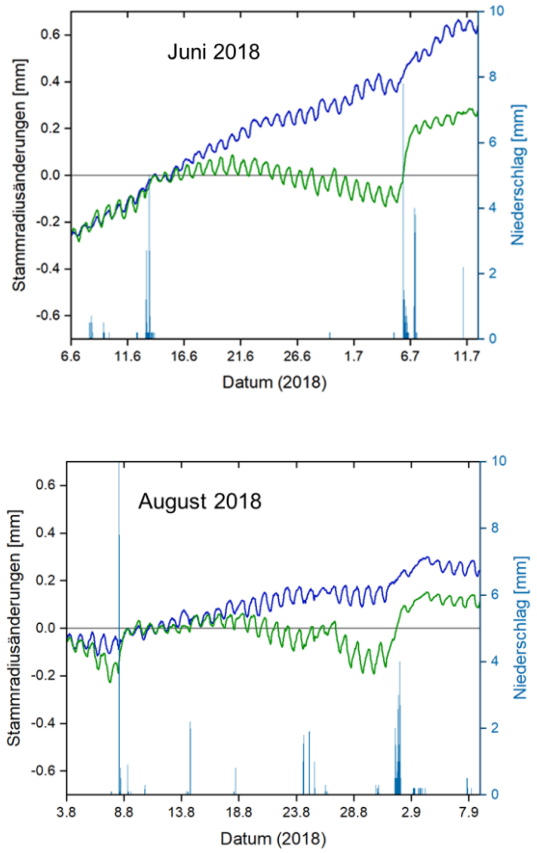


Abb. 15: Mittlere Stammradiusänderungen von Douglasien am Profilstandort P1 (blaue Linie) und P2 (grüne Linie) in ausgeprägten Sommertrockenperioden im Juni und August des Jahres 2018. Die Stammradiusänderung wurde beginnend mit dem jeweils ersten Trockentag auf 0 gesetzt (verändert nach Spangenberg et al. 2024a)

6.2 Untersuchungsflächen im Stadtwald Hechingen (Standorte P3 und P4)

Auch das von der Hochschule für Forstwirtschaft und dem Geographischen Institut der Universität Tübingen durchgeführte Projekt DryTrees beschäftigt sich mit der Klimastabilität zukünftiger Wälder. Während auf den Versuchsflächen im Lehrwald der Hochschule die Baumart Douglasie im Fokus steht, wird im DryTrees-Projekt die Zukunftsfähigkeit von Trauben- und Stieleiche (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. und *Quercus robur L.*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) mit dem Ziel untersucht, deren regionale Anbauwürdigkeit in den kommenden Jahrzehnten abzuleiten. Stiel- und Traubeneiche sowie die Rotbuche sind in den natürlichen Waldgesellschaften mit hohen Baumartenanteilen vertreten und es wird davon ausgegangen, dass deren Wachstumsdynamik und Vitalität durch den Klimawandel erheblich beeinflusst wird. An Standorten mit unterschiedlichem Bodenwasserhaushalt werden im Projekt seit 2024 hochaufgelöste Messungen des Stammradius und des Saftflusses durchgeführt (Abb. 16).



Abb. 16: Instrumentierte Rotbuche und Traubeneiche am Profilstandort P4 (Foto: S. Hein)

Durch die Verknüpfung von ökophysiologischer Sensorik (zeitlich hoch aufgelösten Stammzuwachsmessungen durch Punktdendrometer und Xylemflussmessungen nach Granier) mit geländeklimatologischen Messungen, Erhebungen zum Bodenwasserhaushalt und bildgebender Fernerkundung (durch hyperspektrale luftgestützten Bildaufnahmen und Zeitreihen von Satellitendaten) entlang eines Trockenheitsgradienten soll eine synoptische Analyse der witterungs- und bodenfeuchteabhängigen Trockenstressanfälligkeit der untersuchten Buchen und Eichen erfolgen.

Aus den dadurch gewonnenen Informationen sollen Rückschlüsse auf die Auswirkung extremer Trockenperioden und die Erholungsfähigkeit älterer Waldbestände dieser Baumarten in Abhängigkeit von Standortseigenschaften gezogen werden. Die Erkenntnisse werden genutzt, um das regionale Anbaurisiko von Rotbuchen, Trauben- und Stieleichen unter dem prognostizierten Klimawandel abzuschätzen. Im Rahmen der Exkursion werden zwei der drei Untersuchungsflächen des DryTrees-Projektes besucht (P3 und P4).

Erste Auswertungen der Dendrometermessungen für das Jahr 2024 zeigen für die untersuchten Eichen einen unerwarteten Befund (Abb. 17). Während am Exkursionsstandort P3 die mittleren Zuwachswerte der instrumentierten Rotbuchen im Vergleich zu den Stieleichen einen vergleichbaren Verlauf auf einem geringfügig niedrigeren Zuwachsniveau zeigen, ist für Exkursionsstandort P4 eine deutliche Diskrepanz in der Zuwachsbildung zwischen den beiden Baumarten Rotbuche und Traubeneiche zu erkennen. Der mittlere Radialzuwachs der untersuchten Eichen zeigte an diesem exponierten Standort einen negativen Verlauf, wohingegen die Buchen erstaunlicherweise das Niveau der Versuchsfläche am Exkursionsstandort P2 erreichten.

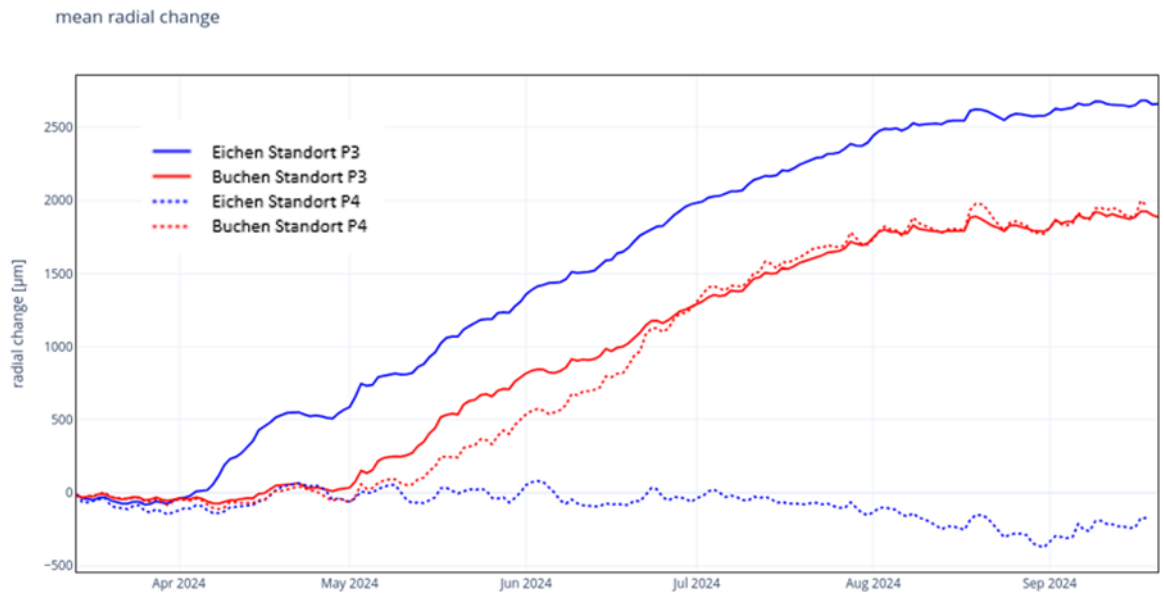


Abb. 17: Durchschnittliche Stammradiusänderung der Buchen und Eichen an den Standorten P3 und P4

Nach Zweifel et al. (2016) kann auch in Zeitperioden mit trockenstressbedingtem Stammradiusrückgang eine geringe Zuwachsbildung eintreten. Für die untersuchten Traubeneichen am Standort P4 bedarf der über die gesamte Vegetationsperiode beobachtete negative Verlauf weiterer Untersuchung. Da diese auf den Versuchsflächen im Stadtwald Hechingen erst im Jahr 2024 begonnen wurden, können im Rahmen der Exkursion noch keine abschließenden Ergebnisse vorgestellt werden.

7. Methoden

Die Bodenansprache wurde gemäß AG Boden (2024) durchgeführt.

Die chemischen Analysen wurden nach dem Handbuch forstliche Analytik (Gutachterausschuss Forstliche Analytik 2022) durchgeführt.

Literatur

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung: In zwei Bänden. 6. komplett überarbeitete Auflage: Stuttgart. in Kommission bei der E. Schweizerbart'schen Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

DWD (2024): CDC-Climate Data Center, https://cdc.dwd.de/portal/. Abruf: 10.09.2024.

Kösel, M., Fleck, W. (2017): Periglaziäre Lagen – Ansprache und Gliederung in der Feldbodenkundlichen Praxis und ihre Bedeutung für die Bodenbildung: Beispiele aus Teilgebieten der Südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft von Baden-Württemberg. In: LGRB-Fachbericht 2017/1.

Lloret, F., Keeling, E. G., Sala, A. (2011): Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. Oikos 120 (12): 1909–1920.

de Martonne, E. (1926): L'indice d'aridité. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 3 (9): 3–5.

Semmel, A., Terhorst, B. (2010): The concept of the Pleistocene periglacial cover beds in central Europe: A review. Quaternary International 222 (1–2): 120–128.

Spangenberg, G., Zimmermann, R., Küppers, M., Hein, S. (2024a): High-resolution dendrometer measurements reveal different responses of Douglas-fir to extreme drought in 2018 depending on soil and rooting characteristics. Frontiers in Plant Science 15: 1485440.

Spangenberg, G., Zimmermann, R., Küppers, M., Schäffer, J., Hein, S. (2024b): Interannual radial growth response of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) to severe droughts: an analysis along a gradient of soil properties and rooting characteristics. Annals of Forest Science 81 (1): 23.

Stangler, D. F., Miller, T. W., Honer, H., Larysch, E., Puhlmann, H., Seifert, T., Kahle, H.-P. (2022): Multivariate drought stress response of Norway spruce, silver fir and Douglas fir along elevational gradients in Southwestern Germany. Frontiers in Ecology and Evolution 10: 1–15

UFZ (2011): Dürremonitor. SMI-Rasterdaten. https:// www. ufz. de/ index. php?en= 37937. Abruf: 21 Oktober 2023

Zink, M., Samaniego, L., Kumar, R., Thober, S., Mai, J., Schäfer, D., Marx, A. (2016): The German drought monitor. Environmental Research Letters 11 (7): 74002.

Zweifel, R., Haeni, M., Buchmann, N., Eugster, W. (2016): Are trees able to grow in periods of stem shrinkage? New Phytologist 211 (3): 839–849.

E09: Wie ist die Lage…? – Böden des Schönbuchs unter besonderer Berücksichtigung von Bodenausgangsgestein und Lagengliederung

Wolfgang Fleck[1], Jessica Henkner-Sennock[2], Philipp Haas[2]

[1]Freiburg (ehemals Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 [LGRB])

[2]Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 (LGRB)

1 Einleitung

Wie ist die Lage? …oder wie kann man periglaziäre Lagen im Gelände erkennen und einordnen? Warum sind die Lagen für die Entwicklung und Eigenschaften der Böden so wichtig? Drei Fragen, die bei der Exkursion in den Schönbuch beantwortet werden sollen.

Bei der Vorstellung der Exkursionsprofile stehen die Ausgangsgesteine und die Gliederung in periglaziäre Lagen im Vordergrund. Die Merkmale der Lagen, an denen sich die geologische Schichtung, die periglaziäre Genese und die Zuordnung nach der Lagengliederung festmachen lässt, werden an den Exkursionsprofilen zur Diskussion gestellt. Dabei stehen neben eindeutigen Merkmalen auch solche im Fokus, die durch die Bodenbildung verändert werden. Insofern kommen die bodenbildenden Prozesse mit zugehöriger Horizontabfolge und bodensystematischer Einstufung nicht zu kurz. Die Beschreibungen der Exkursionsprofile erfolgen konsequent nach KA6 (AG Boden 2024).

Die sechs Exkursionsprofile liegen im Bereich des Steingarts, einem Bergrücken im Zentrum des Schönbuchs, und repräsentieren Standorte mit unterschiedlicher Geologie sowohl in flacher Plateaulage als auch an den Hängen mit wechselnder Neigung und Exposition (Abb. 1). Ausgangspunkt der Exkursion ist die Königliche Jagdhütte am südwestlichen Plateaurand des Steingarts, von welcher aus die Profile 1 bis 3 nach einer Einführung aufgesucht werden. Nach der Mittagspause an der Jagdhütte (Lunchpaket) werden die Profile 4 bis 6 an den Hängen im nördlichen Teil des Steingarts angefahren. Profile 4 und 6 liegen im Steilhang, weshalb der Zugang eine gewisse Trittsicherheit voraussetzt.

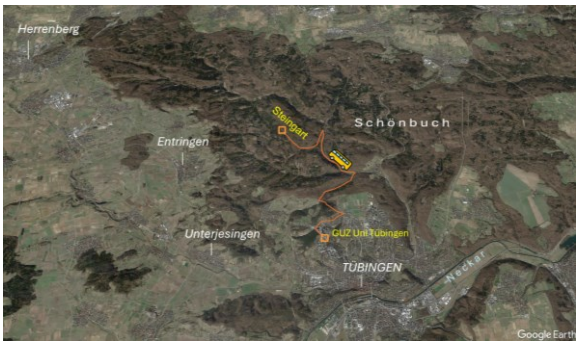


Abb. 1: Fahrtroute vom GUZ der Universität Tübingen zum Steingart (Luftbild GoogleEarth, abgerufen am 13.01.2025)

2 Bodenausgangsgesteine, periglaziäre Lagen und Bodenbildung

Bei der Bodenbeschreibung unterscheidet die Bodenkundliche Kartieranleitung zwischen den Bodenausgangsgesteinen und den periglaziären Lagen. Die beiden zugehörigen Kapitel, einschließlich der Schlüssellisten, wurden in der KA6 überarbeitet und inhaltlich ergänzt (vgl. AG Boden 2024, S. 274 ff.).

2.1 Bodenausgangsgestein

Das Bodenausgangsgestein ist nach KA6 „(…) das Material, das nach Abschluss des letzten geogenetischen Prozesses vorliegt“ (AG Boden 2024, S. 287). Damit ist der Zustand des Ausgangsgesteins vor der holozänen, teilweise schon spätglazialen Bodenbildung maßgebend. Das Bodenausgangsgestein unterscheidet sich somit grundsätzlich vom Substrat, das den aktuellen Zustand der Festsubstanz des Bodens beschreibt und die Veränderungen durch die Bodenbildung einbezieht.

2.2 Periglaziäre Lagen

In Mitteleuropa besteht der oberflächennahe Untergrund überwiegend aus periglaziären Deckschichten, die v. a. während der letzten Kaltzeit im sommerlichen Auftaubereich des Dauerfrostbodens durch Solifluktion, in ebenem Relief auch durch Solimixtion, entstanden sind. Je nach der Beschaffenheit der Gesteine im Liegenden, der oberhalb am Hang anstehenden Gesteine und der Beteiligung einer äolischen Komponente sind die Deckschichten sehr verschieden aufgebaut. Das Bodenausgangsgestein bringt die petrographischen Unterschiede an einem Standort deutlich zum Ausdruck, kann aber den landschaftlichen Zusammenhang der Deckschichtenverbreitung nur unzureichend abbilden. Hier setzt das Lagenmodell an. Im Gegensatz zur petrogenetischen Kennzeichnung des Bodenausgangsgesteins am Punkt verfolgt die Lagengliederung einen räumlichen Ansatz mit starker Berücksichtigung des äolischen Anteils. Die Ansprache der Lagen schafft die Verbindung von den Punktdaten zur Flächenbeschreibung und ist für das Verständnis der Bodenverbreitung und der Bodengenese, insbesondere für die Bodenkartierung, von zentraler Bedeutung.

Als grundlegende Veröffentlichungen zu den periglaziären Lagen gelten u. a. die Arbeiten von Schilling & Wiefel (1962) im östlichen Harz, in Thüringen sowie im ostdeutschen Moränengebiet. Die heutige Lagengliederung der KA6 orientiert sich im Wesentlichen an den Arbeiten von Semmel (1968) in Hessen. Altermann et al. (2008) geben eine Gegenüberstellung verschiedener Gliederungssysteme. Eine zusammenfassende Darstellung der Forschungsgeschichte zu den periglaziären Lagen findet sich in Kleber und Terhorst (2013).

Die KA6 unterteilt die periglaziären Lagen in Ober-, Haupt-, Mittel- und Basislage und beschreibt periglaziäre Lagen als eigenständige Sedimentkörper (Schichten), die in Mitteleuropa durch kaltzeitlich wirksame solifluidale Prozesse entstanden sind. Bei den diagnostischen Merkmalen der Lagen wird zwischen generellen und relativen Merkmalen unterschieden. Generelle Merkmale treffen auf alle Lagenglieder zu und kennzeichnen einzelne Lagen ohne Vergleich mit den anderen Lagen im jeweiligen Profil. Folgende Eigenschaften zählen zu den generellen Lagenmerkmalen (die Kennzeichnung mit Ziffern bezieht sich auf die Beschreibung der Exkursionsprofile in Kapitel 4):

- weitgehend einheitliche Struktur innerhalb der Lage (1)
- heterogene Materialzusammensetzung (2)
- Einregelung von Grobbodenpartikeln (3)
- unregelmäßige Verteilung von Fein- und Grobboden, ohne scharfe Übergänge innerhalb einer Lage; beim Grobbodenanteil oft Tendenz zu Gradierung und Frostsortierung (4), (Abb. 2)

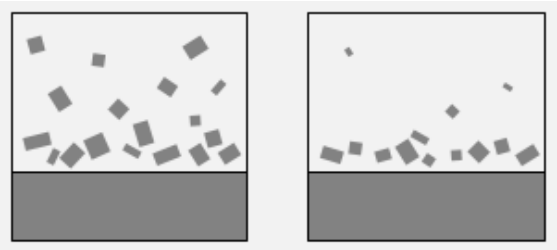


Abb. 2: Gradierung des Grobbodens in einer periglaziären Lage; links: Grobboden über gesamte Deckschicht verteilt mit Anreicherung im unteren Bereich; rechts: starke Anreicherung im unteren Bereich, darüber vereinzelt Grobboden geringer Größe (Abb. W. Fleck)

Dagegen nehmen die relativen Merkmale stets Bezug zu liegenden oder hangenden Lagen sowie dem Untergrund. Die KA6 führt folgende relative Merkmale auf:

- Farbe (5)
- Gefüge (6)
- Verfestigungsgrad oder Packungsdichte (7)
- Durchwurzelungsintensität (8)
- Korngrößenspektrum (9)
- Fein- und Grobbodengehalt (10)
- Form-, Rundungs- und Verwitterungsgrad des Grobbodens (11)
- Grobbodenanbindung (12)
- äolischer Anteil (13)
- Geogenese (14)

Dabei müssen die genannten Merkmale zur Identifizierung einer Lage nicht vollständig vorhanden sein. Die meisten relativen Merkmale werden durch die Bodenbildung verändert und müssen deshalb mit Vorsicht interpretiert werden. Dagegen sind die Merkmale in Verbindung mit dem Grobboden meist eindeutig, da sie sich durch die Bodenbildung, mit Ausnahme von löslichen und leicht verwitterbaren Festgesteinen, nur wenig verändern und im Gelände gut zu erkennen sind. Für ihre Beurteilung ist allerdings ein Bodenaufschluss Voraussetzung.

2.3 Bodenbildung in mehrschichtigen Profilen

In geschichteten Profilen zeichnet die Bodenbildung häufig die Schichtung nach, d. h. Horizontgrenzen entwickeln sich an den Schichtgrenzen. Ursache sind die Unterschiede in den stofflichen und physikalischen Eigenschaften der einzelnen Schichten, v. a. in der Bodenart und der Lagerungsdichte. Besonders deutlich wird dies bei den im Schönbuch weit verbreiteten Böden aus sandig-lehmiger bis schluffiger Hauptlage über (sandig-) toniger Basislage. In wasserzügigen Hängen entwickeln sich Pelosol-Braunerden, die im flacheren Relief aufgrund der dichten, tonreichen Basislage Pseudovergleyung aufweisen.

In Reliefpositionen mit verstärkter äolischer Sedimentation schaltet sich unter der Hauptlage häufig eine lösshaltige Mittellage ein. Als Böden haben sich daraus zweischichtige Parabraunerden mit Tonverlagerung von der Hauptlage (Ah- und El-Horizont) in die Mittellage (Kt-Horizont) entwickelt. Im Vergleich zu Parabraunerden aus Löss sind die Mittellagen durch ihre solifluidale Genese dichter gelagert und neigen zu Staunässe.

Im südwestdeutschen Schichtstufenland sind diese geschichteten, tongründigen Böden auf den Ton- und Mergelgesteinen des Keupers sowie des Unter- und Mitteljuras weit verbreitet. Aber auch auf den Karbonatgesteinen des Oberjuras und Muschelkalks sind ähnliche Bodenmuster zu finden, wobei die Basislage aus Residualton der Kalksteinverwitterung besteht.

3 Exkursionsgebiet

3.1 Geologie und Geomorphologie

Der Schönbuch liegt nördlich von Tübingen, mitten in der süddeutschen Schichtstufenlandschaft. Er ist Teil des Naturraumes 104 „Schönbuch und Glemswald“ und gehört der Großlandschaft 10 „Schwäbisches Keuper-Lias-Land“ an. Die geologische Schichtfolge reicht im Schönbuch von der Gips- und Anhydrit führenden Grabfeld-Formation (kmGr, Gipskeuper) im unteren Mittelkeuper über eine bunte Wechselfolge von terrestrischen Sand- und Tonsteinen bis zu den marinen Ablagerungen des Unterjuras (Abb. 3). Die Gesamtmächtigkeit des Schichtpakets beträgt rund 230–240 m.

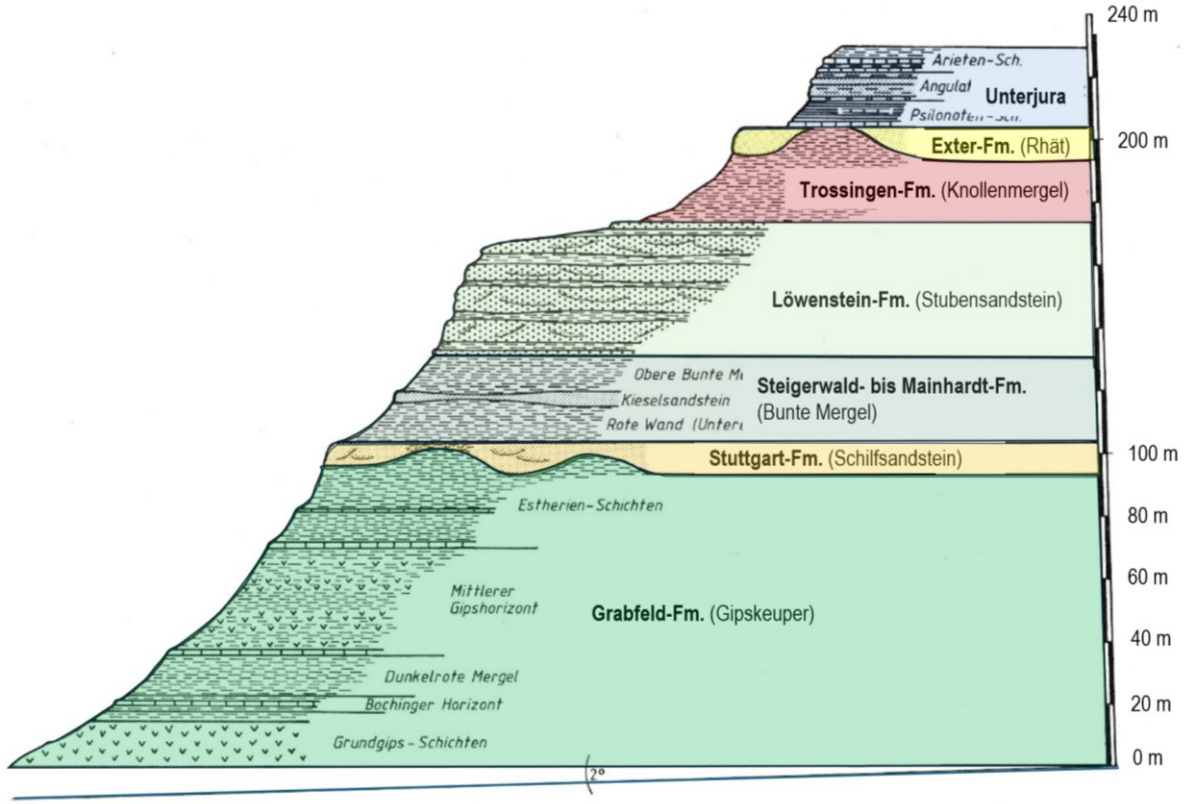
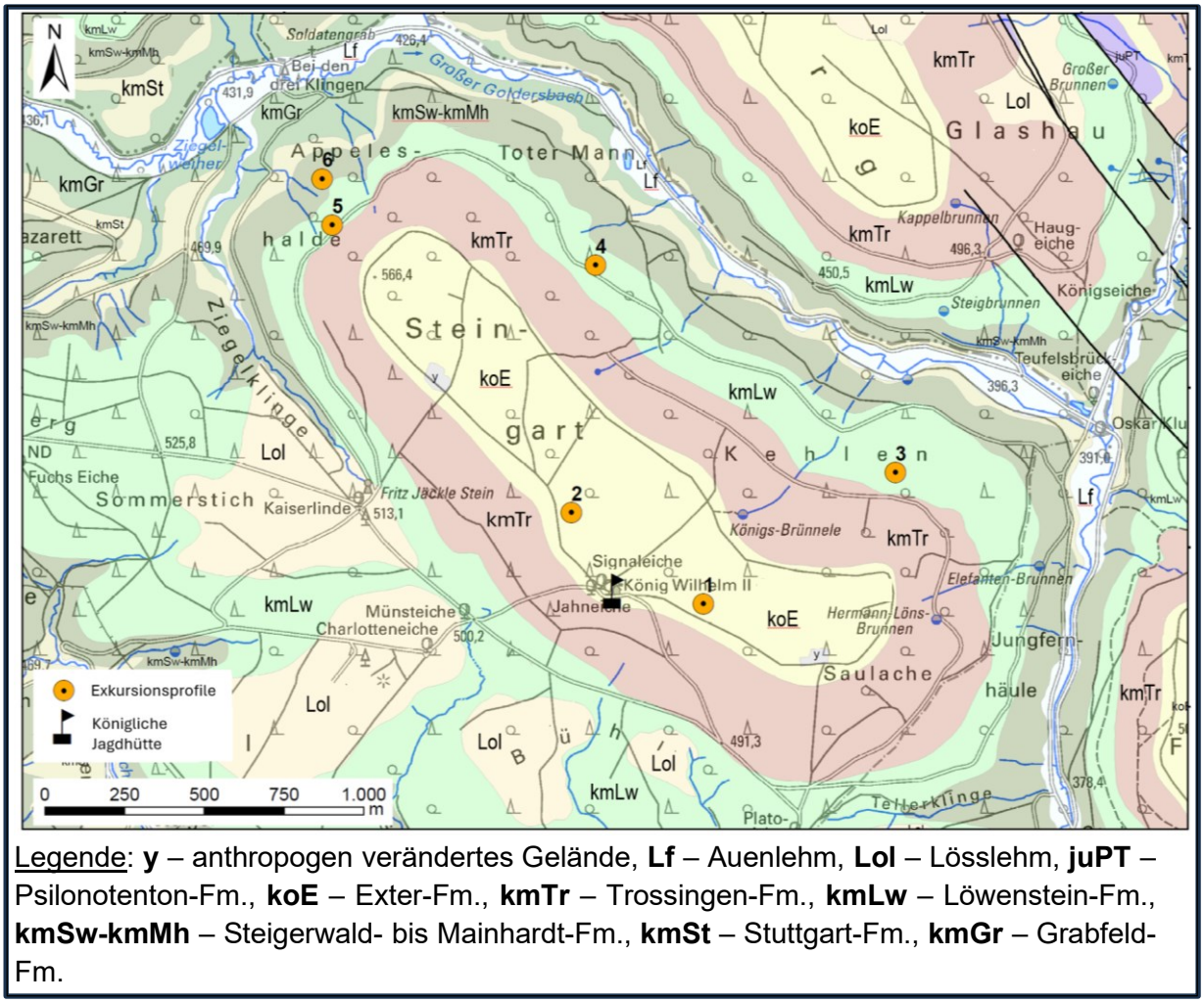


Abb. 3: Geologische Schichtfolge im Schönbuch (Einsele und Agster 1986, verändert); Schichteinfallen 2° nach Südost

Allein die Grabfeld-Formation ist annähernd 100 m mächtig. Die im Hangenden folgende Stuttgart-Formation (kmSt, Schilfsandstein) besteht aus einem feinkörnigen, tonigen Sandstein. Er ist im Schönbuch nur wenige Meter mächtig und bildet in den meist steilen Talhängen häufig Verflachungen. Die Steigerwald- bis Mainhardt-Formation (kmSw-kmMh, Bunte Mergel) ist bei einer Mächtigkeit von 25–30 m wieder vorwiegend aus Ton- und Mergelsteinen aufgebaut, in die sich dünne Sandstein- und dolomitische Kalkbänke, sogenannte Steinmergel, einschalten. Darüber besteht die ca. 35–50 m mächtige Löwenstein-Formation (kmLw, Stubensandstein) aus einer Wechselfolge von mittel- bis grobkörnigen, meist dickbankigen Sandsteinen und rötlichen, grauen, teilweise grünlichen Ton- und Mergelsteinen (Abb. 5). Die weißlichen, linsenartigen Sandsteinkörper bilden im westlichen Schönbuch eine ausgedehnte Schichtfläche, in die sich der Goldersbach und seine Zuflüsse tief eingeschnitten haben. Die Plateaufläche liegt meist in

530–550 m ü. NHN und erhebt sich als deutliche Schichtstufe ca. 100–150 m über die Gäulandschaft im Westen.

Auf die Löwenstein-Formation folgt im zentralen Teil des Schönbuchs die 25–30 m mächtige Trossingen-Formation (kmTr, Knollenmergel) aus ungeschichteten Ton- und Tonmergelsteinen, die im Hangenden von den feinkörnigen, kieseligen Sandsteinen der Exter-Formation (koS, Rhät) oder dem Unterjura aus Schiefertonen mit Kalk- und Sandsteinhorizonten überdeckt werden. Trotz der geringen Mächtigkeit von maximal 10 m bildet der plattig bis grobbankig ausgebildete Rhätsandstein (Abb. 6) aufgrund seiner Härte eine markante Schichtstufe aus. Die Hochflächen des Brombergs (583 m) und Steingarts (566 m) werden vom Rhätsandstein eingenommen und nach Nordosten entlang NW-SO-streichender Verwerfungen vom Unterjura abgelöst (Abb. 4).



Legende: **y** – anthropogen verändertes Gelände, **Lf** – Auenlehm, **Lol** – Lösslehm, **juPT** – Psilonotenton-Fm., **koE** – Exter-Fm., **kmTr** – Trossingen-Fm., **kmLw** – Löwenstein-Fm., **kmSw-kmMh** – Steigerwald- bis Mainhardt-Fm., **kmSt** – Stuttgart-Fm., **kmGr** – Grabfeld-Fm.

Abb. 4: Geologische Karte des Exkursionsgebiets; Grundlage: Geologische Karte 1 : 50 000, GK50 (Regierungspräsidium Freiburg 2015), Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19

Das annähernd rechteckige Plateau des Steingarts erstreckt sich mit seiner Längsachse rund zwei Kilometer in NW-SO-Richtung (Abb. 7). Die Geländehöhe nimmt dabei von 566 auf 530 m ü. NHN ab und folgt weitgehend dem Schichteinfallen von 1,5% nach Südosten. Die Breite des Plateaus schwankt zwischen 280 und 450 m. Im Nordwesten, Nord- und Südosten wird der Steingart vom Goldersbachtal begrenzt. Der Goldersbach hat sich 130–150 m in das Schichtpaket des Mittelkeupers eingetieft. Je nach Beschaffenheit der anstehenden Keupergesteine sind die Hänge unterhalb der Plateaukante unterschiedlich stark geneigt. Im Knollenmergel (Trossingen-Fm.) herrschen, unabhängig von der Exposition, mittlere Hangneigungen von 10–18% vor, die hangabwärts im Stubensandstein (Löwenstein-Fm.) und den Bunten Mergeln (Steigerwald- bis Mainhardt-Fm.) häufig in Steilhänge mit Neigungen von mehr als 40% und kerbförmige Hangtälchen übergehen. Im Niveau des Schilf- und Stubensandsteins können sich Hangverflachungen einschalten. Die Hänge im Südwesten des Steingarts haben Anschluss an die Schichtstufe des Stubensandsteins und reichen auf eine Geländehöhe von rund 500 m ü. NHN.



Abb. 5: Aufschluss in der Löwenstein-Formation (Stubensandstein) am Südrand des Schönbuchs bei Herrenberg-Kayh (Foto: W. Fleck)



Abb. 6: Gebankter Sandstein der Exter-Formation (Oberkeuper, Rhät) in einem aufgelassenen Steinbruch auf dem Steingart (Foto: W. Fleck)

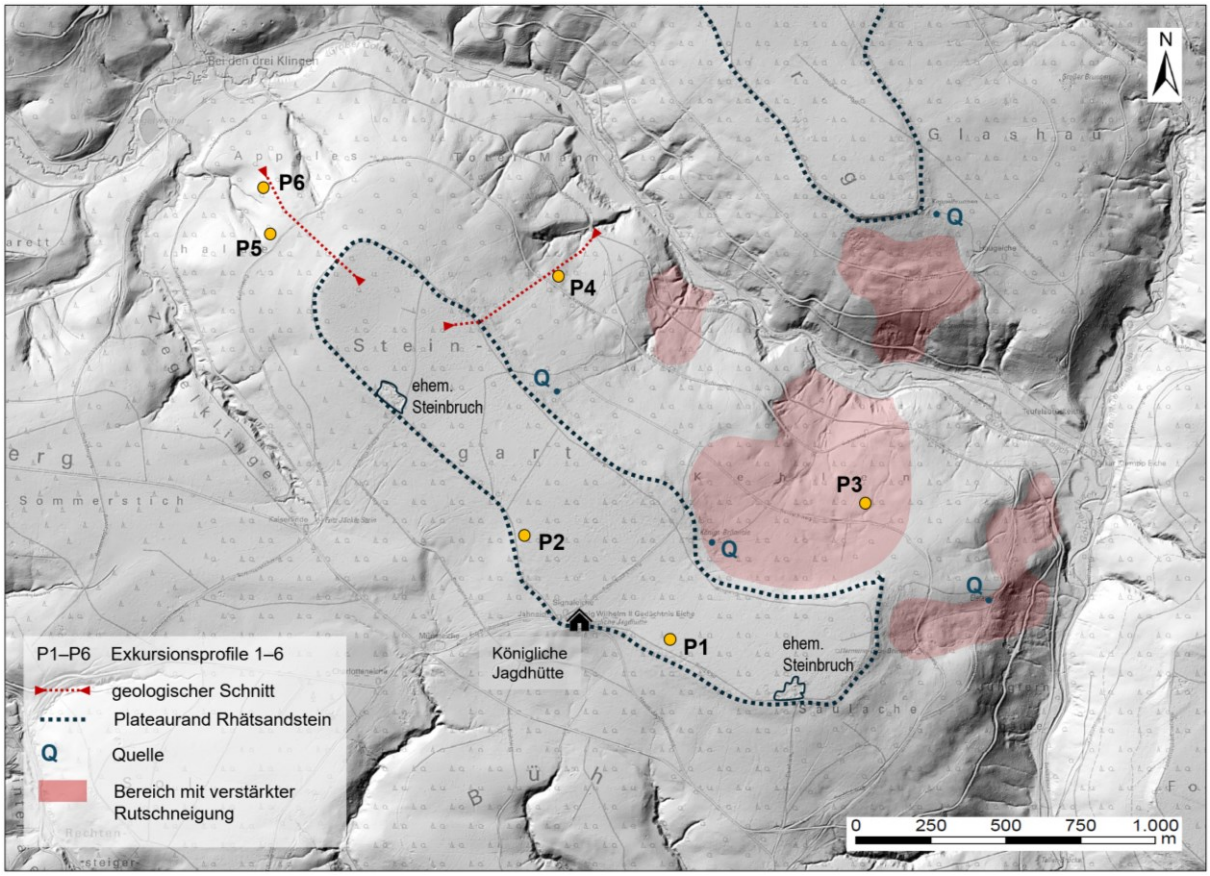


Abb. 7: Relief im Bereich des Steingarts mit geomorphologischen Elementen, Quellen sowie Lage der Exkursionsprofile und geologischen Schnitten; Topographische Grundlage und digitales Geländemodell: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19

Bei Wasseraufnahme verwandeln sich die Ton- und Tonmergelsteine des Knollenmergels in hochplastische Tone mit ausgeprägtem Quellungs- und Schrumpfungsverhalten. Die Hänge im Knollenmergel neigen deshalb häufig zu Rutschungen und gelten als schwieriger Baugrund. Im hochauflösenden Geländemodell (1 m-DGM) sind am Nordost- und Südosthang des Steingarts unterhalb von Quellaustritten an der Schichtgrenze Rhätsandstein/ Knollenmergel flache Hangmulden mit unruhiger Geländeoberfläche zu erkennen, die auf solche Massenbewegungen schließen lassen (Abb. 7). Die zusätzliche Durchfeuchtung der Hänge durch das austretende Grundwasser dürfte hierbei eine Rolle spielen. Die plastischen Tone des Knollenmergels mit hohen Anteilen von quellfähigen Smectiten und Vermiculiten sorgen nicht nur für instabile Hänge, sondern haben vermutlich auch die kaltzeitliche Solifluktion mit Bildung von Fließerden begünstigt. So finden sich auf dem Nordosthang des Steingarts immer wieder Bereiche mit Sandsteinblöcken des Rhäts an der Geländeoberfläche, die sich im sommerlichen Auftaubereich des Dauerfrostbodens weit hangabwärts bewegt und stellenweise blockschuttartig angereichert haben.

3.2 Klima

Der Schönbuch liegt im gemäßigtem Klimabereich, im Übergangsbereich zwischen westeuropäischen, ozeanischen Klimaverhältnissen und dem osteuropäischen Kontinentalklima. Die in Abb. 8 dargestellten langjährigen Monatsmittel von Niederschlag und Temperatur wurden für den Schönbuch von Roos (2021) aus

den Messwerten der Klimastationen Weil im Schönbuch, Bebenhausen und Herrenberg abgeleitet (Jahre 1991–2020). Die Jahressummen des Niederschlags liegen in den Plateaulagen des westlichen Schönbuchs bei 800–860 mm und in den Tälern etwas unter 800 mm. Für die Hochlagen des Steingarts werden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) für die gleiche Zeitspanne Jahresmittel von 814–855 mm und an den Hängen 763–772 mm angegeben. Der Niederschlag zeigt ein deutliches Maximum von Mai bis August mit monatlichen Niederschlagshöhen von 80–100 mm. Von Januar bis April sowie September bis Dezember schwanken die Monatsmittel um 50–60 mm. Im Vergleich zum tiefer liegenden Umland sind die Niederschläge im Schönbuch etwas höher. So werden z. B. in Herrenberg (400 m ü. NHN) Jahresmittel von 720 mm gemessen.

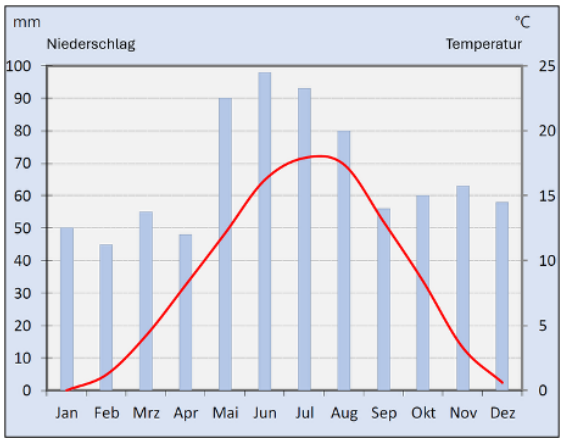


Abb. 8: Klimadiagramm Schönbuch mit langjährigen Monatsmitteln von Niederschlag (Säulen) und Temperatur (rote Linie) 1991–2020; extrapoliert nach Stationen Weil im Schönbuch, Bebenhausen und Herrenberg (Roos 2021)

Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt in Hochlagen wie dem Steingart um 9 °C und steigt in den Tälern auf Werte von 9,3–9,5 °C an. Die sommerlichen Maxima werden mit 16–18 °C in den Monaten Juni, Juli und August erreicht. In den Wintermonaten Dezember und Januar liegen die Monatsmittel nahe dem Gefrierpunkt.

3.3 Nutzung und Vegetation

Neben der forstwirtschaftlichen Nutzung des Schönbuchs ist das große geschlossene Waldgebiet besonders als Naherholungsgebiet von Bedeutung. Der Naturpark Schönbuch wurde bereits 1972 gegründet und ist damit der älteste Naturpark Baden-Württembergs. Nadelwald mit vorwiegend Fichte und Kiefer sowie Laubwald v. a. mit Buche und Eiche besitzen etwa den gleichen Flächenanteil. Ursprünglich war der Schönbuch ein reiner Laubwald. Die natürliche Regionalwaldgesellschaft ist ein submontaner Buchen-Eichen-Wald.

Der Wald wurde früher vielseitig genutzt und war lange Zeit die wichtigste Rohstoffressource für die Bevölkerung (Regnath 2024). Holz war nicht nur Energiequelle, sondern diente auch als Bauholz und Werkstoff für die verschiedensten Gebrauchsgegenstände. Der Wald lieferte zudem Tierfutter und Dünger für die Landwirtschaft.

Neben dem hohen Wildbestand im hoheitlichen Jagdgebiet des Schönbuchs hatten der zu hohe Holzeinschlag, die über Jahrhunderte ausgeübte Waldweide und die intensive Streunutzung negative Auswirkungen auf den Wald. Mit dem Aufkommen der planmäßigen Forstwirtschaft Anfang des 19. Jahrhunderts stellte sich eine langsame Erholung des Waldes ein. Der Nadelwaldanteil wurde deutlich erhöht sowie Waldweide und Streunutzung zurückgedrängt. Bei der Nutzung des Waldes stand nun die Holzproduktion im Vordergrund (Arnold 1986).

Darüber hinaus wurde Sandstein in zahlreichen kleineren Steinbrüchen, v. a. Stubensandstein, untergeordnet auch

Schilf- und Rhätsandstein, als Baumaterial gewonnen. Viele Bauwerke in den historischen Ortskernen zeugen von der früheren Bedeutung dieser wichtigen lokalen Ressource. Zudem wurde im Stubensandstein sandiges Verwitterungsmaterial in Oberflächennähe abgegraben. Die Bezeichnung Stubensandstein geht auf die Verwendung des Sandes zum Scheuern der Holzfußböden zurück.

Der zentrale Teil des Schönbuchs ist im Besitz des Landes Baden-Württemberg und wird von einem umzäunten Rotwildgehege eingenommen. Die hoheitliche Jagd hatte hier eine lange Tradition. In den Randlagen des Schönbuchs gehören die Wälder überwiegend den Anliegergemeinden.

3.4 Periglaziäre Lagen und Bodenausgangsgesteine

Eine systematische Untersuchung der periglaziären Lagen im Schönbuch erfolgte erstmals durch Bibus (1986). Er konnte die weiträumige Verbreitung mehrgliedriger Schuttdecken bestätigen, wie sie auch aus anderen Landschaften in Deutschland beschrieben wurde (z. B. Rohdenburg 1968, Semmel 1968). Insbesondere konnte Bibus das Vorhandensein von vulkanischen Schwermineralen der alleröd-zeitlichen Laacher-See-Tephra im fast flächendeckend verbreiteten Deckschutt (entspricht nach KA6 der heutigen Hauptlage) nachweisen. Dagegen tritt der lösshaltige Mittelschutt (Mittellage) nur stellenweise, wie z. B. auf der Plateauverebnung des Steingarts, auf. Der Basisschutt (Basislage) ist wiederum großflächig mit unterschiedlicher Mächtigkeit und wechselnder Zusammensetzung verbreitet.

Das Vorkommen der periglaziären Lagen lässt sich am Steingart in drei morphologische Einheiten mit ähnlichem Verbreitungsmuster gliedern. Auf der Hochfläche des Steingarts dominieren Profile aus einer 3–5 dm mächtigen, feinsandig-schluffigen Hauptlage mit hohem Grobbodenanteil, die den wenig verwitterten Rhätsandstein überlagert. Eine Verwitterungs- oder Zerfallszone im anstehenden Sandstein, wie man sie häufig bei vergleichbaren Böden im Stubensandstein oder Schilfsandstein findet, ist nur ansatzweise vorhanden. Die Bodenbildung greift entlang von Schichtflächen und Klüften nur wenige Dezimeter in den Sandstein ein. Der äolische Anteil ist an den exponierten Plateaurändern und auf flachen Erhebungen sehr gering und nimmt in den geschützteren Flachlagen, in Richtung des Plateauzentrums, deutlich zu. Teilweise schaltet sich eine geringmächtige, Grus und Steine führende Mittellage zwischen Hauptlage und anstehendem Rhätsandstein ein. Die 3–5 dm mächtige Hauptlage ist über der Mittellage nochmals lössreicher mit Schluffgehalten von häufig 50–70%. Zum Vergleich besitzt Exkursionsprofil 2 (P2) rund 34% Schluff und 54% Sand in der Hauptlage, Exkursionsprofil 1 (P1) in exponierter Reliefposition dagegen nur um 20% Schluff und 72% Sand. Die Sandfraktion besitzt dabei immer einen hohen Anteil an Feinsand aus der Verwitterung des Rhätsandsteins.

Auf den NW-, SW- und SO-exponierten, meist gestreckten Hängen sind die Deckschichten im Ausstrich der Trossingen-Fm. (Knollenmergel) einheitlich aus einer schluffig-lehmigen Hauptlage (Schlufffließerde) über einer tonigen Basislage (Tonfließerde) aus Knollenmergelmaterial aufgebaut. Die Mächtigkeit der Hauptlage schwankt meist um 2–4 dm und lässt häufig eine geringe Profilverkürzung (Erosion) durch anthropogene Einflüsse vermuten. Die am Oberhang meist sehr hohen Grobbodenanteile aus plattigen, häufig hangparallel eingeregelten Sandsteinen nehmen hangabwärts ab.

Die kantige Blöcke führende Basislage aus überwiegend Knollenmergelmaterial reicht häufig noch bis in den Ausstrichbereich des Stubensandsteins (Löwenstein-Fm.). Exkursionsprofil 5 (P5) spiegelt diese Situation wider. Über anstehendem Stubensandstein sind die periglaziären Deckschichten, neben dem äolischen Anteil in der Hauptlage, ausschließlich aus Verwitterungsmaterial der oberhalb anstehenden Formationen (Knollenmergel und Rhätsandstein) aufgebaut (Abb. 9). Die Anreicherung des Grobbodens im unteren Teil der Hauptlage bleibt über den gesamten Hangabschnitt im Knollenmergel erhalten und der Übergang zur Basislage ist unterhalb der Steinanreicherung scharf ausgebildet. Neben den deutlichen Unterschieden in der Feinbodenart sind die Gehalte, die Größe und Verteilung des Grobbodens eindeutige Belege für zwei getrennt voneinander entstandene geologische Schichten (vgl. P5, Kapitel 4.5).

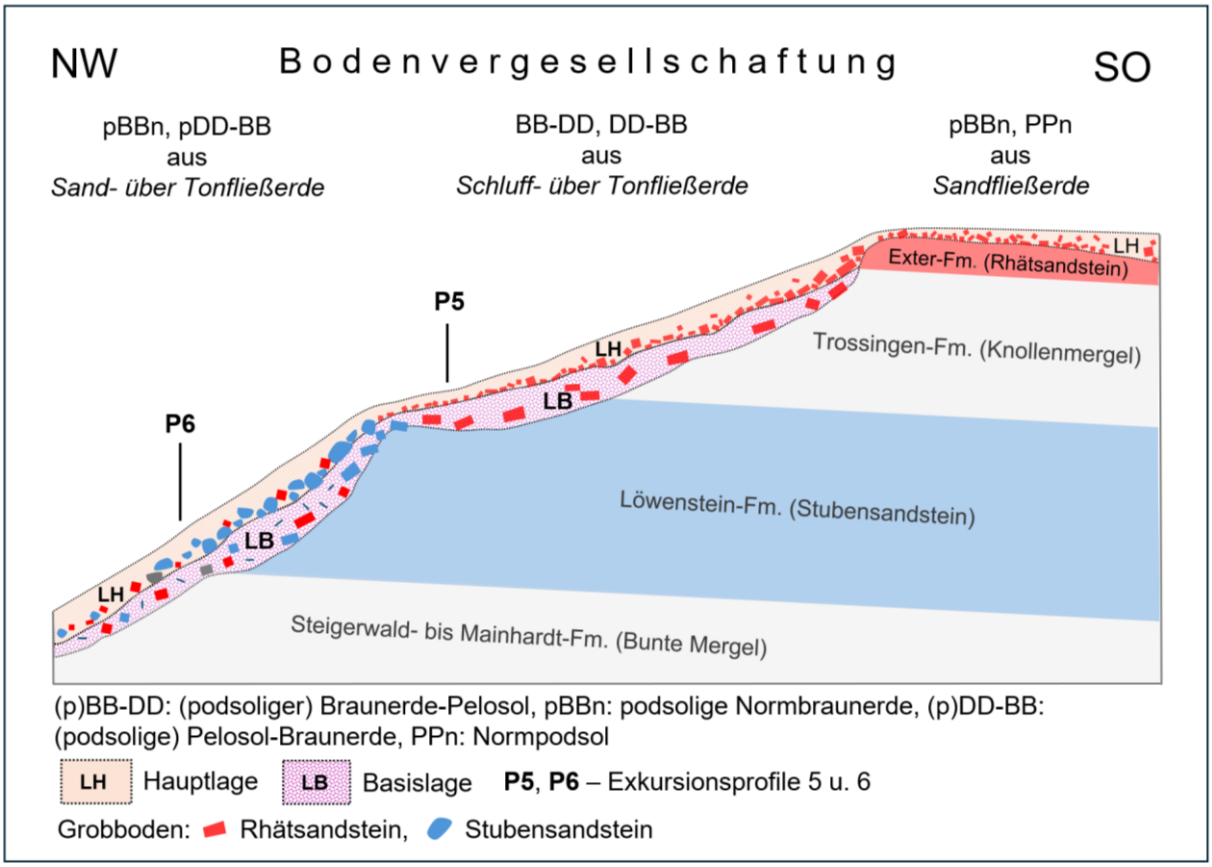


Abb. 9: Halbschematischer geologischer Schnitt am NW-exponierten Hang des Steingarts im Bereich der Profile P5 und P6, Mächtigkeit der Deckschichten stark überhöht; Lage des Schnitts siehe Abb. 7

Im Ausstrich kompakter Sandsteinschichten der Löwenstein-Fm. nimmt nicht nur die Hangneigung deutlich zu, sondern auch die Zusammensetzung der Bodenausgangsgesteine ändert sich abrupt. Die Hauptlage entwickelt sich von einer schluffig-feinsandigen Fließerde mit Rhätsandsteinen zu einer Steine und Blöcke führenden Sandfließerde, die von einer Tonfließerde unterlagert wird (vgl. P6 in Kapitel 4.6). Die im Vergleich zum Rhätsandstein geringere Verwitterungsstabilität des Stubensandsteins und die mächtigen Sandsteinlagen sind für die kompakte Form der Steine und Blöcke und die stärkere Rundung der Kanten verantwortlich.

In dem leeseitigen, zum Goldersbachtal abfallenden NO-Hang des Steingarts tritt

die lössführende Mittellage bevorzugt in flachen Hangmulden unterhalb von Quellen an der Schichtgrenze Rhätsandstein/ Knollenmergel auf (Abb. 10). Die stärkere Durchfeuchtung des Knollenmergels hat vermutlich vermehrt zu Rutschungen geführt und das Aufkommen schwacher Vegetation mit Lössablagerung befördert. Bei der heute noch vorhandenen Mittellage handelt es sich vermutlich um den Erosionsrest ehemals mächtigerer Fließerden mit größerer Verbreitung wie es von Sauer (2002) aus dem Rheinischen Schiefergebirge beschrieben wird.

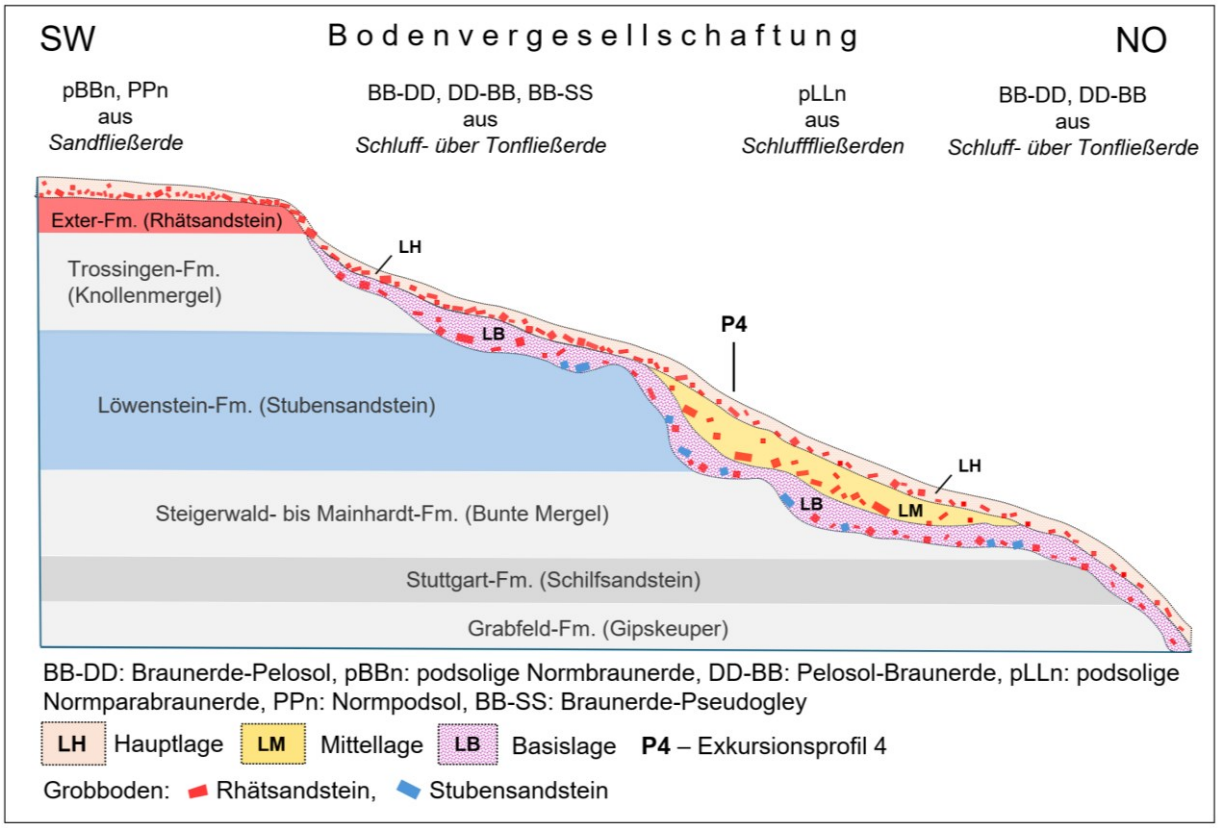


Abb. 10: Halbschematischer geologischer Schnitt am NO-exponierten Hang des Steingarts im Bereich des Profils P4, Mächtigkeit der Deckschichten stark überhöht; Lage des Schnitts siehe Abb. 7

4 Beschreibung der Exkursionsprofile

Die Exkursionsprofile liegen im Bereich des Steingarts, sowohl auf der Hochfläche im Rhätsandstein (P1, P2), als auch im Bereich der Hänge im Mittelkeuper (P3–P6) mit unterschiedlicher Exposition und Hangneigung.

Bei der Beschreibung der Exkursionsprofile stehen die Merkmale der Lagen nach KA6 im Vordergrund (vgl. Kapitel 2.2). Dabei werden die relativen Merkmale Gefüge und Geogenese nicht näher betrachtet. Das Gefüge ist stark von der Bodenbildung geprägt und die Geogenese weist keine Unterschiede innerhalb der mehrlagigen Profile auf. Wie sich einzelne Merkmale durch die Bodenbildung verändert haben, wird in der Diskussion zur Bodenbildung, Horizontierung und bodensystematischen Einordnung nach KA6 aufgegriffen.

Zu jedem Exkursionsprofil sind die ausgebildeten Merkmale der einzelnen Lagen zusammen mit dem Profilbild dargestellt. Die Verschlüsselung mit Ziffern folgt der Nummerierung in Kapitel 2.2 und wird für die vorhandenen Merkmale in der Abbildung nochmals aufgeführt.

4.1 Profil 1 (P1)

4.1.1 Standortbeschreibung

Das Profil P1 liegt auf dem sehr schwach geneigten Hochplateau des Steingarts, etwa 300 m östlich der Königlichen Jagdhütte auf 536 m ü. NHN. Der südwestliche Plateaurand ist nur 50–100 m entfernt. Im lichten Mischwald mit älteren Kiefern und Buchen zeigen verschiedene Moose und Heidelbeeren die sauren Bodenverhältnisse an.

Tab. 1: Standortbeschreibung

Bodenausgangs-gesteinsfolge:	Decksand (Hauptlage) über Rhätsandstein (Oberkeuper)
Relief:	ebenes Plateau
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Kiefer, Buche
Höhenlage:	536 m ü. NHN
N[1]:	855 mm
JMT[1]	9,0 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

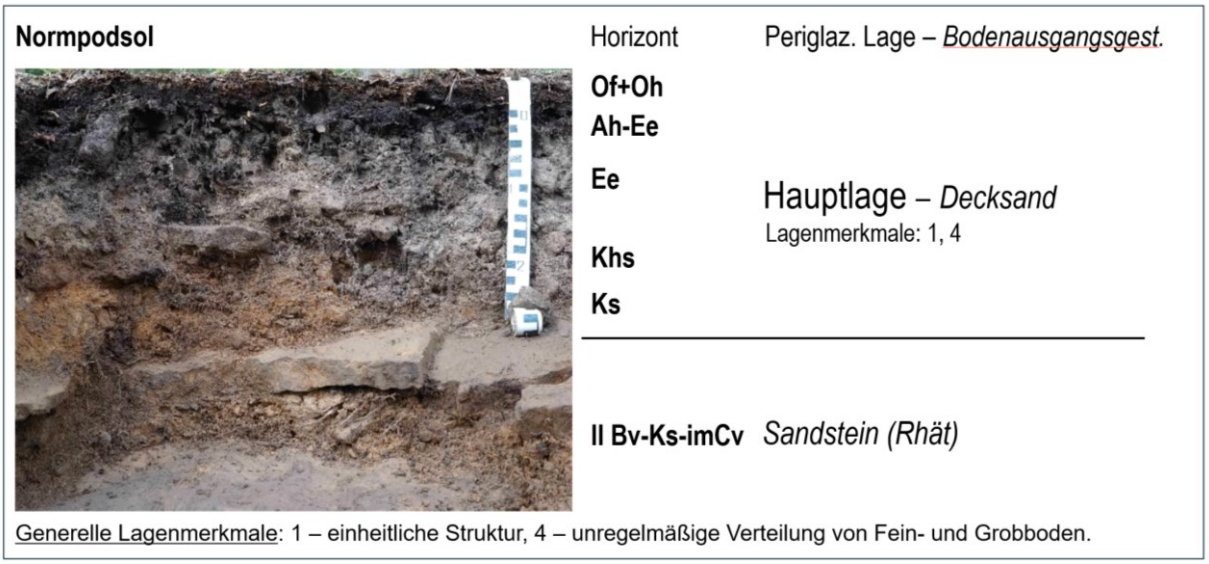


Abb. 11: Ansicht des Bodenprofils P1; Horizontabfolge, periglaziäre Lagen mit Merkmalen und Bodenausgangsgesteine (Foto: W. Fleck)

4.1.2 Periglaziäre Lagen und Bodenausgangsgestein

Die 3–4 dm mächtige Hauptlage über dem gering verwitterten Rhätsandstein besitzt eine einheitliche Struktur mit unregelmäßiger Verteilung von Fein- und Grobboden. Die plattige Struktur des Sandsteins ist weitgehend aufgelöst und der Grobboden besteht ausschließlich aus Rhätsandstein. Die Komponenten des Grobbodens sind häufig leicht kantengerundet.

Der Feinboden enthält vermutlich nur sehr geringe Lössanteile. Sandgehalte von rund 70% (v. a. Feinsand) und Schluffgehalte um 20% dürften in erster Linie aus der Sandsteinverwitterung stammen. Die Übergänge vom Grob- zum Feinboden sind scharf und sprechen gegen eine *in situ* Verwitterung des Sandsteins. Unverwitterte Grobbodenkomponenten wurden offensichtlich mit sandigem Verwitterungsmaterial vermischt. Die Hauptlage wird vom anstehenden, plattig ausgebildeten Rhätsandstein mit scharfem Übergang begrenzt (Abb. 11).

Die genannten Merkmale sprechen eindeutig für eine kryoturbate Geogenese der Deckschicht. In der Jüngeren Tundrenzeit, am Ende des Spätglazials, konnte sich die feinsandige, grobbodenreiche Deckschicht durch Kryoturbation im Auftaubereich des Dauerfrostbodens bilden. Das nahezu ebene Relief sowie einzelne steil gestellte, plattige Sandsteine sprechen für das Vorherrschen der Solimixtion mit einer geringen lateralen Verlagerung. Nach KA6 kann das zugehörige Bodenausgangsgestein als Decksand bezeichnet und trotz des sehr geringen äolischen Anteils als Hauptlage eingestuft werden. Aufgrund der exponierten, etwas erhöhten Position am Plateaurand wurde am Profilstandort vermutlich weniger Löss als in den geschützteren Bereichen in Richtung zum Plateauinneren abgelagert.

Als Besonderheit wurden bei der Profilanlage einzelne schluffreiche Partien mit wenigen Zentimetern Durchmesser festgestellt, deren Entstehung noch unklar ist.

4.1.3 Bodenklassifikation

Das Profil zeigt eine ausgeprägte Horizontdifferenzierung innerhalb der homogenen Hauptlage. Unter dem Auflagehumus haben sich durch Sauerbleichung ein Ah-Ee- und ein hellgrauer Ee-Horizont entwickelt. Die Anreicherung von Eisen- und Aluminiumoxiden sowie organischen Stoffen führt ab 13–15 cm u. MOF zu einem Khs- und Ks-Horizont. Mit scharfem Übergang setzt ab etwa 34 cm u. MOF der wenig verwitterte Rhätsandstein ein, der in Spalten verbraunte und mit Eisenoxid angereicherte Feinerde aufweist (II Bv-Ks-imCv-Horizont).

Nach KA6 ist der Khs-Horizont der diagnostische Horizont für den Normpodsol (Eisenhumuspodsol), sofern dieser keine systematisch relevanten Merkmalen anderer Pedogenesen aufweist. Die Horizonte des Podsols haben sich innerhalb einer einzigen geologischen Schicht bzw. periglaziären Lage entwickelt. Zum sauren Bodenmilieu passt die 6–8 cm mächtige Humusauflage (Of- und Okh-Horizont) mit der Humusform Moderartiger Rohhumus (ARM). Im Vergleich mit den vergesellschafteten Braunerden und Parabraunerden auf dem Hochplateau des Steingarts zeigt sich, dass der sehr geringe Lössanteil über Sandstein für die starke Podsolierung und die ungünstige Humusform verantwortlich ist. Anthropogene Einflüsse wie etwa Streunutzung spielen höchstens eine untergeordnete Rolle.

Tab. 2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangs-gestein	Perigl. Lage
NORMPODSOL AUS DECKSAND ÜBER RHÄTSANDSTEIN										
+ 7	Of	-	-	5YR 3/4	-	-	-	-	-	-
+ 4,5	Okh	-	-	5YR 2/3	-	Wf6	-	-	-	-
0 – 2	Ah-Ee	Sl2	4	7.5YR 4/3	koh+sub	Wf5	h4	c0	px.S-qwdj	LH
– 13	Ee	Sl2	5	7.5YR 5/4	sub	Wf5	h3	c0	px.S-qwdj	LH
– 24	Khs	Sl4	5	7.5YR 4,5/6	ein+sub	Wf4	h3	c0	px.S-qwdj	LH
– 34	Ks	Sl4	5	7.5YR 5/8	-	Wf4	h3	c0	px.S-qwdj	LH
– 50+	II Bv-Ks-imCv	-	-	7.5YR 5/6	-	Wf2	-	c0	Sn-ko	-

Deutsche Klassifikation: Normpodsol (PPn)
WRB: Skeletic Podzol (Pantoloamic, Humic, Nechic, Endoraptic)
Humusform: Moderartiger Rohhumus (ARM)

4.1.4 Bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften

Aufgrund der sehr hohen Grobbodengehalte von geschätzt 60–70 Vol.-% und der geringen Gründigkeit ist die Wasserspeicherkapazität des Mineralbodens sehr gering. Die nutzbare Feldkapazität wird zwar durch die Speicherkapazität der Humusauflage deutlich verbessert, dürfte aber Gesamtwerte von 50–60 mm kaum übersteigen. Der stark geklüftete Rhätsandstein ist gut durchlässig, weshalb der Standort zu hoher Tiefensickerung bzw. Grundwasserneubildung beiträgt.

Tab. 3: Bodenphysikalische Eigenschaften

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 2	Ah-Ee	0,7	7,8	63,3	11,3	7,6	2,8	6,5	21,7	71,8	Sl2
– 13	Ee	1,9	4,4	65,9	11,2	7,1	2,4	7,1	20,7	72,2	Sl2
– 24	Khs	3,0	9,2	53,4	9,7	7,8	3,6	13,3	21,1	65,6	Sl4
– 34	Ks	2,2	21,8	42,3	9,5	6,8	4,0	13,4	20,3	66,3	Sl4

Die niedrigen Tongehalte und sehr geringen pH-Werte um 3 sorgen für niedrige Werte bei der effektiven Kationenaustauschkapazität und Basensättigung. Die Tongehaltsunterschiede zwischen den Verarmungs- und Anreicherungshorizonten (E- bzw. K-Horizonte) lassen auf eine schwache Tonzerstörung schließen. Die Gehalte an pedogenen Oxiden (Tab. 6), Schwermetallen (Tab. 7) und Humus (Tab. 4) zeichnen die pedogene Stoffverlagerung im Profil nach.

Tab. 4: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	Humus [%]	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0 – 2	Ah-Ee	3,4	2,7	0	32,4	1,1	29,5	6,5	4	25
– 13	Ee	3,5	3,0	0	16,0	0,5	32,0	3,2	2	8
– 24	Khs	3,1	3,4	0	17,2	0,6	28,7	3,4	1	8
– 34	Ks	3,3	3,8	0	18,0	0,6	30,0	3,6	1	17

Tab. 5: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 3	Ah-Ee	19,5	27	<0,17	0,2	3,7	1,4	0,5	5,0	0,7	8,1
– 13	Ee	16,7	11	<0,17	<0,08	1,2	0,7	0,8	11,2	0,1	2,7
– 24	Khs	36,8	2	<0,17	<0,08	<0,19	0,7	1,8	33,4	0,1	0,9
– 34	Ks	24,4	3	<0,17	0,1	<0,19	0,6	<0,02	23,4	0,1	0,3

Tab. 6: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe [cm]	Horizont	Fe_o g kg^{-1}	Fe_d g kg^{-1}	Al_o g kg^{-1}	Mn_o g kg^{-1}	Fe_o/Fe_d
0 – 3	Ah-Ee	0,19	0,91	0,14	<0,02	0,21
– 13	Ee	0,38	1,7	0,20	<0,02	0,22
– 24	Khs	4,2	6,7	1,5	<0,02	0,63
– 34	Ks	2,3	4,6	2,6	<0,02	0,50

Tab. 7: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe	Horizont	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	Tl	As	U	Se
[cm]		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
0 – 3	Ah-Ee	9	0,02	2	1	1	0,05	2	0,02	2	0,37	0,02
– 13	Ee	8	0,01	3	1	1	0,03	1	0,03	2	0,41	0,03
– 24	Khs	22	0,02	12	2	4	0,04	10	0,11	6	0,54	0,19
– 34	Ks	14	0,04	14	3	7	0,06	15	0,10	6	0,59	0,19

4.2 Profil 2 (P2)

4.2.1 Standortbeschreibung

Das Exkursionsprofil P2 befindet sich ebenfalls auf dem Hochplateau des Steingarts, rund 300 m nordwestlich der Königlichen Jagdhütte. Der Profilstandort liegt auf 543 m ü. NHN in einem lichten Altbestand aus Kiefern, Buchen und Fichten.

Tab. 8: Standortbeschreibung

Bodenausgangs-gesteinsfolge:	Decksand (Hauptlage) über Rhätsandstein (Oberkeuper)
Relief:	ebenes Plateau
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Kiefer, Buche, Fichte
Höhenlage:	543 m ü. NHN
N[1]:	855 mm
JMT[1]	9,0 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

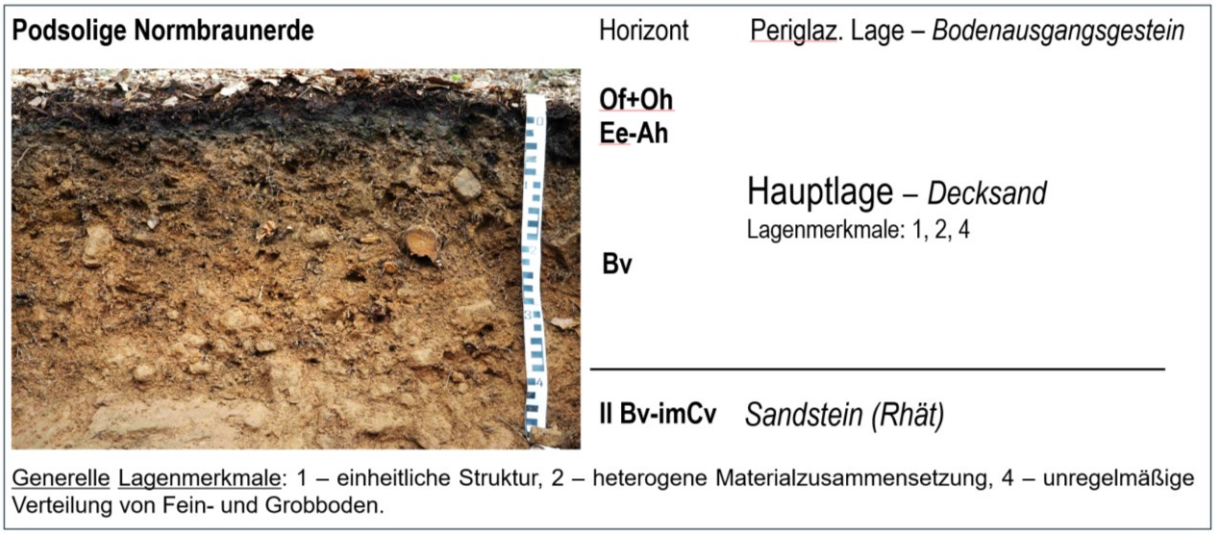


Abb. 12: Ansicht des Bodenprofils P2, Horizontabfolge und periglaziäre Lagen mit Merkmalen und Bodenausgangsgesteinen (Foto: W. Fleck)

4.2.2 Periglaziäre Lagen und Bodenausgangsgestein

Die periglaziäre Deckschicht auf dem gering verwitterten Rhätsandstein ist ähnlich wie bei P1 ausgebildet. Sie besitzt eine insgesamt unregelmäßige Verteilung von Fein- und Grobboden. Die Grobbodengehalte wurden mit 50–60 Vol.-% etwas geringer als bei P1 eingeschätzt, wobei eine Zunahme von oben nach unten zu erkennen ist (Abb. 12). Grobgrus und kantige Steine sind besonders häufig, Blöcke dagegen selten. Auch hier fehlen Fremdanteile im Grobboden und die vorhandenen Komponenten aus Rhätsandstein weisen teilweise abgerundete Kanten auf. Der Feinboden hat gegenüber P1 um rund 15% höhere Schluff- (35 bzw. 20%) und entsprechend geringere Sandgehalte (55% bzw. 70%), was auf eine deutliche Lösskomponente schließen lässt. Der Übergang zum anstehenden Sandstein ist nicht so scharf wie bei P1 und der Sandstein weniger plattig ausgebildet.

Das Bodenausgangsgestein kann aufgrund der solimixtiven Geogenese als Decksand mit einer deutlichen Schluffkomponente bezeichnet werden. Die Einstufung als Hauptlage wird durch den äolischen Anteil und die typische Mächtigkeit von 4–5 dm unterstrichen.

4.2.3 Bodenklassifikation

Unter dem schwach sauergebleichten Oberboden (Ee-Ah-Horizont) ist in der Hauptlage bis zum anstehenden Sandstein ein Bv-Horizont entwickelt. Die bodengenetische Einheit ist eine podsolige Normbraunerde. Die im Vergleich zu P1 deutlich schwächere Podsoligkeit ist auf den höheren äolischen Anteil zurückzuführen. Dazu passt auch die günstigere Humusform Feinhumusarmer Typischer Moder (aAMT). Der Übergang zum II Bv-imCv-Horizont ist weniger scharf als bei P1 ausgebildet und die Verbraunung setzt sich in feinerdereichen Spalten im aufgelockerten Sandstein fort. Die graubraune Farbe im oberen Teil des Bv-Horizonts lässt auf höhere Humusgehalt als im leuchtend braunen Abschnitt darunter schließen.

Tab. 9: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangs-gestein	Perigl. Lage
PODSOLIGE NORMBRAUNERDE AUS DECKSAND ÜBER RÄTHSANDSTEIN										
0 – 5	Ee-Ah	Sl4	5	7.5YR 3/2	koh+sub	Wf5	h5	c0	px.S-qwdj	LH
– 40	Bv	Sl3	5	7.5YR 5/6	sub	Wf4	h3	c0	px.S-qwdj	LH
– 55+	II Bv-imCv	-		7.5YR 6/4	-	-	h1	c0	Sn-ko	-

Deutsche Klassifikation: Podsolige Normbraunerde (pBBn)
WRB: Hyperdystric Skeletic Cambisol (Pantoloamic, Humic, Epimagnesic, Nechic, Epiraptic)
Humusform: Feinhumusarmer typischer Moder (aAMT)

4.2.4 Bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften

Die nutzbare Feldkapazität des Mineralbodens dürfte aufgrund der etwas größeren Gründigkeit, der geringeren Grobboden- und höheren Schluffgehalte etwas über der von P1 liegen.

Die geringmächtigere Humusauflage wirkt sich allerdings negativ auf den Wasserhaushalt aus. Die bodenchemischen Parameter KAK_{eff}, Basensättigung und pH-Wert sind ebenfalls ähnlich wie bei P1, wobei die Stoffverlagerung aufgrund der nur schwachen Podsolierung fehlt.

Tab. 10: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-art
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0 – 5	Ee-Ah	2,7	8,4	40,6	16,9	13,6	5,3	12,4	35,9	51,8	Sl4
– 40	Bv	7,7	3,5	43,0	14,8	13,4	5,7	11,8	33,9	54,2	Sl3

Tab. 11: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	Humus [%]	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0 – 5	Ee-Ah	3,1	2,9	0	60,0	2,6	23,1	12,0	4	8
– 40	Bv	3,7	3,9	0	19,7	0,8	24,6	3,9	1	4

Tab. 12: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{eff} [$mmol_c \cdot kg^{-1}$]	BS [%]	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
				Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 5	Ee-Ah	53,3	21	<0,17	0,5	8,3	2,3	2,9	29,1	1,9	8,3
– 40	Bv	24,4	2	<0,17	<0,08	<0,2	0,6	<0,02	22,9	0,6	0,3

Tab. 13: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe [cm]	Horizont	Fe_o g kg^{-1}	Fe_d g kg^{-1}	Al_o g kg^{-1}	Mn_o g kg^{-1}	Fe_o/Fe_d
0 – 5	Ee-Ah	1,2	6,7	0,59	0,06	0,18
– 40	Bv	1,2	4,6	2,0	0,16	0,26

Tab. 14: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe [cm]	Horizont	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Hg mg/kg	Zn mg/kg	Tl mg/kg	As mg/kg	U mg/kg	Se mg/kg
0 – 5	Ee-Ah	31	0,05	12	4	5	0,12	15	0,17	6	0,52	0,24
– 40	Bv	17	0,06	24	5	10	0,08	18	0,13	14	0,71	0,22

4.3 Profil 3 (P3)

4.3.1 Standortbeschreibung

Das Exkursionsprofil P3 liegt im südlichen Bereich des NO-exponierten Hanges des Steingarts auf 475 m ü. NHN in einem lichten Buchenaltbestand. Der Plateaurand des Rhätsandsteins liegt etwa 300 m oberhalb. Die Geländemorphologie in der Umgebung des Profils ist unruhig und in flache Mulden und Hangrücken gegliedert, die hangaufwärts in eine flache, vernässte Hangmulde übergehen. Die Hangneigungen schwanken am Profilstandort zwischen 10 und 15%. Auffallend sind die zahlreichen Blöcke an der Geländeoberfläche, die sich wenig oberhalb blockstromartig angehäuft haben. Direkt neben dem Exkursionsprofil verläuft ein kleines, in Nassphasen wasserführendes Gerinne, in dem Sandsteinblöcke freigespült wurden.

Tab. 15: Standortbeschreibung

Bodenausgangsgesteinsfolge:	Schuttreiche Fließerdefolge (Haupt-, Mittel- und Basislage)
Relief:	Mittel geneigte, nach Nordosten exponierte Hangmulde
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	475 m ü. NHN
N[1]:	814 mm
JMT[1]:	9,3 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

4.3.2 Periglaziäre Lagen und Bodenausgangsgestein

Im Unterschied zur solimixtiven Geogenese der Decksande und -lehme auf dem Plateau des Steingarts sind die periglaziären Deckschichten der Hänge durch Solifluktion mit teilweise erheblichen Transportweiten entstanden. Starke Kontraste bei den Komponenten der Fließerden, wie z. B. den Gemischen aus hellem, hartem Rhätsandstein und dunkelrotem, hochplastischem Verwitterungsmaterial des Knollenmergels, haben häufig zu einer sehr deutlichen Ausprägung der in Kapitel 2.2 aufgelisteten Lagenmerkmale geführt.

Das Exkursionsprofil ist dreischichtig aufgebaut und führt durchgehend hohe Gehalte an Blöcken, Steinen und Grus des Rhätsandsteins mit insgesamt unregelmäßiger Verteilung (Abb. 13). Die beiden oberen Schichten weisen eine äolische Beimengung auf, die in der unteren Schicht aus tonigem Verwitterungsmaterial fehlt.

Den drei eigenständigen, periglaziären Fließerden können laut Lagenmodell Haupt-, Mittel- und Basislage zugeordnet werden. Die 4–5 dm mächtige Hauptlage besteht aus schwach sandigem bis schluffigem Lehm und überdeckt die Mittellage aus mittel tonigem Lehm.

Ab 10 dm u. MOF setzt die tonige Basislage ein. Die zugehörigen Bodenausgangsgesteine, also der Zustand vor der pedogenen Überprägung, wurden als Schluff-, Lehm- und Tonfließerde angesprochen. Mittel- und Basislage lassen sich im Profil anhand der Farbe, des äolischen Anteils sowie der Verteilung und des Rundungsgrads des Grobbodens unterscheiden.

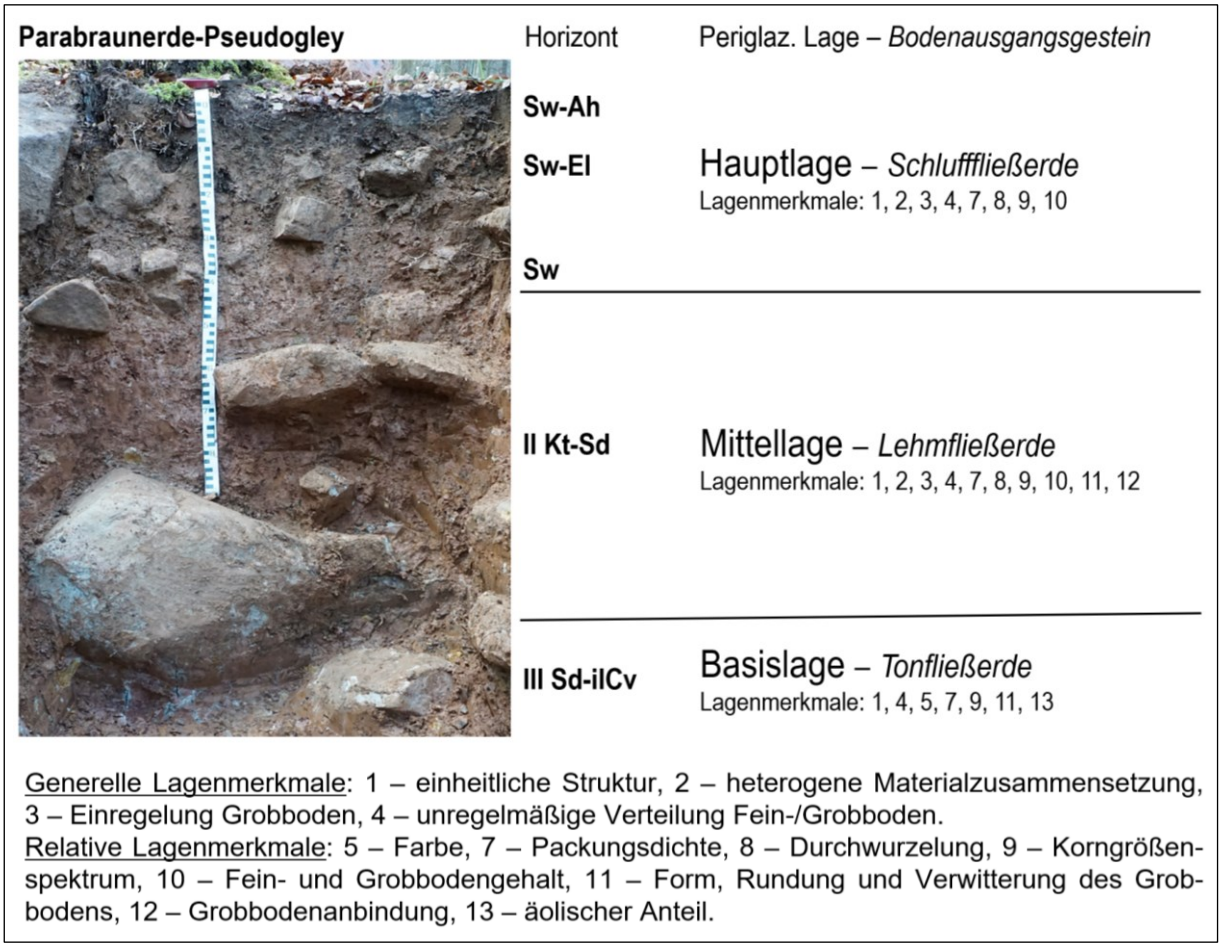


Abb. 13: Ansicht des Bodenprofils P3; Horizontabfolge, periglaziären Lagen mit Merkmalen und Bodenausgangsgesteine (Foto: W. Fleck)

Dagegen ist die Trennung von Haupt- und Mittellage schwieriger, da beide äolische Anteile enthalten und der Grobboden bei ähnlichen Gehalten und Größenverhältnissen ausschließlich aus Rhätsandstein besteht. Zudem ist die aktuelle Bodenfarbe stark durch Hydromorphie mit Rostflecken und Bleichung überprägt. Allerdings zeigen die höhere Packungsdichte, abnehmende Sandgehalte in der Mittellage sowie die Anreicherung des Grobbodens im unteren Teil der Hauptlage die geologische Schichtung an.

Der Grund für die Auswahl des Profilstandortes war die Blockansammlung an der Geländeoberfläche. Um zu sehen, wie die Blöcke in die periglaziären Fließerden eingebunden sind, wurde die Profilgrube an der Längsseite eines größeren Blockes mit 1,6 m Länge angelegt. Der Block ragt etwa 6 dm aus dem Boden heraus und lässt über seine Fortsetzung im Untergrund und die Einbindung in die periglaziären Lagen spekulieren. Zu dieser Frage wurden in Abb. 14 drei von mehreren Möglichkeiten dargestellt.

Im Fall A ist der Block sehr groß und reicht mit seiner Unterseite bis in die Basislage (LB). Daraus könnte man schließen, dass er spätestens mit der Mittellage (LM) transportiert wurde und im Zuge der Entstehung der Hauptlage (LH) im Dauerfrostboden fixiert war und nicht mehr lateral verlagert wurde. In Möglichkeit B liegt ein kleinerer Block direkt der Mittellage auf und wurde zuletzt bei der Bildung der Hauptlage im Auftaubereich des Dauerfrostbodens hangabwärts bewegt. Im Fall C „schwimmt" ein flacher Block in der Hauptlage an der Geländeoberfläche, wo er im Zuge der spätglazialen Solifluktion seine heutige Position, etwa bei vorübergehend geringerer Auftautiefe, erreicht hat.

Der Geländebefund an der Seitenwand der Profilgrube von P3 weist eindeutig auf Möglichkeit B hin, d. h. der Block wurde aller Voraussicht nach im Auftaubereich der entstehenden Hauptlage zusammen mit dem umgebenden Fein- und Grobboden auf der gefrorenen Mittellage hangabwärts transportiert. Aufgrund seiner Gesamthöhe von ca. 10 dm ragt er heute etwa 6 dm aus der Geländeoberfläche heraus.

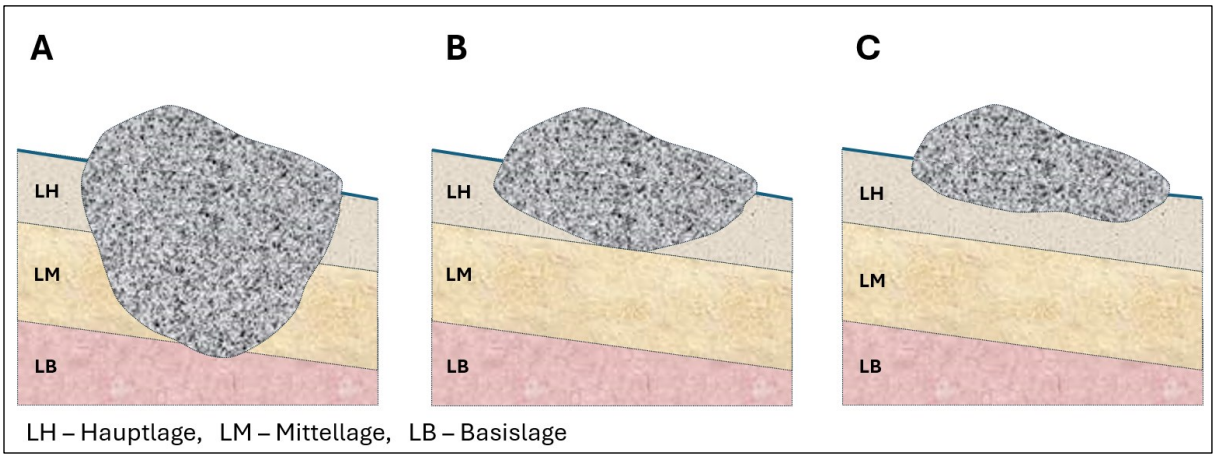


Abb. 14: Mögliche Einbindung eines Sandsteinblocks in ein dreilagiges Profil aus Haupt-, Mittel- und Basislage

Die oberhalb des Profilstandorts gelegene Blockanreicherung kam vermutlich durch das Zusammentreffen mehrerer Faktoren zustande. Einerseits konnten sich die Blöcke in einem instabilen Knollenmergelhang am Fuß einer vernässten Hangmulde anreichern, andererseits ist eine lokale, besonders dickbankige Ausbildung des Sandsteins am Plateaurand Voraussetzung für die Entstehung und den weiten Transport großer Blöcke.

Die Einbindung des Blockes im Exkursionsprofil lässt Rückschlüsse auf die Entstehung der Blockansammlung zu. Wahrscheinlich wurden die Blöcke nicht erst mit der Bildung der Hauptlage vom Plateaurand an ihre heutige Position transportiert, sondern über mehrere Phasen mit solifluidalem Transport nach und nach hangabwärts verlagert. Zuletzt wurden die Blöcke in der jüngeren Tundrenzeit bei der Bildung der Hauptlage bewegt, was die hohe periglaziäre Hangdynamik in dieser kurzen Kaltphase unterstreicht. Die Blöcke zeigen häufig gerundete Kanten, was auf eine starke Beanspruchung des harten, kieseligen Sandsteins beim Transport an oder nahe der Geländeoberfläche schließen lässt.

Die Blockanreicherung unterscheidet sich genetisch von einem Blockstrom (AG Geologie 2024). Bei diesem wurde die Feinerde zwischen den Blöcken ausgespült und die Blöcke sind nicht wie im vorliegenden Beispiel in eine geringmächtige Fließerde eingebunden. Am

Profilstandort ragen die Blöcke aus der Bodenoberfläche heraus, da ihr Durchmesser die Mächtigkeit der Hauptlage übersteigt.

4.3.3 Bodenklassifikation

In der Fließerdefolge aus Haupt-, Mittel- und Basislage hat sich ein Parabraunerde-Pseudogley entwickelt. Sw-Ah-, Sw-El- und Sw-Horizont haben sich in der gut durchlässigen Hauptlage gebildet. Die dichter gelagerte Mittellage darunter wirkt als Stauhorizont (II Kt-Sd-Horizont), der neben den hydromorphen Merkmalen auch Tonbeläge erkennen lässt. Unterhalb von 10 dm geht der Stauhorizont der Mittellage in einen tonigen III Sd-ilCv-Horizont aus rötlichem Verwitterungsmaterial des Mittelkeupers über.

Tab. 16: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangsgestein	Perigl. Lage
PARABRAUNERDE-PSEUDOGLEY AUS FLIESSERDEFOLGE										
0 – 6	Sw-Ah	Lu	3	7.5YR 3/4	kru+sub	Wf5	h4	c0	pf.U-qwdj	LH
– 25	Sw-El	Lu	4	7.5YR 4/4	sub	Wf4	h3	c0	pf.U-qwdj	LH
– 47	Sw	Ls2	4	7.5YR 5/4	koh+sub	Wf3	h2	c0	pf-qwdj	LH
– 98	II Kt-Sd	Lt3	4	5YR 4/6	pol	Wf2	h0	c0	pf.L	LM
–160+	III Sd-ilCv	Tl	5	7.5YR 4/6	-	-	h0	c0	pf.T	LB

Deutsche Klassifikation: Parabraunerde-Pseudogley (LL-SS)
WRB: Hypereutric Luvic Stagnosol (Episiltic, Loamic, Humic, Amphiraptic)
Humusform: Moderartiger F-Mull (MFM)

4.3.4 Bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften

Aufgrund der heterogenen Verteilung des Grobbodens, insbesondere der Blöcke, ist die Abschätzung der nutzbaren Feldkapazität bis 10 dm u. MOF am Profilstandort schwierig. Bei Grobbodengehalten von 30–40% dürfte die nutzbare Feldkapazität bei 60–100 mm liegen. Aufgrund des mittleren bis sehr hohen Skelettanteils wurden keine Stechzylinderproben entnommen. Der Standort ist stark von Zwischenabfluss aus dem oberhalb anschließenden Hang geprägt, der sich v. a. im Sw-Horizont direkt über der dichten Mittellage bewegt. Im Vergleich zu P1 und P2 ist der Boden mit einer Basensättigung von über 80% bereits in der Hauptlage deutlich basenreicher. Die effektive Kationenaustauschkapazität nimmt darunter mit steigendem Tongehalt stark zu.

Tab. 17: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 6	Sw-Ah	3,1	6,6	13,3	24,9	23,4	9,2	19,5	57,5	23,0	Lu
– 25	Sw-El	3,9	10,4	14,7	22,7	19,6	9,1	19,6	51,4	29,0	Lu
– 47	Sw	7,4	12,5	14,2	21,4	18,2	7,3	19,0	49,9	34,1	Ls2
– 98	II Kt-Sd	2,1	5,6	11,1	20,8	16,9	7,3	36,2	45,0	18,8	Lt3

Tab. 18: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	pH	pH	Carbonat	C_{org}	N_t	C/N	Humus	P (CAL)	K (CAL)
[cm]		[H_2O]	[$CaCl_2$]	[%]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[%]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0 – 6	Sw-Ah	4,1	3,7	0	42,4	2,5	17,0	8,5	22	66
– 25	Sw-El	4,6	4,4	0	14,9	0,8	18,6	3,0	9	17
– 47	Sw	4,6	4,3	0	7,3	0,6	12,2	1,5	2	17
– 98	II Kt-Sd	4,4	4,0	0	1,3	<0,5	-	0,3	4	50

Tab. 19: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 6	Sw-Ah	89,7	56	<0,17	1,9	54,3	9,3	<0,02	15,2	8,0	1,1
– 25	Sw-El	59,8	94	<0,17	0,8	44,8	10,3	<0,02	1,6	2,4	<0,25
– 47	Sw	51,6	86	<0,17	0,6	32,8	11,1	<0,02	4,3	2,8	<0,25
– 98	II Kt-Sd	142,0	91	0,3	2,7	80,0	46,9	<0,02	10,8	0,9	0,4

Tab. 20: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe	Horizont	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d
[cm]		g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	
0 – 6	Sw-Ah	4,2	7,4	1,4	1,0	0,57
– 25	Sw-El	4,2	7,2	1,2	0,90	0,58
– 47	Sw	4,1	9,7	1,0	1,0	0,42
– 98	II Kt-Sd	2,2	10,8	1,1	0,36	0,20

Tab. 21: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe	Horizont	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	Tl	As	U	Se
[cm]		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
0 – 6	Sw-Ah	32	0,22	27	9	16	0,11	38	0,12	7	0,78	0,23
– 25	Sw-El	26	0,14	25	6	15	0,06	29	0,17	8	0,92	0,31
– 47	Sw	24	0,09	26	9	18	0,04	24	0,14	10	0,91	0,30
– 98	II Kt-Sd	19	0,06	56	21	41	0,02	36	0,25	11	0,93	0,20

4.4 Profil 4 (P4)

4.4.1 Standortbeschreibung

Exkursionsprofil P4 befindet sich ebenfalls am Nordosthang des Steingarts ca. 1 100 m nord-westlich von P3 auf 490 m ü. NHN in einem Buchenaltholz, das durch Absterben einzelner Bäume stark aufgelichtet ist. Der Hang in der Profilumgebung ist gestreckt mit insgesamt gleichmäßigem Oberflächenrelief und 40% Neigung. Die Streuauflage ist teilweise gestört und scheint stellenweise durch Oberflächenwasser verlagert worden zu sein. An der Geländeoberfläche sind Steine des Rhätsandsteins unregelmäßig verteilt. Größere Blöcke treten dagegen nicht auf. Laut geologischer Karte 1 : 50.000 (Regierungspräsidium Freiburg 2015) liegt P4 wie schon P3 im Bereich des Stubensandsteins (Abb. 4).

Tab. 22: Standortbeschreibung

Bodenausgangsgesteinsfolge:	Schlufffließerden (Haupt- über Mittellage)
Relief:	Nordostexponierter, gestreckter Steilhang (Hangneigung 40%)
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buchen-Altholz, aufgelichtet
Höhenlage:	490 m ü. NHN
N[1]:	772 mm
JMT[1]:	9,5 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

4.4.2 Periglaziäre Lagen und Bodenausgangsgestein

Insgesamt können nach dem Lagenmodell drei Schichten unterteilt werden. Die obere Schicht kann der Hauptlage zugeordnet werden, wozu auch die Mächtigkeit von ca. 4 dm passt. Der deutliche äolische Anteil weist die Fließerde im Liegenden als Mittellage aus, die bis in 23 dm Tiefe reicht und von einer skelettreichen Tonfließerde unterlagert wird, die aus tonigem Verwitterungsmaterial mit Rhätsandsteinen aufgebaut ist und aufgrund des fehlenden Lössanteils als Basislage einzustufen ist.

Die Anordnung und Größe der Grobbodenkomponenten weisen im Bereich der Haupt- und Mittellage auf zwei getrennt voneinander gebildete Solifluktionsdecken hin. Der Grobboden ist an der Basis der Hauptlage etwas angereichert und nimmt ab 7 dm u. MOF sichtbar ab (Abb. 15).

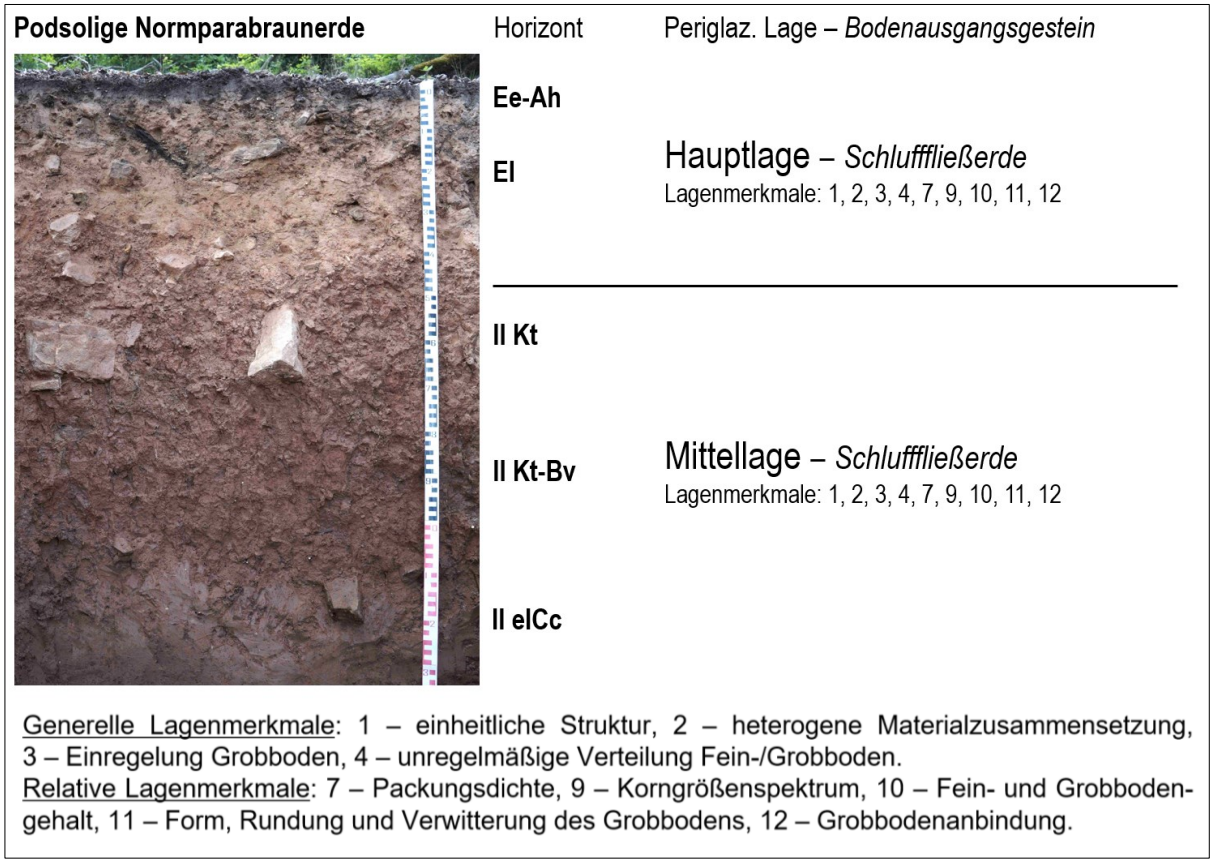


Abb. 15: Ansicht des Bodenprofils P4; Horizontabfolge, periglaziäre Lagen mit Merkmalen und Bodenausgangsgesteine (Foto: W. Fleck)

Obwohl der Profilstandort im Ausstrichbereich des Stubensandsteins liegt, besteht der Grobboden ausschließlich aus Rhätsandstein, der vom rund 300 m oberhalb gelegenen Plateaurand des Steingarts zum Profilstandort verlagert wurde. Die einzelnen Komponenten des Grobbodens sind in der oberen Schicht nicht nur kleiner, sondern weisen häufig gerundete Kanten auf und sind leicht angewittert. Die größeren Steine in der liegenden Schicht besitzen dagegen meist scharfe Kanten und sind kaum angewittert.

Beide Schichten besitzen deutliche Lössanteile mit Schluffgehalten von 50–65%. Sie unterscheiden sich in den Sandgehalten (24–28% obere Schicht bzw. 8–11% untere Schicht), was die geologische Schichtung zusätzlich unterstreicht. Der hohe Feinsandanteil geht sehr wahrscheinlich auf die Verwitterung des Rhätsandsteins zurück und zeigt den geringen bis fehlenden Einfluss des Stubensandsteins im Liegenden, der sich durch höhere Mittel- und Grobsandanteile bemerkbar machen müsste.

Die in Kapitel 2.2 aufgeführten generellen Merkmale für periglaziäre Lagen sind im Profil alle ausgeprägt. Bei den relativen Merkmalen trifft dies auf die an den Grobboden gebundenen Merkmale und die Unterschiede im Korngrößenspektrum zu. Beim Verfestigungsgrad, der Packungsdichte sowie der Grobbodenanbindung sind die Unterschiede schwächer ausgebildet. Farbe, Gefüge, Durchwurzelung, äolischer Anteil und Geogenese können dagegen nicht als relative Lagenmerkmale herangezogen werden, da sie zu geringe oder keine Unterschiede zwischen den Schichten aufweisen oder wie Farbe und Gefüge durch die Pedogenese stark verändert wurden.

4.4.3 Bodenklassifikation

Aus den lösshaltigen Fließerden (Haupt- über Mittellage) hat sich eine Normparabraunerde entwickelt, wobei der Übergang vom El- zum Kt-Horizont an der Schichtgrenze zwischen den beiden periglaziären Lagen stattfindet. Die Schlufffließerden wurden durch Entkalkung, Tonmineralneubildung und Tonverlagerung in einen Boden aus sandig-lehmigem Schluff über mittel schluffigem Ton verändert. Der II elCc-Horizont aus schluffigem Lehm setzt ab 10,5 dm u. MOF ein und besitzt Kalkkonkretionen und Kalküberzüge auf den Grobbodenkomponenten. Die Horizontfarben sind in erster Linie durch die Bodenbildung entstanden, zeichnen aber die Schichtgrenze bei 4 dm unter MOF sehr gut nach. Im Oberboden bringt die Graufärbung eine schwache Podsoligkeit zum Ausdruck. Die zugehörige pedogenetische Einheit (Subvarietät) ist eine schwach podsolige Normparabraunerde.

Tab. 23: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe[1] [cm]	Horizont	Bodenart	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangsgestein	Perigl. Lage
PODSOLIGE NORMPARABRAUNERDE AUS SCHLUFFFLIESSERDEN										
0 – 5	Ee-Ah	Uls	3	7.5YR 3/4	kru+sub	Wf4	h6	c0	pf.U-qwdj	LH
– 37	El	Uls	3-4	5YR 5/6	sub	Wf3	h2	c0	pf.U-qwdj	LH
– 72	II Kt	Tu3	4	5YR 3/6	koh+sub	Wf3	h0	c0	pf.U-qW	LM
– 105	II Kt-Bv	Tu3	3	5YR 4/4	pol	Wf3	h0	c0	pf.U-qW	LM
– 180	II elCc	Lu	2	7.5YR 4/6	-	Wf2	h0	c4	pf.U-qW	LM
– 232[2]	*II elCv*	*Lu*	*2*	*7.5YR 4/6*	-	-	*h0*	*c4*	*pf.U-qW*	*LM*
– 270+[2]	*III ilCv*	*Tl*	*4*	*5YR 3/6*	-	-	*h0*	*c0*	*pf.T-qW*	*LB*

Deutsche Klassifikation: Podsolige Normparabraunerde (pLLn)
WRB: Epiabruptic Luvisol (Loamic, Bathyprotocalcic, Cutanic, Nechic, Ochric, Epiraptic) [1]*senkrecht zur GOF gemessen*
Humusform: Typischer F-Mull (MFT) [2]*kursiv: Einschätzung im Bohrstock*

4.4.4 Bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften

Mit zunehmender Mächtigkeit der Mittellage sowie steigendem Lössanteil bei gleichzeitig abnehmendem Grobbodengehalt nimmt die nutzbare Feldkapazität der mehrlagigen Profile im NO-Hang des Steingarts zu. Das Exkursionsprofil dürfte eine auf 10 dm Bodentiefe geschätzte nutzbare Feldkapazität von 120–140 mm, gegenüber 60–100 mm bei P3, besitzen. Aufgrund der solifluidalen Genese sind die Bodenhorizonte in der Mittellage dicht gelagert, was den Zwischenabfluss in der relativ lockeren Hauptlage befördert und die Tiefensickerung stark einschränkt.

Die effektive Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung sind im El-Horizont bei pH-Werten wenig unter 4,0 am geringsten. Die Schwermetallgehalte, z. B. von Chrom, Kupfer und Nickel, bilden die geologische Schichtung zwischen Haupt- und Mittellage deutlich ab und sind nicht allein durch Verlagerung im Zuge der Pedogenese zu erklären (Tab. 28).

Tab. 24: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 5	Ee-Ah	1,6	5,1	21,7	14,6	30,4	10,4	16,1	55,5	28,4	Uls
– 37	El	2,7	4,0	17,2	25,7	25,5	8,6	16,1	59,9	24,0	Uls
– 72	II Kt	1,1	2,2	8,0	22,7	21,3	7,3	37,5	51,2	11,4	Tu3
– 105	II Kt-Bv	0,5	1,7	6,2	23,9	22,0	8,0	37,7	53,9	8,4	Tu3
– 180	II elCc	0,6	1,7	5,7	29,4	26,9	8,2	27,5	64,5	8,0	Lu

Tab. 25: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	pH	pH	Carbonat	C_{org}	N_t	C/N	Humus	P (CAL)	K (CAL)
[cm]		[H_2O]	[$CaCl_2$]	[%]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[%]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0 – 5	Ee-Ah	4,6	4,4	0	81,3	4,2	19,4	16,3	17	208
– 37	El	3,9	3,7	0	8,2	<0,5	-	1,6	1	17
– 72	II Kt	4,3	4,0	0	1,7	<0,5	-	0,3	0	66
– 105	II Kt-Bv	4,9	4,7	0	1,6	<0,5	-	0,3	9	66
– 180	II elCc	7,6	7,3	15,5	1,9	<0,5	-	0,4	2	50

Tab. 26: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 5	Ee-Ah	130,9	94	<0,17	4,3	101,0	17,5	<0,02	2,1	5,7	0,3
– 37	El	50,5	11	0,2	0,4	2,9	1,8	<0,02	43,6	1,0	0,7
– 72	II Kt	126,7	80	0,4	2,3	58,7	40,0	<0,02	23,7	0,8	0,8
– 105	II Kt-Bv	152,4	100	<0,17	1,3	98,6	51,9	<0,02	<0,01	0,5	<0,25
– 180	II elCc	213,3	100	<0,17	1,2	181,7	30,4	<0,02	<0,01	<0,01	<0,25

Tab. 27: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe	Horizont	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d
[cm]		g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	
0 – 5	Ee-Ah	1,3	4,0	0,82	0,77	0,33
– 37	El	1,6	6,2	1,2	0,32	0,26
– 72	II Kt	1,7	12,7	1,5	0,47	0,13
– 105	II Kt-Bv	1,6	13,3	1,0	0,70	0,12
– 180	II elCc	1,1	9,6	0,67	0,39	0,11

Tab. 28: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe	Horizont	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	Tl	As	U	Se
[cm]		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
0 – 5	Ee-Ah	29	0,13	13	6	10	0,12	25	0,16	4	0,66	0,18
– 37	El	21	0,06	22	6	13	0,04	21	0,16	5	0,87	0,20
– 72	II Kt	19	0,10	58	23	47	0,02	39	0,32	11	1,04	0,24
– 105	II Kt-Bv	19	0,16	62	23	62	0,02	43	0,32	11	1,00	0,18
– 180	II elCc	15	0,11	43	17	36	0,01	33	0,23	8	0,98	0,08

4.5 Profil 5 (P5)

4.5.1 Standortbeschreibung

Der Profilstandort von P5 liegt im Bereich des NW-exponierten Hanges des Steingarts auf 530 m ü. NHN in einem Buchenaltbestand. Geologisch bereits auf Stubensandstein gelegen, befindet sich das Profil im unteren Teil der mittel geneigten Oberhänge. Der Plateaurand des Rhätsandsteins ist ca. 200 m entfernt. Wenig unterhalb des Profils versteilt sich der Hang, der von zwei kerbförmigen Hangtälchen zerschnitten wird (Abb. 7).

Tab. 29: Standortbeschreibung

Bodenausgangsgesteinsfolge:	Schlufffließerde (Hauptlage) über Tonfließerde (Basislage)
Relief:	mit 22% nach Nordwesten geneigter Hang
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	530 m ü. NHN
N[1]:	763 mm
JMT[1]:	9,5 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

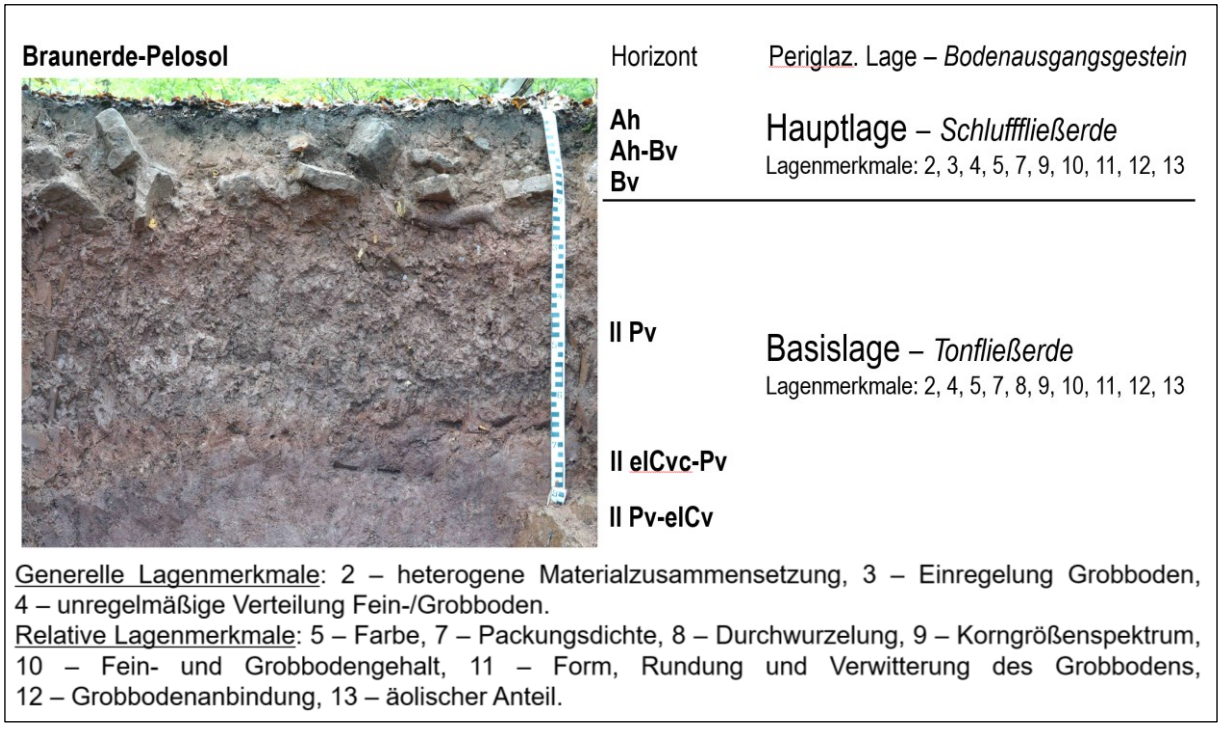


Abb. 16: Ansicht des Bodenprofils P5; Horizontabfolge, periglaziäre Lagen mit Merkmalen und Bodenausgangsgesteine (Foto: W. Fleck)

4.5.2 Periglaziäre Lagen und Bodenausgangsgestein

Im Exkursionsprofil (Abb. 16) fällt die Steinanreicherung im obersten Profilteil ins Auge, die in eine geringmächtige lössführende Fließerde eingebettet ist und diese nach unten abschließt. Die Schlufffließerde überdeckt eine rotbraun bis violett, streifig gefärbte, lössfreie Tonfließerde aus Verwitterungsmaterial des Knollenmergels mit einzelnen größeren Rhätsandsteinblöcken. Die beiden Fließerden besitzen die meisten in Kapitel 2.2 aufgeführten Merkmale periglaziärer Lagen und können als Haupt- bzw. Basislage eingestuft werden.

Neben den großen Unterschieden in Anteil, Größe und Verteilung des Grobbodens ändert sich auch die Zusammensetzung des Feinbodens an der Schichtgrenze abrupt. So nehmen z. B. die Tongehalte von 20% auf 62% zu, Schluff und Sand entsprechend ab. Die Grobbodenkomponenten in der Hauptlage sind im Gegensatz zu den wenigen Blöcken in der Basislage leicht angewittert und zeigen zumindest teilweise abgerundete Kanten durch die kryoturbate Beanspruchung. Die kantigen Blöcke in der tonigen Basislage wurden vermutlich relativ schnell in den Ton eingebunden und waren so vor Verwitterung und Kantenabrieb geschützt. Die einzelnen Blöcke kamen beim solifluidalen Transport, im Gegensatz zum Grobboden in der Hauptlage, nur wenig mit anderen Grobkomponenten in Kontakt.

Der Grobboden in der Hauptlage fällt überwiegend in die Kornfraktion der kantigen Steine mit 63 bis < 200 mm mittlerem Durchmesser. Flache Steine sind häufig oberflächenparallel eingeregelt und die Längsachsen gestreckter Komponenten in der Falllinie ausgerichtet. Die Steinanreicherung in der Hauptlage könnte als eigene Schicht innerhalb der Hauptlage gesehen werden, wird jedoch aufgrund fehlender Schichtungsmerkmale an der Oberseite der Steinlage als Ergebnis einer einzigen Fließerdebildung mit starker Gradierung eingestuft (vgl. Abb. 2). Mit einer Mächtigkeit der Hauptlage von 1,5–1,8 dm kann von einer Profilverkürzung durch anthropogen ausgelöste Bodenerosion von 2–3 dm ausgegangen werden.

4.5.3 Bodenklassifikation

Im zweilagigen Exkursionsprofil haben sich in der lössführenden Hauptlage die Bodenhorizonte Ah, Ah-Bv und Bv entwickelt. Der Bv-Horizont umfasst die Steinsohle und überdeckt mit scharfem Übergang den kalkfreien Pv-Horizont mit Polyedergefüge. Darunter folgen in 6–9 dm Profiltiefe Übergänge zwischen Pv- und lCv-Horizont mit nach unten abnehmender Gefügeentwicklung und zunehmendem Anteil von Tonmergelgrus. Der II elCv-Pcv-Horizont weist sekundäre Kalkanreicherung in Form von Konkretionen auf. Gemäß Tiefenlage des diagnostischen Pv-Horizonts ist der Boden als Braunerde-Pelosol einzustufen. Als Humusform wurde ein Mullartiger Moder bestimmt (AMM).

Zweischichtige Braunerde-Pelosole aus Hauptlage über Basislage sind in den mittel geneigten Hängen im Schönbuch, in denen die Basislage hauptsächlich aus Knollenmergelmaterial besteht, weit verbreitet und werden von Pelosol-Braunerden mit einem Bv-Horizont bzw. einer Hauptlage begleitet, die tiefer als 3 dm unter die MOF reichen.

Tab. 30: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangs-gestein	Perigl. Lage
BRAUNERDE-PELOSOL AUS SCHLUFFFLIESSERDE ÜBER TONFLIESSERDE										
0 – 4	Ah	Lu	2	7.5YR 3/4	sub+kru	Wf5	h4	c0	pf.U-qwdj	LH
– 10	Ah-Bv	Lu	3	5YR 5/6	sub	Wf4	h4	c0	pf.U-qwdj	LH
– 16	Bv	Lu	5	5YR 5/6	koh+sub	Wf4	h3	c0	pf.U-qwdj	LH
– 62	II Pv	Tu2	2	2.5YR 4/4	pol	Wf3	h2	c0	pf.T-qW	LB
– 71	II elCv-Pcv	Lt3	2	2.5YR 4/6	-	Wf2	h1	c3.4	pf.T-qW	LB
– 90	II Pv-elCv	Lt2	4	2.5YR 3/4	-	Wf2	h0	c3.4	pf-qW	LB
– 120+	II elCv	Lt2	6	7.5YR 3/3,4	-	Wf1	h0	c3.3	pf-qW	LB

Deutsche Klassifikation: Braunerde-Pelosol (BB-DD)

WRB: Hypereutric Chromic Cambisol (Episiltic, Amphiclayic, Epigeoabruptic, Endoprotocalcic, Humic, Epiraptic, Amphi-protovertic)

Humusform: Mullartiger Moder (AMM)

4.5.4 Bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften

Der abrupte Bodenartenwechsel an der Schichtgrenze, sowohl im Fein- als auch im Grobboden, prägt die Bodeneigenschaften. Die günstige Wasserspeicherkapazität im schluffigen Lehm der Hauptlage wird durch den Grobboden stark eingeschränkt und im schwach schluffigen Ton des Pv-Horizonts ist das Bodenwasser größtenteils nicht pflanzenverfügbar. Die nutzbare Feldkapazität bis 10 dm u. MOF dürfte deshalb 100 mm kaum übersteigen. Die im feuchten Zustand sehr geringe Wasserleitfähigkeit des Pv-Horizonts führt zu einem hohen Anteil an Zwischenabfluss und nur sehr geringer Tiefensickerung.

Die Basensättigung ist im Ah-Bv- und Bv-Horizont am niedrigsten, sinkt aber nicht unter 70%. Wie schon bei P4 zeichnen die Gehalte der Schwermetalle die geologische Schichtung zwischen Haupt- und Basislage deutlich nach (Tab. 35).

Tab. 31: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 4	Ah	2,1	5,1	12,7	17,0	24,6	16,0	22,6	57,6	19,8	Lu
– 10	Ah-Bv	2,3	5,9	11,5	17,5	27,5	15,1	20,1	60,2	19,7	Lu
– 16	Bv	5,6	7,1	13,4	16,0	23,9	13,9	20,1	53,8	26,1	Lu
– 62	II Pv	0,2	0,7	2,9	12,0	14,7	8,0	61,6	34,6	3,8	Tu2
– 71	II elCv-Pcv	2,5	4,5	12,9	11,9	15,4	10,5	42,4	37,8	19,8	Lt3
– 90	II Pv-elCv	2,4	6,8	24,4	11,6	11,9	9,0	33,8	32,6	33,6	Lt2
– 120+	II elCv	3,0	9,7	25,0	12,9	11,9	8,5	28,9	33,3	37,8	Lt2

Tab. 32: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	Humus [%]	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0 – 4	Ah	6,9	6,1	0	45,7	2,3	19,9	9,1	9	108
– 10	Ah-Bv	4,3	4,1	0	28,1	1,2	23,4	5,6	4	33
– 16	Bv	4,4	4,1	0	15,7	0,7	22,4	3,1	2	33
– 62	II Pv	4,7	4,5	0	5,1	0,6	8,5	1,0	0	91
– 71	II elCv-Pcv	7,3	7,3	9,3	3,2	0,5	6,4	0,6	2	50
– 90	II Pv-elCv	7,7	7,5	8,9	1,7	<0,5	-	0,3	2	50
– 120+	II elCv	7,7	7,5	6,3	1,3	<0,5	-	0,3	1	58

Tab. 33: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 4	Ah	171,1	99	<0,17	2,4	150,2	17,4	<0,02	<0,01	1,1	<0,25
– 10	Ah-Bv	78,2	76	<0,17	0,8	51,4	7,2	<0,02	15,4	2,9	0,5
– 16	Bv	57,3	79	<0,17	0,1	40,1	5,2	<0,02	9,6	1,9	0,4
– 62	II Pv	197,0	100	<0,17	<0,08	174,5	22,0	<0,02	<0,01	0,2	0,3

Tab. 34: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe [cm]	Horizont	Fe_o g kg^{-1}	Fe_d g kg^{-1}	Al_o g kg^{-1}	Mn_o g kg^{-1}	Fe_o/Fe_d
0 – 4	Ah	2,6	6,1	0,79	1,1	0,43
– 10	Ah-Bv	3,1	7,0	0,83	0,65	0,44
– 16	Bv	3,7	8,3	0,92	0,94	0,45
– 62	II Pv	1,5	12,4	1,4	0,13	0,12
– 71	II elCv-Pcv	0,80	14,9	0,79	0,34	0,05
– 90	II Pv-elCv	0,39	9,5	0,54	0,09	0,04
– 120+	II elCv	0,17	11,1	0,45	0,03	0,02

Tab. 35: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe [cm]	Horizont	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Hg mg/kg	Zn mg/kg	Tl mg/kg	As mg/kg	U mg/kg	Se mg/kg
0 – 4	Ah	28	0,20	20	5	13	0,10	25	0,16	3	0,74	0,13
– 10	Ah-Bv	32	0,13	20	4	12	0,06	24	0,17	4	0,75	0,14
– 16	Bv	27	0,08	23	4	13	0,03	18	0,14	3	0,72	0,14
– 62	II Pv	17	0,04	71	9	51	0,02	29	0,31	3	0,88	<0,1
– 71	II elCv-Pcv	17	0,05	79	6	58	0,01	28	0,35	2	1,14	<0,1
– 90	II Pv-elCv	18	0,03	66	3	56	<0,01	28	0,38	2	0,92	<0,1
– 120+	II elCv	16	0,02	65	2	54	<0,01	26	0,27	2	0,91	<0,1

4.6 Profil 6 (P6)

4.6.1 Standortbeschreibung

Im Ausstrichbereich von Sandsteinbänken des Stubensandsteins (Löwenstein-Fm.) versteilt sich der NW-exponierte Hang auf bis zu 50% Neigung und verflacht sich wieder hangabwärts im Schilfsandstein (Stuttgart-Fm.). Das Bodenprofil P6 (Abb. 17) liegt auf 490 m ü. NHN im gestreckten Steilhang zwischen zwei zum Goldersbach entwässernden Kerbtälern (Abb. 7). Der lichte Wald am Profilstandort besteht aus einem Buchenaltholz.

Tab. 36: Standortbeschreibung

Bodenausgangsgesteinsfolge:	Sandfließerde (Hauptlage) über Tonfließerde (Basislage) auf Tonstein des Mittelkeupers
Relief:	nach Nordwesten exponierter, gestreckter Steilhang (Hangneigung 50%)
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	490 m ü. NHN
N[1]:	763 mm
JMT[1]:	9,5 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

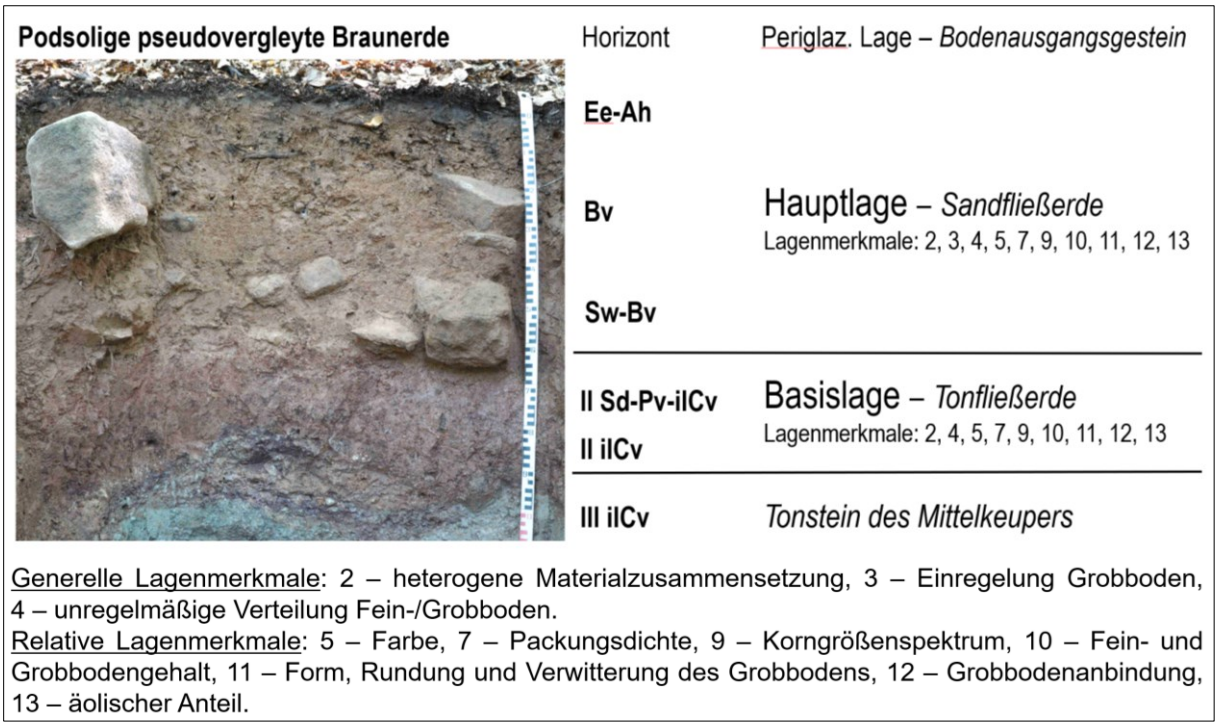


Abb. 17: Ansicht des Bodenprofils P6; Horizontabfolge, periglaziäre Lagen mit Merkmalen und Bodenausgangsgesteine (Foto: W. Fleck)

4.6.2 Periglaziäre Lagen und Bodenausgangsgestein

Exkursionsprofil P6 ist zwar nur 150 m von P5 entfernt, unterscheidet sich aber von diesem ganz erheblich. Eine Gemeinsamkeit ist der zweischichtige Aufbau aus sehr verschieden beschaffenen periglaziären Lagen. Ist die Hauptlage in P5 noch als geringmächtige Schlufffließerde mit steinigem Grobboden des Rhäts ausgebildet, so zeigt sie sich in P6, im Ausstrichbereich der Sandsteinbänke des Stubensandsteins, als 5 dm mächtige Sandfließerde mit viel steinig-blockigem Grobboden des Stubensandsteins, untergeordnet des Rhätsandsteins. Die Steine und Blöcke sind im unteren Teil der Hauptlage etwas angereichert und oberflächenparallel sowie mit ihrer Längsachse in der Falllinie eingeregelt (Abb. 17). Mit Grobschluffgehalten von 5–10% dürfte der Lössanteil nur sehr gering sein.

Dagegen ist die Basislage im Vergleich zu P5 mit 4–5 dm geringmächtiger und überdeckt verwitterte Tonsteine des Mittelkeupers. In die tonige Basislage ist Tonsteingrus eingemischt, wobei Verwitterungsmaterial des Knollenmergels scheinbar fehlt. Wie bei P5 treffen die meisten der in Kapitel 2.2 genannten Lagenmerkmale zu. Besonders die relativen Merkmale sind deutlich ausgeprägt.

Petrographische Unterschiede im liegenden Festgestein, wie beispielsweise Wechselfolgen von Sand- und Tongesteinen im Keuper, haben direkten Einfluss auf die Zusammensetzung der Hauptlage bzw. das Bodenausgangsgestein. Durch die Einschaltung von Sandsteinbänken in der unterlagernden Schichtfolge entwickelt sich die grusig-steinige Schlufffließerde mit hohem Lössanteil in P5 über kurze Distanz hangabwärts zu einer lössarmen, steinig-blockigen Sandfließerde in P6.

4.6.3 Bodenklassifikation

Im zweischichtigen Ausgangsgestein hat sich eine podsolige pseudovergleyte Braunerde entwickelt. Die Podsolierung im sandigen Oberboden zeigt sich in der grauen Färbung im Ee-Ah- und Ah-Ee-Horizont. Der regelmäßig auftretende Zwischenabfluss äußert sich in einer schwachen Pseudovergleyung im Sw-Bv-Horizont. Darunter hat sich in der grusführenden, tonigen Basislage ein Horizont mit Kohärentgefüge und Rostflecken bei schwacher Ausbildung von Polyedern entwickelt, der als II Sd-Pv-ilCv-Horizont eingestuft wurde. Der II ilCv-Horizont mit sehr viel Tonsteingrus beginnt ab 8 dm u. MOF.

Tab. 37: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe[1] [cm]	Horizont	Boden-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carb. [Stufe]	Ausgangs-gestein	Perigl. Lage
PODSOLIGE PSEUDOVERGLEYTE BRAUNERDE AUS SANDFLIESSERDE ÜBER TONFLIESSERDE AUF TONSTEIN										
0–1,5	Ee-Ah	Sl2	2	7.5YR 3/2	kru-koh	Wf5	h5	c0	pf.S-qwdj	LH
– 5	Ah-Ee	Sl2	2	7.5YR 4/3	koh	Wf4	h3	c0	pf.S-qwdj	LH
– 35	Bv	Sl3	3	7.5YR 4/6	sub	Wf3	h2	c0	pf.S-qwdj	LH
– 50	Sw-Bv	Sl2	4	7.5YR 5/4	sub-koh	Wf3	h1	c0	pf.T-qW	LB
– 80	IISd-Pv-ilCv	Ts2	3	5YR 3/6	por-koh	Wf3	h1	c0	pf.T-qW	LB
– 95	II ilCv	Lts	6	2.5YR 2/4+ 5YR 3/6	pol-koh	Wf2	h0	c3.4	pf.T-qW	LB
– 110+	III ilCv	Lt2	-	5Y 6/1	-	Wf1	h0	c1	So-km	-

Deutsche Klassifikation: podsolige pseudovergleyte Braunerde (p.sBBn)

WRB: Endoeutric Dystric Chromic Cambisol (Epiloamic, Endoclayic, Geoabruptic, Ochric, Magnesic, Nechic, Raptic)

Humusform: Moder (AM)

[1] *senkrecht zur GOF gemessen*

4.6.4 Bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften

Da die Größe der Grobbodenkomponenten in der Hauptlage stark schwankt und diese sehr heterogen verteilt sind, ist die Abschätzung des Gesamtanteils schwierig. Für die Ableitung der nutzbaren Feldkapazität wurden für den Bv-Horizont mittlere Grobbodengehalte von ca. 20% und für den Sw-Bv-Horizont 40% angenommen. Aus den Messwerten (Tab. 39), die für die grusführende Basislage geringe nFK-Werte um 5 mm ergaben, errechnet sich eine nutzbare Feldkapazität bis 10 dm Profiltiefe von 80–110 mm.

Die hohen Sandgehalte (73–78%) und sehr geringen Tongehalte (5–8%) in der Hauptlage führen bei sehr stark sauren bis extrem sauren pH-Werten zu einem geringen bis sehr geringen Basensättigungsgrad. In der unterlagernden Basislage stellen sich mit scharfem Übergang bei mäßig saurem pH-Wert basengesättigte Verhältnisse ein. Die effektive Kationenaustauschkapazität von 30–50 $mmol_c\ kg^{-1}$ in der Hauptlage steigt auf 180 $mmol_c\ kg^{-1}$ in der Basislage an. Auch hier spiegeln die Schwermetallgehalte, z. B. von Chrom, Kupfer und Nickel, sowie die Arsengehalte die geologische Schichtung wider.

Tab. 38: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 1,5	Ee-Ah	15,7	41,6	20,4	6,5	5,6	4,8	5,4	16,9	77,7	Sl2
– 5	Ah-Ee	16,3	45,2	16,1	7,7	5,4	4,1	5,1	17,2	77,7	Sl2
– 35	Bv	16,7	39,0	18,5	8,8	5,1	3,8	8,2	17,7	74,1	Sl3
– 50	Sw-Bv	15,9	38,9	18,3	8,2	6,6	5,1	6,9	19,9	73,2	Sl2
– 80	II Sd-Pv-ilCv	21,7	12,6	6,0	4,8	4,0	2,3	48,8	11,0	40,2	Ts2
– 95	II ilCv	16,0	10,5	15,3	9,8	12,8	6,5	29,1	29,1	41,8	Lts
– 110+	III ilCv	6,0	15,2	12,2	10,1	13,1	10,8	32,6	34,0	33,4	Lt2

Tab. 39: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0 – 1,5	Ee-Ah	-	-	-	-	-	-
– 5	Ah-Ee	1,22	54,1	14,8	39,3	24,6	14,7
– 35	Bv	1,47	44,1	21,2	23,3	14,1	9,2
– 50	Sw-Bv	1,72	35,1	14,8	20,3	8,8	11,5
– 80	II Sd-Pv-ilCv	1,54	41,9	0,5	41,4	4,7	36,7

Tab. 40: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	Humus [%]	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0 – 1,5	Ee-Ah	3,5	2,9	0	65,3	3,1	21,1	13,1	13	108
– 5	Ah-Ee	3,6	3,1	0	17,2	0,6	28,7	3,4	3	25
– 35	Bv	4,0	3,6	0	7,5	<0,5	-	1,5	0,4	8
– 50	Sw-Bv	4,2	3,7	0	2,5	<0,5	-	0,5	0	8
– 80	II Sd-Pv-ilCv	4,6	5,0	0	2,1	<0,5	-	0,4	<4	58
– 95	II ilCv	6,9	6,9	7,33	1,8	<0,5	-	0,4	0	58
– 110+	III ilCv	6,9	6,7	0,17	1,3	<0,5	-	0,3	<4	75

Tab. 41: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{eff} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	eff. austauschbare Kationen [mmol/z/kg]							
				Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 1,5	Ee-Ah	50,7	41	<0,17	1,6	9,9	9,3	1,6	19,8	0,1	8,5
– 5	Ah-Ee	36,8	11	<0,17	0,3	1,2	2,6	0,7	28,9	0,04	3,1
– 35	Bv	37,6	11	<0,17	0,1	1,8	2,2	<0,02	32,2	0,6	0,7
– 50	Sw-Bv	29,8	22	<0,17	<0,08	3,7	2,9	<0,02	21,9	0,9	0,4
– 80	II Sd-Pv-ilCv	178,0	100	<0,17	<0,08	107,4	70,3	<0,02	<0,01	0,3	<0,25

Tab. 42: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe [cm]	Horizont	Fe_o g kg^{-1}	Fe_d g kg^{-1}	Al_o g kg^{-1}	Mn_o g kg^{-1}	Fe_o/Fe_d
0 – 1,5	Ee-Ah	0,44	1,5	0,57	<0,02	0,29
– 5	Ah-Ee	0,30	1,1	0,47	<0,02	0,27
– 35	Bv	0,99	2,2	0,73	0,16	0,45
– 50	Sw-Bv	1,3	3,0	0,65	0,34	0,43
– 80	II Sd-Pv-ilCv	1,3	5,7	0,99	1,2	0,23
– 95	II ilCv	0,62	6,1	0,56	0,88	0,10
– 110+	III ilCv	0,20	1,4	0,60	0,19	0,14

Tab. 43: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe [cm]	Horizont	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Hg mg/kg	Zn mg/kg	Tl mg/kg	As mg/kg	U mg/kg	Se mg/kg
0 – 1,5	Ee-Ah	16	0,09	4	2	3	0,06	12	0,09	1	0,52	0,15
– 5	Ah-Ee	8	0,04	3	1	2	0,02	9	0,07	1	0,58	0,27
– 35	Bv	10	0,04	7	1	4	0,02	7	0,10	1	0,79	0,04
– 50	Sw-Bv	9	0,03	9	2	5	0,02	6	0,10	1	0,80	0,05
– 80	II Sd-Pv-ilCv	17	0,15	58	10	36	0,02	29	0,31	4	0,95	0,09
– 95	II ilCv	21	0,08	226	6	33	<0,01	32	0,36	7	1,90	0,04
– 110+	III ilCv	70	0,04	165	4	42	<0,01	37	0,56	2	2,09	0,39

5 Zusammenfassende Betrachtung der Bodenverhältnisse im Exkursionsgebiet

Auf der Hochfläche des Steingarts sind Braunerden mit schwacher Podsolierung weit verbreitet (P2). Der Bv-Horizont nimmt die gesamte Hauptlage ein und besitzt in der Regel einen deutlichen Lössanteil, der in exponierten Reliefpositionen, wie z. B. den schmalen Plateaurändern, sehr gering sein kann. Podsole (P1) und podsolige Ranker (Fels- und Lockerranker) lösen dann die Braunerden ab. Dagegen haben sich auf den lössreichen Deckschichten im Plateauzentrum zweilagige Parabraunerden mit einer Ah-/El-/IIKt-Horizontabfolge in der Haupt- und Mittellage entwickelt.

An den Hängen herrschen je nach Mächtigkeit der Hauptlage und des Bv-Horizonts Braunerde-Pelosole und Pelosol-Braunerden (Bv bis < 3 dm bzw. 3–7 dm u. MOF reichend) aus Sand-, Schluff- und Lehmfließerden (Hauptlage) über Tonfließerde (Basislage) vor (P5, P6). Die Braunerde-Pelosole sind vermutlich durch anthropogen bedingte Erosion aus ehemaligen Pelosol-Braunerden entstanden. Die hohen Tongehalte in der Basislage führen an den steileren Hängen zu raschem Zwischenabfluss an der Schichtgrenze, der sich im Profil in Form von schwachen Staunässemerkmalen im unteren Teil der Hauptlage abzeichnet (P6).

Staunässe tritt verstärkt in den Hangmulden auf der Nordostseite des Steingarts auf, die neben dem stauenden Unterboden häufig noch Zufluss aus dem Zwischenabfluss und den Schichtquellen erhalten (P3). Dabei kommen in Bereichen mit Haupt- über Basislage alle Übergänge zwischen Pelosol, Braunerde und Pseudogley, mit Mittellage auch zwischen Parabraunerde bis Pseudogley, vor. Wie bei den Parabraunerden auf der Hochfläche haben sich bei Letzteren El- und Sw-Horizont in der Haupt-, II Kt- und II Sd-Horizont in der Mittellage entwickelt. Die feuchten Mulden in den Knollenmergelhängen sind Ausgangspunkt von kleineren, meist nur zeitweise Wasser führenden Gerinnen, die im Stubensandstein schluchtartige Hangtälchen, sogenannte Klingen, eingetieft haben. Darüber hinaus finden sich in den NO-exponierten Steilhängen auch immer wieder Bereiche mit mächtiger lössreicher Mittellage unter der Hauptlage. Staunässe spielt hier keine Rolle und es haben sich Normparabraunerden entwickelt (P4).

An den Unterhängen entlang des Goldersbachs setzen sich in den Steillagen über den Bunten Mergeln (Steigerwald- bis Mainhardt-Fm.) und dem Schilfsandstein (Stuttgart-Fm.) zweilagige Pelosol-Braunerden und Braunerde-Pelosole fort.

Auf Hangverflachungen im Schilfsandstein kommen kleinflächig schluffig-feinsandige, teils vernässte Braunerden dazu.

6 Methoden

Die Bodenansprache wurde gemäß IUSS (2022) und AG Boden (2024) durchgeführt.

Bodenphysikalische Methoden

Die Korngrößenbestimmung erfolgte gemäß der kombinierten Sieb- und Pipettmethode nach Köhn (ISO 11277), die Trockenrohdichte (TRD, g cm^{-3}) wurde durch Trocknen von ungestörten Stechzylinderproben (100 cm^3) nach (DIN 19683-12) bestimmt. Die Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen wurden bis pF 2,8 durch Druckentwässerung von Stechzylinderproben und für pF 4,2 an gestörten Teilproben bestimmt (DIN 19683-5, modifiziert).

Bodenchemische Methoden

Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtkohlenstoff (C_t) und Gesamtstickstoff (N_t) wurde durch Verbrennung im Elementaranalysator bestimmt. Die Berechnung des Karbonatgehalts erfolgte durch Abzug des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) vom Gesamtkohlenstoff (C_t).

Pflanzenverfügbares Phosphat (P_2O_5) und Kalium (K_2O) wurde im Calciumlactat-Auszug, pflanzenverfügbares Magnesium (Mg) im Calciumchlorid-Auszug analysiert (VDLUFA 1991). Die Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) erfolgte nach Extraktion mit NH_4Cl im Schüttelverfahren beim pH des Bodens. Pedogene Fe-, Al- und Mn-Oxide wurden durch Oxalat- bzw. Dithionit-Extraktionen in Anlehnung an Schwertmann (1964) bzw. Mehra & Jackson (1960) bestimmt. Die Schwermetalle wurden in Königswasser extrahiert (DIN 38414) und mittels ICP-MS gemessen. Die pH-Messungen in $CaCl_2$ und H_2O erfolgten durch elektrometrische Messung (DIN ISO 10930).

Danksagung

Die Vorbereitung der Exkursion wurde vom Landesforstbetrieb ForstBW (Forstbezirk Schönbuch), insbesondere von Revierförster Christian Knecht, unterstützt. Die Bodenanalysen führten die Mitarbeiter*innen im Labor des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) durch. Einar Eberhardt von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat die Einstufung der Bodenprofile nach der internationalen WRB-Klassifikation beigesteuert. Allen Beteiligten ein herzliches Dankeschön!

Literatur

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung, 6. Aufl., 552 S., 73 Abb., 160 Tab.; Hannover.

AG Geologie (2024): Geologische Kartieranleitung, Geogenetische Definitionen für Lockergesteine.- https://www.geokartieranleitung.de/Fachliche-Grundlagen/Genese-und-Geogenese/Geogenetische-Definition/Lockergesteine.

Altermann, M., Jäger, K.-D., Kopp, D., Kowalkowski, A., Kühn, D., Schwanecke, W. (2008): Zur Kennzeichnung und Gliederung von periglaziär bedingten Differenzierungen in der Pedosphäre. – Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz, H.6, S. 5–42, 5 Fig., 2 Tab., Greifswald.

Arnold, W. (1986): Der Wald im Naturpark Schönbuch. - In: Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. – DFG, Dt. Forschungsgemeinschaft, Hrsg. Von G. Einsele, Weinheim, VCH-Verlag.

Bibus, E. (1986): Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenprofil, Standort und junge Reliefentwicklung im Schönbuch bei Tübingen. – In: Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. – DFG, Dt. Forschungsgemeinschaft, Hrsg. Von G. Einsele, Weinheim, VCH-Verlag.

DWD Climate Data Centerökologische (CDC), Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2 m) für Deutschland 1991–2020, Version v1.0.

Einsele, G., Agster, G. (1986): Überblick zur Geologie und Morphologie des Schönbuchs. - In: Das landschafts-ökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. – DFG, Dt. Forschungsgemeinschaft, Hrsg. Von G. Einsele, Weinheim, VCH-Verlag.

IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

Kleber, A., Terhorst, B. (Hrsg., 2013): Mid-latitude slope deposits (cover beds). – Developments in Sedimentology, 56: 302 S.; Oxford (Elsevier).

Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19

Mehra, O.P., Jackson, M.L. (1960): Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Minerals 7: 317–327.

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2015a): Geologische Karte 1 : 50.000, Geodaten der Integrierten geowissenschaftlichen Landesaufnahme (GeoLa); mit jährlicher Aktualisierung.
https://www.lgrb-bw.de

Regnath, R. J. (2024): Energie – Werkstoffe, Nahrung. Wald als zentrale Rohstoffquelle der Frühen Neuzeit anhand südwestdeutscher Quellen. – In: Hirbodian, S. & Scheible, T. (Hrsg.): Mensch und Wald seit dem Mittelalter; Schriften zur südwestdeutschen Landeskunde, Bd. 87, S. 77–93, Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern.

Rohdenburg, H. (1968): Jungpleistozäne Formung in Mitteleuropa. Beiträge zur Kenntnis, Deutung und Bedeutung ihrer räumlichen und zeitlichen Differenzierung. – Göttinger Bodenkundl. Ber. 6: 3–107, 39 Abb., Göttingen.

Roos, W. (2021): Klimageographie des Herrenberger Gäus. – https://www.academia.edu/60105475/Roos_Klima

Sauer, D. (2002): Genese, Verbreitung und Eigenschaften periglaziärer Lagen im Rheinischen Schiefergebirge – anhand von Beispielen aus Westerwald, Hunsrück und Eifel. – Boden und Landschaft 36.

Schilling, W., Wiefel, H. (1962): Jungpleistozäne Periglazialbildungen und ihre regionale Differenzierung in einigen Teilen Thüringens und des Harzes. – Geologie 11: 428–460.

Schwertmann, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 105: 194–202.

Semmel, A. (1968): Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. Frankf. Geogr. H. 45: 133 S., 35 Abb., Frankfurt a. M.

VDLUFA (1991): Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden. – 4. Aufl.; Darmstadt.

E10: Klimaschützer Waldboden: Ergebnisse zu Treibhausgasflüssen aus dem forstlichen Umweltmonitoring

Andrea Hölscher, Peter Hartmann, Verena Lang, Kerstin Näthe, Lisa Rubin, Heike Puhlmann

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg,
Abteilung Boden und Umwelt

1 Einleitung

Die Exkursion führt in den Nordschwarzwald zu einer Messfläche des intensiven forstlichen Monitorings bei Altensteig sowie zu zwei Punkten der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE). Bei Altensteig werden Messeinrichtungen zur Erfassung von Stoffkreisläufen in Wäldern vorgestellt und Ergebnisse des inzwischen mehr als 25-jährigen Monitorings diskutiert. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Bilanzierung des Kohlenstoffkreislaufs der untersuchten Waldbestände sowie Treibhausgasflüssen im Waldboden. An einer weiteren Station der Exkursion werden Arbeiten zum Einfluss von Totholz auf die Kohlenstoffbilanz gezeigt. An den auf der weiteren Exkursionsroute liegenden Bodenprofilen der BZE werden weitere typische Waldböden vorgestellt und Ergebnisse der laufenden Wiederholungsinventur (BZE 3) besprochen.

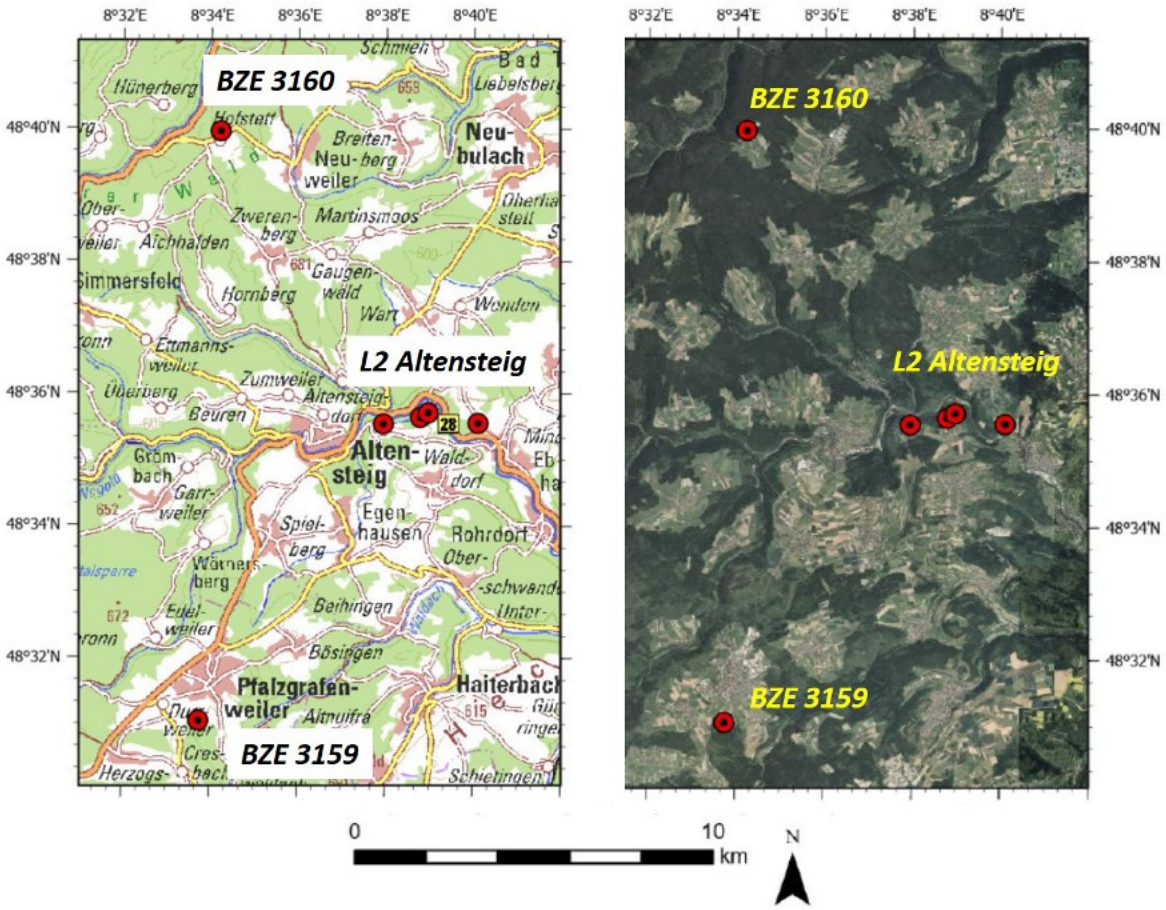


Abb. 1: Übersicht über die Exkursionspunkte

2 Exkursionsgebiete

Die Exkursion führt zu Waldstandorten in der naturräumlichen Haupteinheit Nr. 150, den „Schwarzwald-Randplatten“ in der Großlandschaft Schwarzwald im Südwestdeutschen Stufenland gemäß der Systematik des Handbuchs der naturräumlichen Gliederung Deutschlands (Meynen & Schmithüsen 1952–1963). Sie erstrecken sich am östlichen und nördlichen Rand des Nordschwarzwalds von Freudenstadt über Pforzheim bis in die Außenbezirke von Karlsruhe. Die Nagold und die Alb sind die bestimmenden Fließgewässer des Naturraums.

Die Schwarzwald-Randplatten umgeben den Schwarzwald im Norden und Osten und bestehen hauptsächlich aus Schichten des Oberen Buntsandsteins. Sie bilden die Übergangszone zum Gäu, wobei die Hochflächen von 850 m ü. NHN auf bis zu 300 m ü. NHN abfallen. Die tief eingeschnittenen Sohlentäler sind ein weiteres wichtiges Landschaftselement.

Die Böden der Hochflächen sind tonig-lehmig und tiefgründig verwittert, während die Täler von periglazialem Schutt und sandigen Böden geprägt sind. Die Hänge sind überwiegend bewaldet, während die Täler und einige Rodungsinseln Grünland aufweisen. Die Forstwirtschaft prägt das Landschaftsbild stark, wohingegen Ackerbau nur in den Tallagen betrieben wird. Auf den Rodungshochflächen dominiert die Grünlandwirtschaft.

Die Region weist eine hohe Dichte an historischen Gruppensiedlungen auf und ist ein beliebtes Naherholungsgebiet. Das großflächige Waldsystem bietet wertvolle Biotopstrukturen. Die fichtendominierten Wirtschaftswälder sind jedoch von Artenverarmung bedroht. Es gibt mehrere Landschaftsschutz- und FFH-Schutzgebiete (BfN 2025).

3 Beschreibung der Exkursionspunkte

3.1 Station 1: Level II-Fläche Altensteig Buche

Altensteig ist eine der sieben Standorte des intensiven forstlichen Umweltmonitorings in Baden-Württemberg. Jeder dieser Standorte umfasst eine Freilandfläche sowie je eine Intensivmessfläche in benachbarten Fichten- und Buchenbeständen. Auf dieser Exkursion wird die Buchenfläche genauer betrachtet.

Die Buchenfläche liegt auf etwa 490 m. ü. NHN und ist leicht nach Südost geneigt. Auf der Fläche herrscht eine Jahresmitteltemperatur von 8,5 °C und die mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 817 mm (Abb. 2).

Die Buchenmessfläche hat eine zweischichtige Struktur mit lichtem Einzelbaumbestand. Neben der Hauptbaumart Rotbuche kommen die Gemeine Fichte, Weißtanne, Gemeine Waldkiefer, Europäische Lärche, Stieleiche und Roteiche vor (Tab. 1). Das Alter des Hauptbestandes beträgt 145 Jahre (Stand 2025).

Tab. 1: Baumartenverteilung (Kraft‘sche Klasse 1–3)

Baumart	Baumanteil (%)
Rotbuche	46%
Gemeine Fichte	38%
Weißtanne	6%
Waldkiefer	4%
Europäische Lärche	2%
Stieleiche	2%
Roteiche	2%

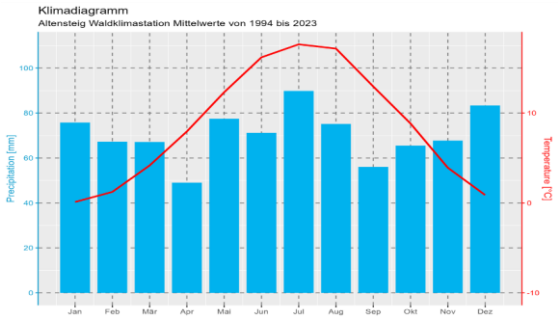


Abb. 2: Klimadiagramm der Freilandfläche Altensteig (Mittelwerte von 1994 bis 2023)

3.1.1 Untersuchungsprogramm

In Deutschland ist das forstliche Umweltmonitoring seit 2014 in der Rechtsverordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV) geregelt. Viele Erhebungen des forstlichen Umweltmonitorings sind außerdem integriert in das International Cooperative Programme on Forests (ICP Forest), an dem inzwischen 42 Staaten mit insgesamt 640 Level-II-Flächen beteiligt sind (Stand 2022). Die Level II-Dauerbeobachtungsflächen sind der intensiv beprobte Teil des forstlichen Umweltmonitoring. Das Level-II-Programm wird von Bund und Ländern gemeinsam getragen.

Die sieben Standorte des Level-II-Messnetzes in Baden-Württemberg (Altensteig, Conventwald, Esslingen, Heidelberg, Möringen (im Aufbau), Ochsenhausen und Rotenfels) mit insgesamt 12 Intensivmessflächen sind eine Untermenge der Depositionsmessnetzstandorte und der Kronenzustands-Dauerbeobachtungsflächen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt. An diesen Standorten werden die Ursache-Wirkungszusammenhänge in Waldökosystemen genauer untersucht.

Das Programm der Level-II-Flächen ist im Wesentlichen durch zwei fundamentale Eigenschaften gekennzeichnet: Langfristigkeit und Vergleichbarkeit. Die erste Eigenschaft wird durch die teilnehmenden Staaten verantwortet, welche die zeitlich nicht determinierte Aufrechterhaltung der Messflächen vertraglich zugesagt haben. Die Zeitreihen können jedoch auf einzelnen Flächen unterbrochen werden, wenn unvorhersehbare Ereignisse wie große Waldbrand- oder Sturmereignisse die Flächen mittel- bis langfristig massiv beeinflussen. Die Vergleichbarkeit der Messungen soll durch den standardisierten Aufbau der Flächen anhand von nationalen Vorgaben und des ICP Forests Manuals (http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual) gewährleistet werden. Die Beobachtungsflächen sollen soweit möglich erhalten werden, selbst wenn sich der Zustand (beispielsweise durch das zunehmende Alter der Bestände) ändert. Neben den Vorgaben zur räumlichen Gestaltung der Messflächen regelt das ICP Forest Manual auch, welche Parameter mit welchen Methoden und in welcher zeitlichen Auflösung erfasst werden sollen (Abb. 3, Tab. 2). Auch die Analyse chemischer und physikalischer Parameter erfolgt nach einem einheitlichen Standard.

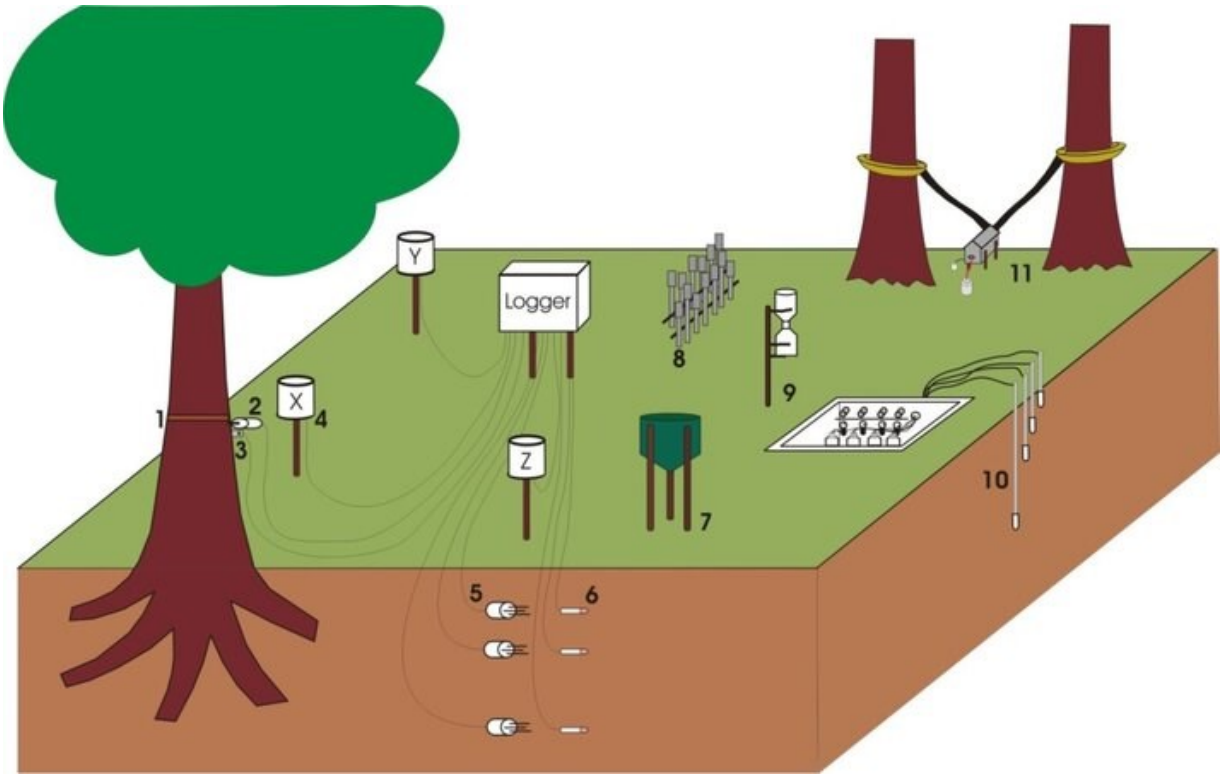


Abb. 3: Messeinrichtungen auf den Intensivmessflächen im Wald. 1: Umfangsmaßband, 2: Dendrometer, 3: Thermometer, 4: Niederschlagswippen, 5: FDR-Sonden (Bodenfeuchtemessung), 6: pF-Meter (Matrixpotential und Bodentemperatur), 7: Streusammler, 8: Sammeleinrichtung für Bodenluft (Gaslysimeter), 9: Totalisator, 10: Saugkerzen zur Gewinnung von Bodenlösung, 11: Stammabflussanlage (Bild: Anna Völlmecke)

Tab. 2: Messgrößen des intensiven forstlichen Umweltmonitoring

Erhebung	Erhebungsmerkmale	Erhebungsturnus
Deposition	Stoffkonzentrationen im Niederschlagswasser: Schwefel- und Stickstoffverbindungen, außerdem Kalium, Magnesium, Calcium, Natrium, Schwermetalle und andere Substanzen	fortlaufend
Bodenmeteorologie	Bodenfeuchte, Bodentemperatur und Matrixpotential	fortlaufend
Meteorologie	Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung, Wind	fortlaufend
Luftqualität	Luftchemie: Konzentration von Stickoxiden, Ammoniak, Schwefeldioxid, Ozon in der Luft	fortlaufend
Phänologie	Entwicklungsstadien der Bäume im Jahresverlauf, z.B. Zeitpunkt des Austriebs neuer Blätter, der Blüte, des herbstlichen Blattfalls	jährlich
Kronenzstand	Kronenzustand, Absterberate, Schäden durch Pilze, Insekten, Trockenheit, Hitze, Frost	jährlich
Ozonschäden	Schäden an Blättern	jährlich
Zuwachs	Baumanzahl, Baumart, Messung von Durchmesser und Höhe an Einzelbäumen	alle fünf Jahre
Nadel- und Blattanalysen	Elementgehalte (z.B. Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Calcium, Magnesium, Kalium, Aluminium, Schwermetalle) in den Blättern/Nadeln, durchschnittliche Blattmasse	jährlich bzw. alle zwei Jahre

Tab. 2: Messgrößen des intensiven forstlichen Umweltmonitoring (Fortsetzung)

Blattflächenindex	Fläche der Blätter und Nadeln pro Einheit Bodenfläche	mind. alle zwei Jahre
Streufall	Streumenge: herabfallende Früchte, Blätter und Zweige; Streuchemie: Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Calcium, Magnesium, Kalium, Schwermetalle	fortlaufend
Boden	Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Calcium, Magnesium, Kalium, Aluminium, pH-Wert, Schwermetalle, physikalische Bodenparameter	alle 10–20 Jahre
Bodenlösung	Ionenkonzentrationen im Bodenwasser in unterschiedlichen Bodentiefen, z.B. Nitrat, Phosphor, Schwefel, Calcium, Magnesium, Kalium, Aluminium, Schwermetalle, pH-Wert	fortlaufend
Vegetation	Bestandesstruktur, Pflanzenarten, Deckungsgrade der Kraut- und Strauchvegetation	alle fünf Jahre

3.1.2 Beschreibung des Standorts und des Bodenprofils

Der Standort ist ein Braunerde-Pseudogley mit der Humusform L-Mull (Abb. 4). Das Ausgangsgestein ist eine Fließerde aus Oberem Buntsandstein, die durch Solifluktion und Hangrutschen entstanden ist. Darauf aufliegend befindet sich ein Stauwasserleiter, der teilweise luftarm ist. Dieser staunässebeeinflusste Unterbodenhorizont ist typisch für Pseudogleye. Dieser Horizont geht fließend über in einen durch Verbraunung und Verlehmung geprägten Unterbodenhorizont.

Der Oberboden und Teile des Unterbodens bestehen aus sandig lehmigem Schluff. Der staunässebeeinflusste Unterboden ist im oberen Bereich ein stark lehmiger Sand und geht dann in einen schwach tonigen Lehm über.



Abb. 4: Ansicht des Bodenprofils am Standort Altensteig (Foto: H. Buberl)

Tab. 3: Profilbeschreibung nach KA6

O (cm)	U (cm)	Horizont KA5	Horizont KA6	Bodenart	Steine (Vol.-%)	Gefügeform	Humus	Durchwurzelungsintensität	Carb
+7	+3	Ol	Vb		lo	-	Wf 0	+7	
+3	0	Of	Vb		lo	-	Wf 0	+3	
0	–6	Ah	Uls	1	kru	h 4	Wf 5	0	c0
–6	–17	Ah-Bv	Uls	3	kru	h 3	Wf 5	–6	c0
–17	–42	Bv	Uls	3	kru	h 3	Wf 4	–17	c0
–42	–85	Bv-Sw	Sl3	15	sub	h 2	Wf 3	–42	c0
–85	–105	II-Sw	Lt2	25	sub	h 2	Wf 1	–85	c0

3.1.3 Bodenanalysen

Tab. 4: Bodenchemische Eigenschaften Profil Level II-Fläche Altensteig Buche

Tiefe (cm)	pH (H_2O)	pH ($CaCl_2$)	Elektr. Leitf. (mS cm^{-1})	C_{org} (mg g^{-1})	C_{anorg} (mg g^{-1})	N_t (mg g^{-1})	C/N	P_t (µg g^{-1})
0–5	4,8	4,2	x	21,5	0	1,6	13,3	0,19
–10	4,4	3,9	x	16,0	0	1,1	14,3	0,15
–30	4,6	4,0	x	9,7	0	0,7	14,1	0,11
–60	4,5	4,0	x	2,7	0	0,3	9,6	0,09
–90	4,4	3,9	x	1,2	0	0,2	5,3	0,08

Tab. 5: Bodenchemische Eigenschaften Profil Level II-Fläche Altensteig Buche (Forts.)

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung (% der KAK_{eff})							
(cm)	($mmol_c$ kg^{-1})	(%)	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–5	55,5	45,8	0,6	3,5	33,0	8,8	0,5	37,3	13,1	3,2
–10	52,1	11,5	0,4	1,9	6,6	2,7	0,5	77,4	6,3	4,3
–30	41,5	13,2	0,5	2,4	7,5	2,8	0,3	77,1	6,4	2,9
–60	34,3	9,8	0,8	2,9	3,8	2,4	0,4	83,7	3,9	2,2
–90	34,2	9,8	0,8	3,0	3,3	2,8	0,2	85,4	1,9	2,7

Tab. 6: Korngrößenverteilung und Bodenart nach KA6

Tiefe (cm)	Partikelgrößenverteilung (Masse-%)					Bodenart
	S	gU	mU	fU	T	
0–10	60,2	16,3	7,1	5,0	11,4	Sl3
–20	62,3	14,6	8,1	4,4	10,6	Sl3
–40	61,9	13,5	8,7	4,5	11,4	Sl3
–80	59,5	13,1	6,6	3,6	17,2	Ls4

3.1.4 Ausgewählte Ergebnisse: Kohlenstoffkreislauf

Der Kohlenstoffkreislauf im Waldökosystem ist ein komplexes und dynamisches System, das verschiedene Komponenten sowie zeitliche und räumliche Interaktionen umfasst und von äußeren Faktoren wie Klimawandel, Waldbränden oder menschlichen Eingriffen beeinflusst werden kann.

Beteiligte Prozesse sind Photosynthese, Respiration, Dekomposition und Kohlenstoffspeicherung. Letzteres geschieht v.a. im Waldboden und in der oberirdischen Biomasse. Wichtige Eintragspfade für Kohlenstoff in das Ökosystem sind Photosynthese, Streufall und Niederschlag. Die Kohlenstoffausträge finden größtenteils über das Sickerwasser (als DOC, engl. „dissolved organic carbon“) und die Bodenatmung (als CO_2) statt. Wird mehr

Kohlenstoff im Ökosystem gespeichert als abgegeben, spricht man von einer Kohlenstoffsenke, im gegenteiligen Fall von einer Kohlenstoffquelle.

Vorgestellt werden im Folgenden die Eintragspfade über den Niederschlag und die Streu, sowie den Austragspfad über die Bodenatmung für den Betrachtungszeitraum 2012 bis 2022.

3.1.4.1 Eintrag von Kohlenstoff mit Niederschlag und Streufall

Mit dem Niederschlag und dem Streufall wird Kohlenstoff in gelöster (DOC) und partikulärer (POC, engl. „particulate organic carbon“) Form eingetragen. Im Durchschnitt werden im Fichtenbestand 86 kg DOC ha^{-1} a^{-1} über den Bestandesniederschlag in den Boden eingetragen (Abb. 5a). Der DOC-Eintrag in der Buche ist um die Hälfte geringer. Der Stammabfluss ist im Buchenbestand bedeutend, liegt aber mit 2,1 bis 7,0 kg C ha^{-1} a^{-1} unter der Eintragsfracht mit dem Bestandes- oder Freilandniederschlag. Während der Stammabfluss bezogen auf die Wassermenge nur 2 bis 5% des Bestandesniederschlags ausmacht, beträgt die DOC-Fracht im (aufkonzentrierten) Stammabfluss etwa 10 bis 38% des DOC-Eintrags mit dem Freilandniederschlag. Dies deckt sich mit Werten von 3 bis 11% aus der Literatur (Herwitz & Levia Jr 1997, Nihlgård 1970).

Im Fichtenbestand zeigen die Jahresfrachten von DOC einen leicht ansteigenden Trend (Abb. 5b) Besonders auffällig ist der Peak im Jahr 2020 (133 kg C ha^{-1}), der auch im Buchenbestand (61 kg C ha^{-1}) zu sehen ist und wahrscheinlich durch einen erhöhten Pollenflug im Mai/Juni 2020 verursacht wurde (Meining et al. 2020). Das unterstreicht die Bedeutung des Bestandesniederschlags als wichtige Komponente im C-Kreislauf, welcher einen erheblichen Einfluss auf die ökohydrologischen und biogeochemischen Prozesse hat.

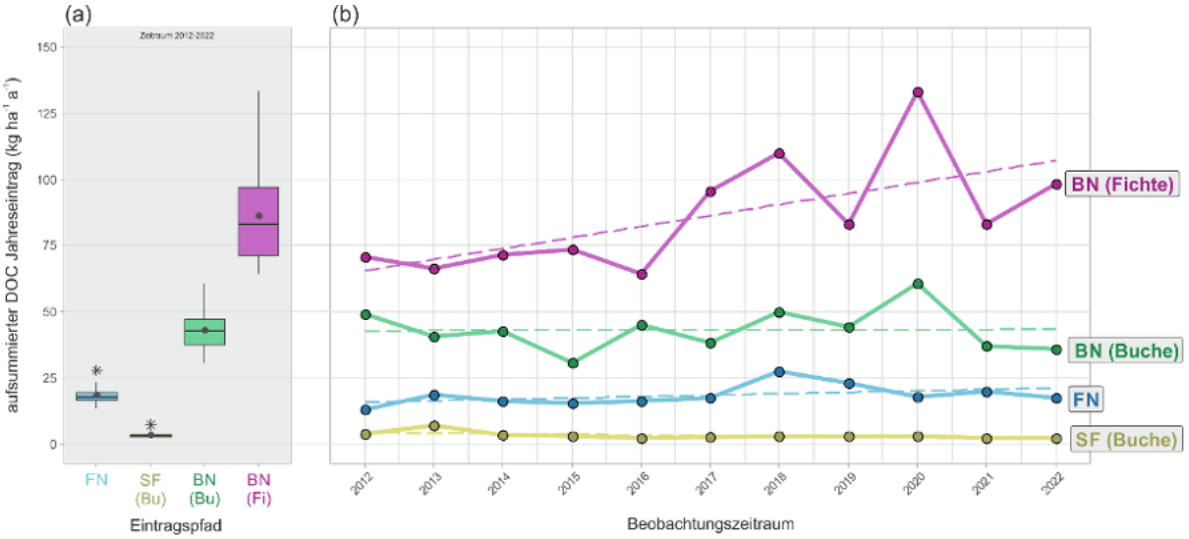


Abb. 5: Jährlicher DOC-Fluss (kg ha^{-1} a^{-1}) in den Eintragspfaden Freilandniederschlag (FN), Bestandesniederschlag (BN) und Stammabfluss (SF) von Buche und Fichte auf der Fläche Altensteig dargestellt als (a) Boxplot und (b) zeitlicher Verlauf jeweils für den Zeitraum 2012 bis 2022

Der jährliche Eintrag von Kohlenstoff über den Streufall unterscheidet sich zwischen Buche und Fichte, wobei die Fichte eine besonders starke jährliche Variabilität aufweist (Abb. 6). Auffallend ist das zeitlich versetzte Muster zwischen Buche und Fichte. Besonders deutlich wird das z.B. im Jahr 2015. Während die Fichte einen starken Anstieg des Streufalls aufweist (von 1683 kg ha^{-1} in 2014 auf 3599 kg ha^{-1} in 2015), zeigen sich bei der Buche kaum Veränderungen zum Vorjahr (2700 kg ha^{-1} in 2014, 2606 kg ha^{-1} in 2015). Der Buchenbestand zeigt erst im Folgejahr einen erhöhten Verlust an C in der Streu (+47%). Es wird vermutet, dass die extreme Sommertrockenheit in 2015 direkte Auswirkungen auf Fichten, aber erst einen zeitverzögerten Effekt auf den Buchenbestand hatte. Unterschiede in der Streufallproduktion hängen neben der Baumart vor allem mit Klima, Temperatur, Feuchtigkeit (Neumann et al. 2018) und mit Mastjahren (Nussbaumer et al. 2016) zusammen. In Mastjahren werden vermehrt Früchte und Samen gebildet, die mit den Blättern zur Streu gezählt werden.

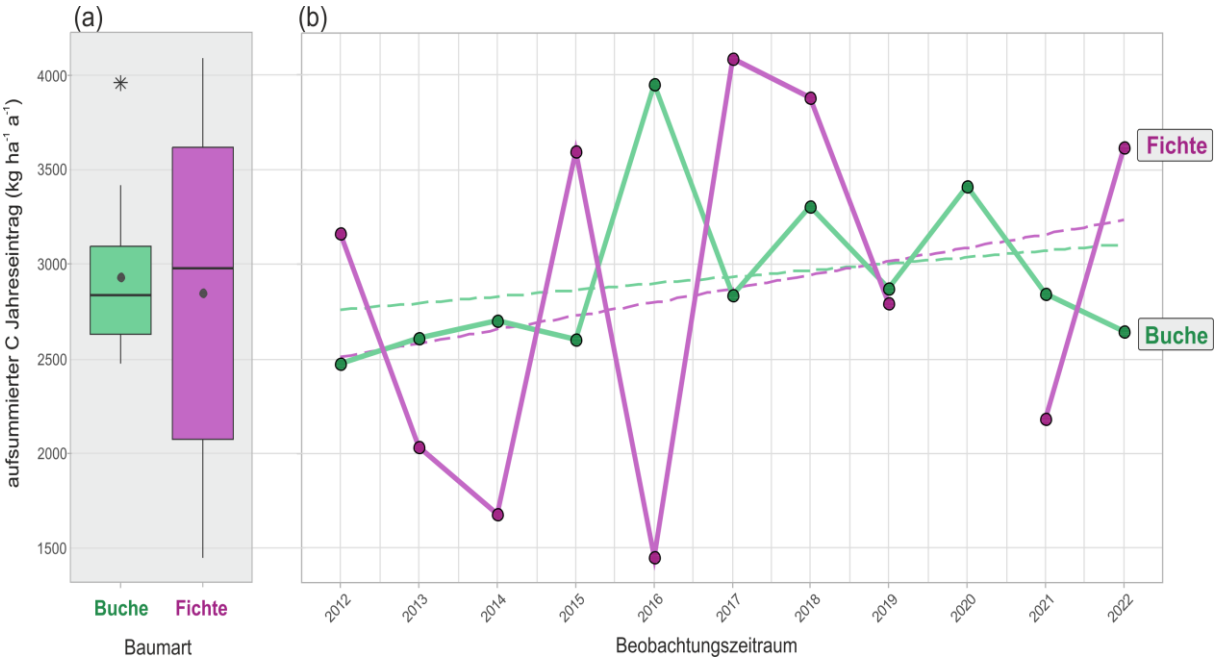


Abb. 6: Jährlicher C-Eintrag (kg ha^{-1} a^{-1}) über den Streufall von Buche und Fichte auf der Fläche Altensteig dargestellt als (a) Boxplot und (b) zeitlicher Verlauf jeweils für den Zeitraum 2012 bis 2022

3.1.4.2 Austrag von Kohlenstoff mit der Bodenatmung

Die CO_2-Flüsse liegen im langjährigen Mittel im Buchen- und Fichtenbestand in einer ähnlichen Größenordnung (7293 und 7052 kg C ha^{-1} a^{-1}) (Abb. 7a), wobei der Buchenbestand größere Schwankungen aufweist. Besonders im Jahr 2014 ist auf der Buchenfläche die Bodenatmungsrate im Vergleich zum Vorjahr erhöht (Abb. 7b). Insgesamt steigt die Produktion von CO_2 sowohl für Buche als auch für Fichte im betrachteten Zeitraum an, was auf erhöhte Abbauprozesse hinweist. Ähnliche Beobachtungen wurden von Nissan et al. (2023) gemacht, die einen globalen Anstieg der mikrobiellen (heterotrophen) Atmung von ca. 2% pro Dekade berechnet haben. Haupteinflussgrößen sind die Bodentemperatur und -feuchte (Singh & Gupta 1977).

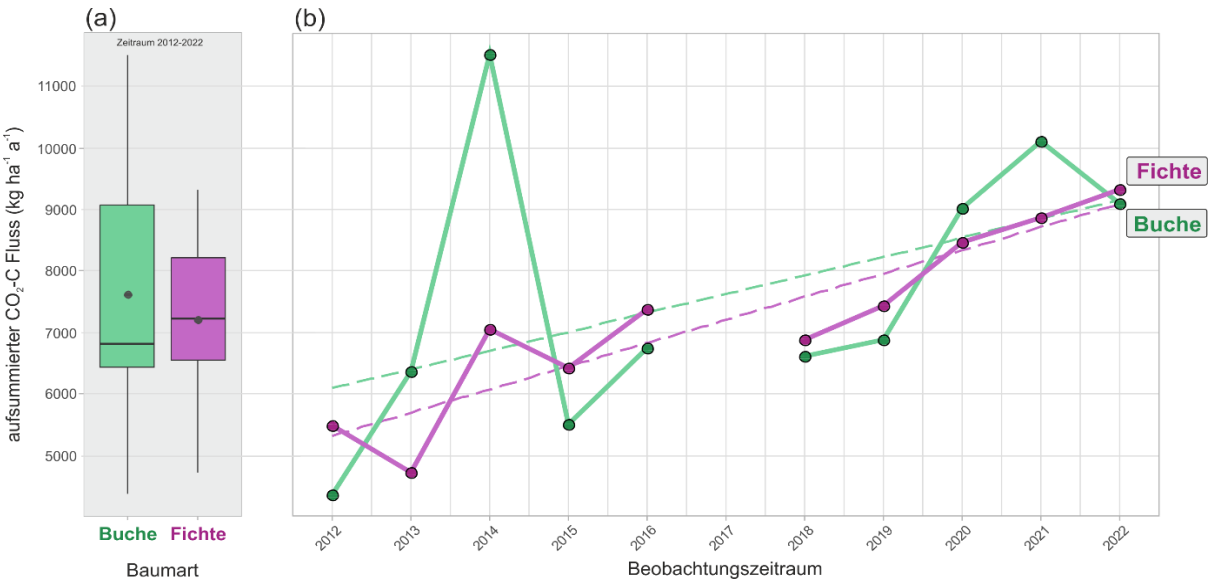


Abb. 7: Jährlicher Austrag von CO_2-C (kg ha^{-1} a^{-1}) im Buchen- und Fichtenbestand auf der Fläche Altensteig dargestellt als (a) Boxplot und (b) zeitlicher Verlauf jeweils für den Zeitraum 2012 bis 2022

3.2 Station 2: Waldboden als Methansenke

3.2.1 Hintergrund der Untersuchungen

Methan ist das zweitwirksamste Treibhausgas, wobei etwa 40% der jährlichen Emissionen vom Menschen verursacht sind. 5–7% des atmosphärischen Methans werden vom Boden aufgenommen, der Rest verfällt hauptsächlich auf photochemische Abbauprozesse in der Atmosphäre, auf die wir nur indirekt Einfluss nehmen können. Anders bei der Methansenke Boden: Hier gibt es Potential, den Boden so aufnahmefähig wie möglich zu gestalten. Im Boden wird das Methan von Bakterien umgesetzt, teilweise in die Biomasse eingebaut und verstoffwechselt. Diese methanotrophen Bakterien reagieren sehr sensibel auf Störungen durch Bodenbearbeitung und Düngung, weshalb Waldböden deutlich relevanter für den Methanabbau sind als landwirtschaftlich genutzte Flächen. Solche negativen Einflüsse können berücksichtigt werden, um möglichst optimale Lebensbedingungen der Bakteriengruppen und damit für den Methanabbau zu schaffen. Manches über die Methanabbauprozesse ist bekannt, etwa die Wechselwirkungen mit dem Stickstoffeintrag, der Einfluss der Bodenverdichtung durch Befahrung sowie verschiedene kurzfristige Steuergrößen. Unklarheit herrscht darüber, welche Faktoren langfristig für den Methanabbau entscheidend sind und insbesondere, wie sich der Methanabbau mit fortschreitendem Klimawandel entwickeln wird. Die zur Beantwortung solcher Fragestellungen notwendigen Langzeitmessungen wurden im Forschungsprojekt SaMS („Soils as Methane Sinks“, Waldklimafonds, FKZ: 2218WK58X4) ausgewertet. Der Methanabbau wird von der FVA an sechs Standorten und in insgesamt 13 Waldböden Baden-Württembergs monatlich seit bis zu 25 Jahren gemessen. Wie in Altensteig werden an allen Standorten Messungen auf benachbarten Buchen- und Fichtenflächen durchgeführt. In Altensteig starteten die Messungen 2010. Ein solch umfangreiches und regelmäßiges Monitoring der Bodenluft und damit ihrer Prozesse ist bisher europaweit, wenn nicht sogar weltweit, einzigartig.

3.2.2 Messprogramm

Durch den mikrobiellen Abbau nimmt die Methankonzentration mit der Bodentiefe ab. Ein Großteil des Methanumsatzes findet in einer Bodentiefe von bis zu 10 cm statt. Wie viel Methan entweicht, also der Gasfluss, hängt dann noch von Textur und aktueller Bodenfeuchte ab. Die FVA hat in den 1990er Jahren eine Methode zur Messung von Gasflüssen entwickelt, die eine Alternative zu den weit verbreiteten Kammermessungen darstellt. Hierbei werden passive Gassammler in verschiedenen Bodentiefen installiert, welche über eine künstliche Makropore die umliegende Bodenluft in einem Gasfläschchen sammeln (Abb. 8). Diese werden in regelmäßigen Abständen getauscht und im Labor unter anderem auf den Methangehalt analysiert. Einmal installiert, erhält man so mit wenig Aufwand einen dauerhaften Einblick in den Prozess des Methanabbaus und stört durch die Messungen die Bodenstruktur nicht. Der dabei gemessene Konzentrationsgradient mit der Tiefe ergibt mit bekannten Größen der Bodenphysik und der Bodenfeuchte monatliche Gasflüsse, welche über sporadische Kammermessungen in einem dafür entwickelten Bodengastransportmodell validiert wurden.

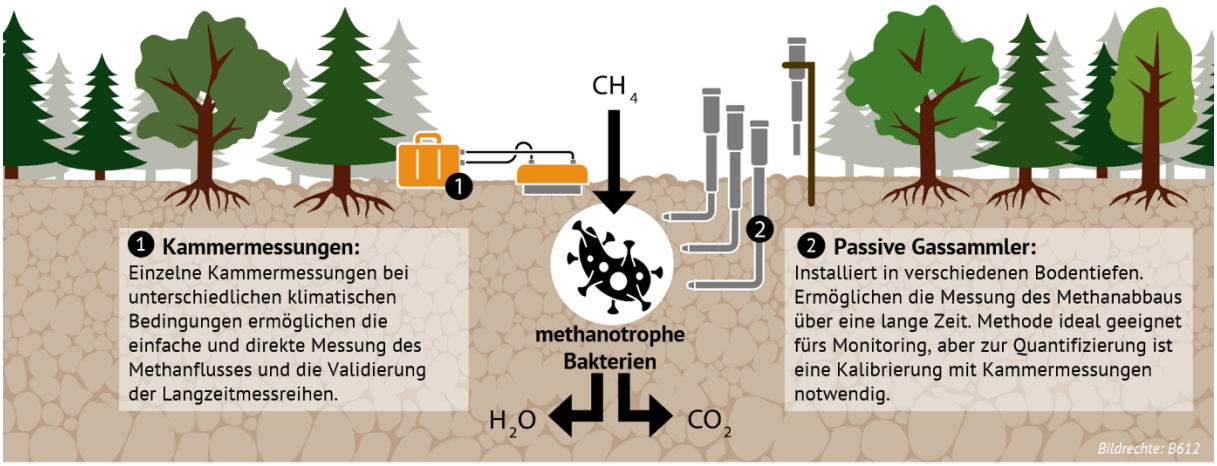


Abb. 8: Schematische Darstellung des Messprogramms zur Erfassung der Methanflüsse im Boden (Grafik: FVA BW, Gestaltung: B612)

3.2.3 Ausgewählte Ergebnisse

Der mittlere jährliche Methanabbau schwankt zwischen den untersuchten Standorten stark und liegt für den Zeitraum 1998 bis 2022 bei 1,40 ± 1,29 nmol m^{-2} s^{-1}, was 7.09 ± 6.55 kg CH_4 ha^{-1} a^{-1} entspricht. Damit liegt der Methanabbau in den Böden Baden-Württembergs deutlich über dem, was bisher für vergleichbare Böden angenommen wurde. Die beiden untersuchten Waldböden in Altensteig deuten mit 2,65 ± 1,52 nmol m^{-2} s^{-1} im Buchenbestand und 2,19 ± 1,38 nmol m^{-2} s^{-1} im Fichtenbestand sogar einen noch höheren mittleren Methanabbau an. Der verstärkte Abbau unter Buchen zeigte sich auch auf den übrigen untersuchten Waldböden, was vermutlich an der schlechter verwertbaren Nadelstreu liegt, welche die mikrobielle Aktivität hemmt. Die sandige Textur und die geringe Humusmächtigkeit in Altensteig begünstigen zudem den Gastransport.

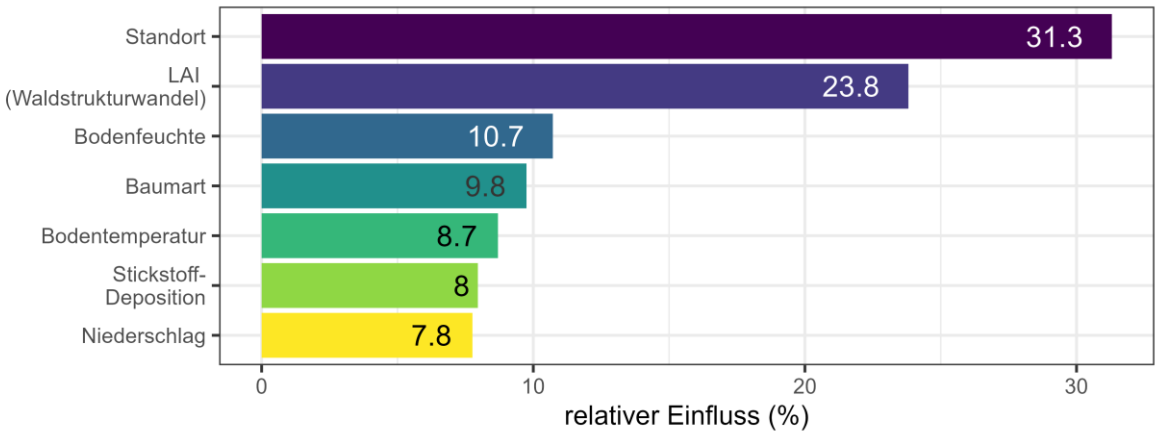


Abb. 9: Langfristige Einflussfaktoren auf die Jahresmittelwerte des Methanabbaus aller 13 untersuchten Waldböden

In einer Trendanalyse über alle Standorte hinweg zeigte sich außerdem eine Zunahme des Methanabbaus um 3% pro Jahr. Parallel zunehmende Bodentemperaturen sowie abnehmende Jahresniederschlagssummen und Bodenfeuchten im Oberboden könnten dabei eine entscheidende Rolle spielen. In Trockenperioden steht dem Gasaustausch mehr Porenraum zur Verfügung. Methan aus der Atmosphäre gelangt dann leichter zu den Bakterien im Boden und wird schneller abgebaut. Befahrung, Bodenverdichtung und sich daraus ergebende Staunässe verringern im Umkehrschluss den Methanabbau. Methan kann dann sogar produziert werden, wodurch sich auch Waldböden zu Methanquellen entwickeln können. Dieser Prozess konnte auf unseren Standorten jedoch nur kurzzeitig bei Starkregenereignissen beobachtet werden. Neben den Umweltparametern (Temperatur, Niederschlag und Bodenfeuchte) scheint auch die Entwicklung des darüber liegenden Bestandes langfristig entscheidend zu sein (Abb. 9). Bei einem intakten Bestand, wie dem in Altensteig, bliebt der Boden in seiner Struktur und damit auch der Methanabbau ungestört. Doch Beobachtungen zeigten auch, dass in Folge von Trockenjahren und Käferbefall die Auflichtung den Methanabbau reduzierte. Auch auf hohe Stickstoffdepositionen reagieren die Bakterien mit einem Rückgang des Methanabbaus. Trotz dieser identifizierten Einflüsse bleibt knapp ein Drittel der Unterschiede im Methanabbau zwischen den Untersuchungsstandorten unerklärt und liegt unter anderem in unterschiedlichen Bodeneigenschaften begründet (Abb. 9).

3.3 Station 3: Einfluss von Totholz auf die C-Bilanz von Waldökosystemen

3.3.1 Hintergrund der Untersuchungen

Totholz wird primär zur Förderung der Biodiversität und zum Schutz besonders gefährdeter Arten im Wald belassen. Die Abteilung Boden und Umwelt der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg untersuchte im Projekt TotC („Steigerung der Kohlenstoffsequestrierung in Waldböden durch gezieltes Totholzmanagement“, FKZ: 2219WK07A4, Waldklimafonds), ob im Wald belassenes Totholz die Kohlenstoffspeicherung in Waldböden erhöhen kann. Bei der Zersetzung des Holzes wird Kohlenstoff teilweise in Form von CO_2 direkt an die Atmosphäre abgegeben und Totholz stellt somit eine C-Quelle dar. Der Transport in den Boden in Form fester Partikel oder in gelöster Form als DOC und die langfristige Speicherung im Boden kann einen Beitrag zur Kohlenstoffsenkenfunktion von Waldböden leisten. Im Projekt wurde

untersucht, welcher Anteil des aus Totholz freigesetzten Kohlenstoffs in den Boden transportiert wird, wie viel Kohlenstoff in der Bodenfestphase gespeichert wird und welche (Standort-)Faktoren diese Prozesse beeinflussen.

3.3.2 Messprogramm

Auf ausgewählten Versuchsflächen wurden die C-Flüsse im Umfeld von liegendem Totholz und auf benachbarten, nicht vom Totholz beeinflussten Kontrollflächen erfasst (Abb. 10). Die Versuchsflächen im Projekt TotC befanden sich in der Nähe von Waldkirch (nordöstlich von Freiburg) und Möhringen (Südwesten der Schwäbischen Alb) und nicht entlang der Exkursionsroute. Die verwendete Messtechnik orientierte sich jedoch am Standard der Level II-Flächen und wird dort im Rahmen der Exkursion exemplarisch gezeigt. Mittels Saugkerzen wurden Sickerwasserproben in regelmäßigem Turnus entnommen und im Labor die DOC-Konzentration analysiert. Zusätzlich wurden für die stofflichen Umsatzprozesse im Boden essentielle Parameter, wie beispielsweise die Bodenfeuchte und -temperatur, erfasst. Die CO_2-Flüsse aus dem Totholz und dem Boden wurden durch Kammermessungen bestimmt. Bei der Installation der Messtechnik wurde explizit darauf geachtet, dass das System Totholz – Boden so wenig wie möglich gestört wird. Dadurch sollten nicht nur die reinen CO_2-Flüsse aus dem Totholzstamm erfasst werden, sondern der Stamm inklusive des darunterliegenden Bodens. Über den Anstieg der CO_2-Konzentration in einer geschlossenen Kammer und unter Berücksichtigung von Temperatur und Luftdruck wurden die CO_2-Flüsse berechnet. Die Analyse des C-Gehalts in der Bodenfestphase ermöglicht es, Aussagen darüber zu treffen, wie viel C im Boden unter Totholz im Vergleich zu den Kontrollflächen gespeichert ist.

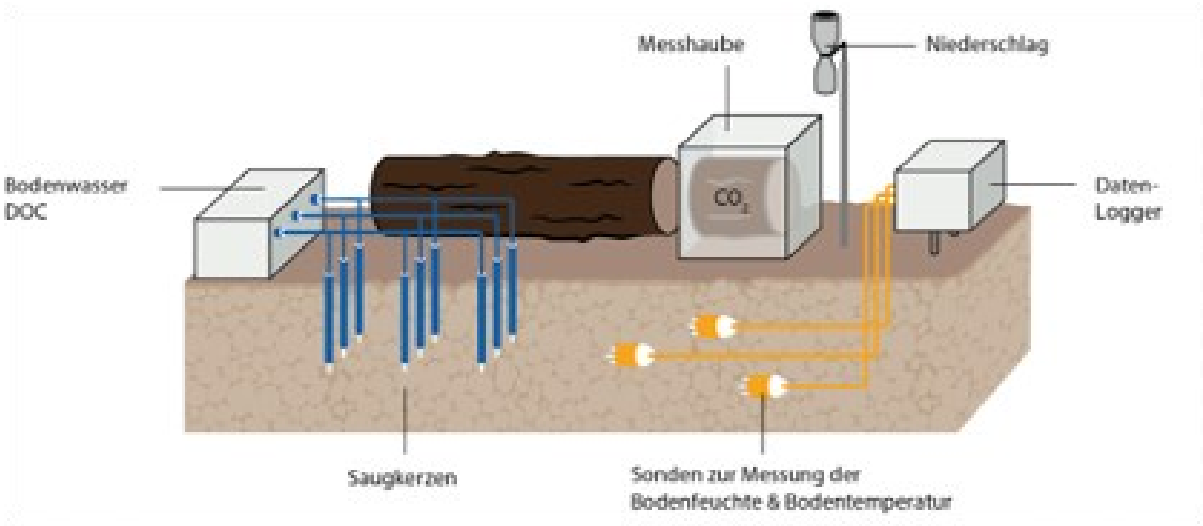


Abb. 10: Versuchsaufbau zur Erfassung der C-Flüsse im Umfeld von liegendem Totholz (Grafik: FVA BW, Gestaltung: B612)

3.3.3 Ausgewählte Ergebnisse

3.3.3.1 DOC-Konzentration im Sickerwasser

Abbildung 11 zeigt die DOC-Konzentrationen in unterschiedlichen Tiefenstufen unter Totholz und auf den Kontrollflächen. Dargestellt sind die Daten beider Versuchsflächen in Waldkirch und Möhringen. Die DOC-Konzentrationen nehmen mit zunehmender Tiefe ab. Maximalwerte werden direkt unter der organischen Auflage erreicht und betragen bis zu 210 mg l^{-1}. Die äußerst geringen Konzentrationen in einer Tiefe von 60 cm deuten darauf hin, dass vermutlich keine großen Kohlenstofffrachten aus dem Waldökosystem ausgewaschen werden. Die DOC-Konzentrationen unter Totholz sind in allen Tiefenstufen signifikant höher als auf den nicht von Totholz beeinflussten Kontrollflächen.

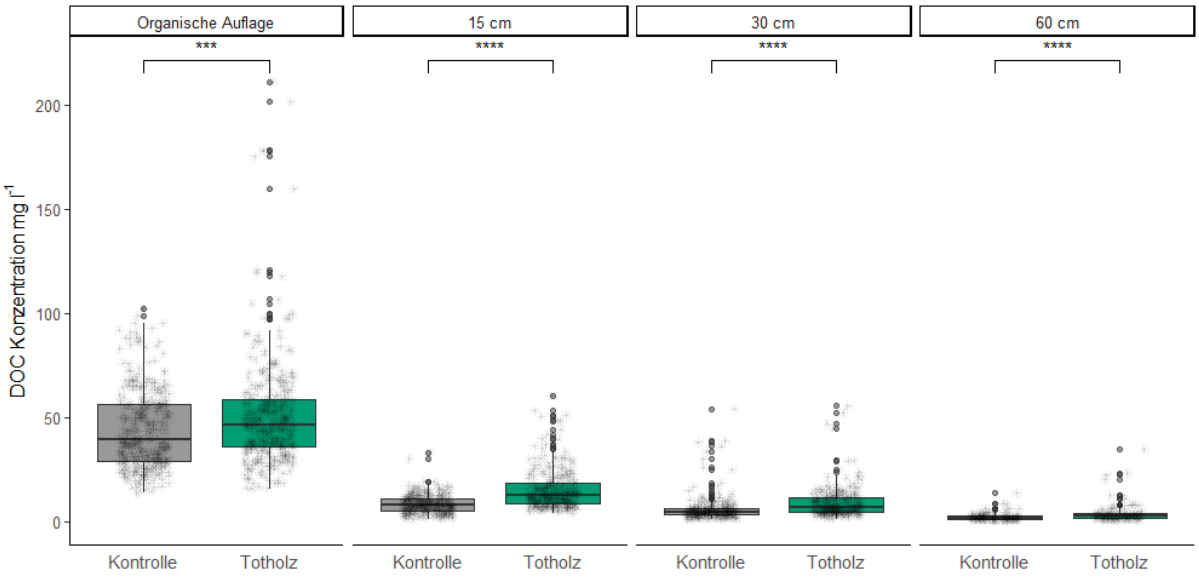


Abb. 11: DOC-Konzentrationen (mg l^{-1}) unter Totholz im Vergleich zu nicht von Totholz beeinflussten Kontrollflächen in unterschiedlichen Tiefenstufen. Sternchen zeigen signifikante Unterschiede zwischen Kontrolle und Totholz (**** p <= 0,0001, *** p <= 0,001, ** p <= 0,01, * p <= 0,05, ns p > 0,05)

3.3.3.2 CO_2-Flüsse aus dem Totholz

Die CO_2-Flüsse aus dem Boden mit Totholz (in der Abbildung „Totholz“) im Vergleich zum Boden ohne Totholz (in der Abbildung „Boden“) sind um ein Vielfaches höher (Abb. 12). Ebenfalls zu sehen sind starke saisonale Verläufe. Dabei nehmen die CO_2-Flüsse in den Wintermonaten deutlich ab und steigen in den Sommermonaten wieder an. Dies liegt daran, dass die Aktivität von Zersetzergemeinschaften stark von der Temperatur und der Feuchte abhängt. Die CO_2-Flüsse zwischen Totholz und Boden unterscheiden sich signifikant.

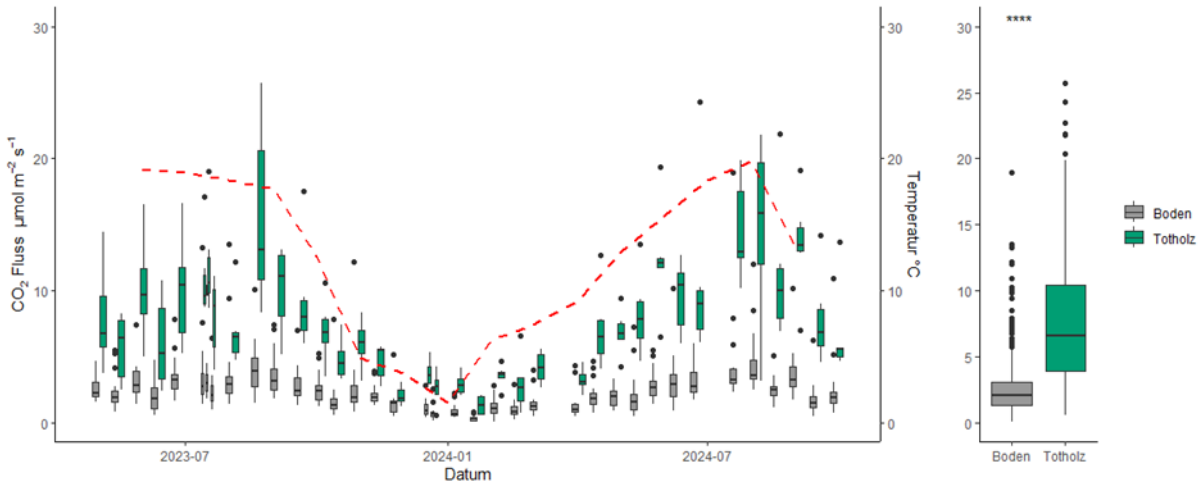


Abb. 12: CO_2-Flüsse aus dem Boden mit Totholz im Vergleich zum Boden ohne Totholz pro Messdatum (linker Teil der Grafik). Die rote Linie stellt Monatsmittelwerte der Temperatur dar. Sternchen zeigen signifikant höhere CO_2-Flüsse aus dem Boden mit Totholz im Vergleich zum Boden ohne Totholz (**** p <= 0,0001) (rechter Teil der Grafik)

3.3.3.3 C-Vorräte in der organischen Auflage und dem Mineralboden

Die C-Vorräte in der organischen Auflage liegen zwischen 1,9 t ha^{-1} und 9 t ha^{-1} (Abb. 13, nur Daten aus Waldkirch). Im Mineralboden nehmen die C-Vorräte mit zunehmender Tiefe ab und liegen insgesamt zwischen 3 t ha^{-1} (60 cm) und 45 t ha^{-1} (15 cm). Unter Totholz sind die C-Vorräte sowohl in der organischen Auflage als auch im Mineralboden höher als auf den Kontrollflächen. Die Unterschiede sind jedoch nur in den Tiefenstufen 30 cm und 60 cm signifikant.

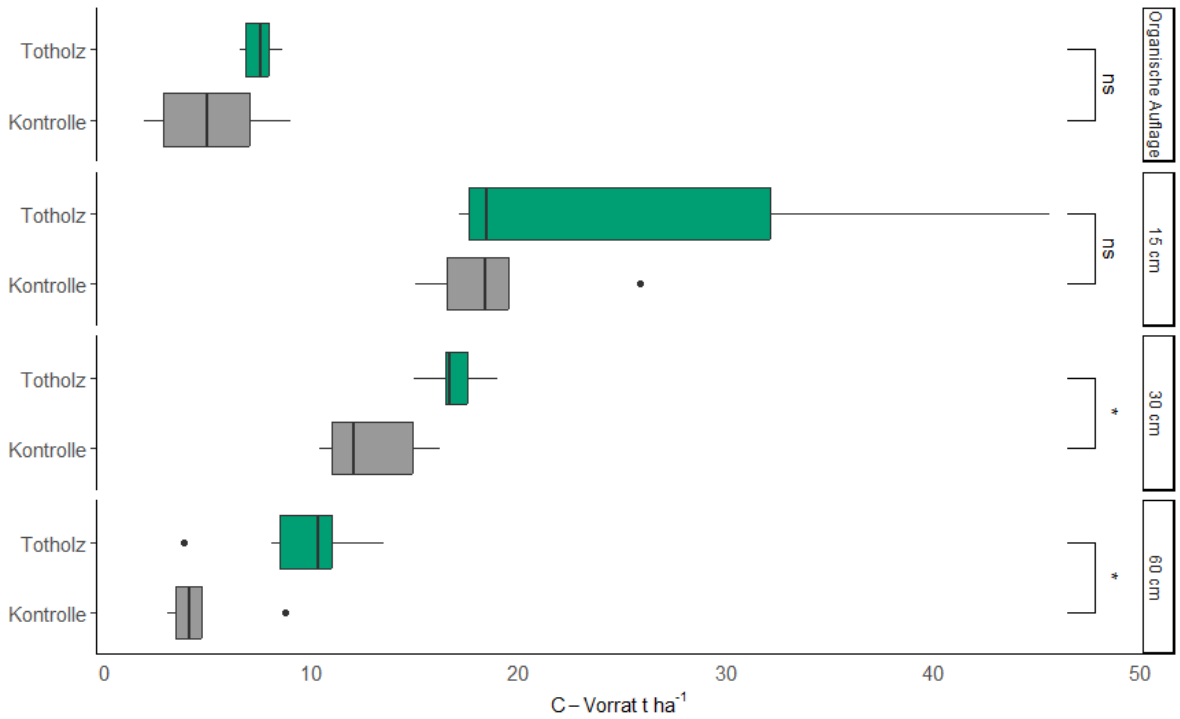


Abb. 13: C-Vorrat unter Totholz im Vergleich zur Kontrolle in unterschiedlichen Tiefenstufen. Sternchen zeigen signifikante Unterschiede zwischen Kontrolle und Totholz: * p <= 0,05; ns = nicht signifikant

3.4 Station 4: BZE-Profil 3159

Die Standorte der „Bodenzustandserhebung im Wald“ wurden gemäß Arbeitsanleitung für die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BMELV,2006) beprobt, beschrieben und analysiert (Hartmann et al. 2016).

3.4.1 Profilbeschreibung

Tab. 7: Standortbeschreibung

Substrat	Sandig-lehmige Fließerde des Oberen Buntsandsteins
Relief	flachgeneigte Fläche, 4.5° (N2)
Landnutzung	Wald
Vegetation	Fichte, Kiefer, Buche
Höhenlage	591,7 m ü. NHN
N[1]	1020,5 mm
JMT[1]	8,3 °C

[1] N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1994-2024

Der Standort weist eine schwach podsolige Pseudogley-Parabraunerde aus sandig-lehmigen Fließerden des Oberen Buntsandsteins auf (Abb. 14). Durch Tonverlagerungen (sowie i. d. R. primär vorhandene höhere Tongehalte im Unterboden) weist der Unterboden entsprechend geringe Makroporenanteile auf, die eine leichte Stauwasserneigung verursachen. Der Standort ist stark versauert mit einer deutlichen Dominanz von Aluminium an den Austauscheroberflächen und sehr geringen pH-Werten. Die regionalzonale Standortseinheit ist ein Buchen-Tannen-Wald auf mäßig frischem tongründigem lehmigem Sand.



Abb. 14: Ansicht des Bodenprofils BZE-Nr 3159 (Foto: H. Buberl)

Tab. 8: Profilbeschreibung

O (cm)	U (cm)	Horizont KA5	Horizont KA6	Bodenart	Steine (Vol.-%)	Gefügeform	Humus	Durchwurzelungsintensität	Carb
6	4	L	Ol	Vn	0	lo	-	Wf 0	c0
4	1	Of	Of	Vn	0	vz	-	Wf 6	c0
1	0	Oh	Oh	…	0	br	-	Wf 5	c0
0	–2	Aeh	Ah-Ee	Ls3	2	koh (5-20)	h3	Wf 5	c0
–2	–45	Al	El	Ls4	15	sub (5-20)	h3	Wf 4	c0
–45	–79	S-Bt	S-Kt	Lts	30	sub (5-20)	h1	Wf 2	c0
–79	–105	S-Cv	S-Cv	St3	60	sub (20-50)	h1	Wf 1	c0

3.4.2 Bodenanalysen

Tab. 9: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung (Masse-%)									Bodenart
(cm)	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
10–30	2,3	5,5	47,5	15	11,3	5,9	12,5	32,2	55,3	Sl4
–60	2,5	5,7	49,2	13,9	10,7	5,8	12,1	30,4	57,5	Sl4

Tab. 10: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe (cm)	ρt (g cm^{-3})	PV (Vol.-%)	LK (Vol.-%)	FK (Vol.-%)	nFK (mm)	PWP (Vol.-%)
0–5	0,81	56,4	32,2	24,3	9,7	4,9
–10	1,08	47,8	25,4	22,5	7,2	8,0
–30	1,49	38,6	14,2	24,4	32,7	8,1
–60	1,42	36,9	19,2	17,7	27,9	8,4
–90	1,92	22,5	7,4	15,1	16,2	9,7
–140	2,07	17,4	7,0	10,5	12,1	8,0

Tab.11: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe (cm)	pH (H_2O)	pH ($CaCl_2$)	C_{org} (mg g^{-1})	C_{org} Vorrat (t ha^{-1})	C_{anorg} (mg g^{-1})	N_t (mg g^{-1})	C/N
0–5	3,3	3,0	31,7	10,9	0	1,5	21,6
–10	3,4	3,4	16,6	6,8	0	0,8	20,9
–30	4,3	3,8	11,7	29,0	0	0,6	18,1
–60	4,3	3,9	3,7	4,6	0	0,3	11,4
–90	4,3	3,8	1,4	2,4	0	0,2	7,2
–140	4,4	3,8	0,9	2,1	0	0,1	6,2

Tab.12: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung (% der KAK_{eff})							
(cm)	($mmol_c$ kg^{-1})	(%)	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–5	128,1	4,1	0,6	0,8	1,7	1,0	6,1	72,1	0,6	17,0
–10	118,3	1,9	0,3	0,7	0,4	0,5	4,2	85,6	0,9	7,3
–30	74,2	2,7	0,5	1,4	0,4	0,4	0,3	92,3	2,7	1,9
–60	49,9	4,3	0,5	2,3	1,1	0,4	0,0	91,0	3,1	1,6
–90	51,8	5,5	1,0	2,9	1,4	0,3	0,0	92,7	0,5	1,4
–140	32	6,8	1,3	3,2	1,9	0,4	0,0	89,7	1,2	2,4

3.5 Station 5: BZE-Profil 3160

3.5.1 Profilbeschreibung

Der Bodentyp am Standort ist als Normstagnogley klassifiziert (Abb. 15). Derartige Böden sind im Nordschwarzwald verbreitet und werden dort als „Missen“ bezeichnet. Der Ausdruck „Misse“ ist eine lokale, für den Nordschwarzwald typische Bezeichnung, und taucht abgewandelt noch als Miß, Müsse oder Müß auf (Quelle: wikipedia.de). Die Bezeichnungen gehen vermutlich auf das Wort „Moos“ zurück, da Torfmoose (*Sphagnum* spec.) entscheidend an der Entstehung beteiligt sind. Wegen des stockenden Wuchses der Bäume könnte jedoch auch "-miss" in der Wortbedeutung von "schlecht/mies" namensgebend gewesen sein. Ihre größte Verbreitung haben Missen in den niederschlagsreichen, abflussarmen Plateaulagen. Missen entstehen auf basenarmen, zu Staunässe neigenden Böden. Weiter müssen noch klimatische Faktoren wie hohe Niederschläge, eine relativ kurze Vegetationsperiode und kühlfeuchtes, montanes Klima als Grundvoraussetzung hinzukommen. Auch menschliche Nutzungseinflüsse begünstigten die Entstehung von Missen. Die Einführung der Stallfütterung im 19. Jahrhundert zwang die Waldbauern zur Nutzung der Bodenvegetation als Einstreu (Streunutzung). Auf den armen Buntsandsteinböden bildeten sich durch den ständigen Nährstoffentzug Rohhumusauflagen. Die regional-zonale Standortseinheit ist ein Tannen-Fichten-Kiefern-Wald auf wasserzügiger Misse.

Tab. 13: Standortbeschreibung

Substrat	Schuttdecken des Oberen Buntsandsteins
Relief	flachgeneigte Fläche, 2.5° (N2)
Landnutzung	Wald
Vegetation	Tanne und Fichte
Höhenlage	718,8 m ü. NHN
N[1]	1129 mm
JMT[1]	8,0 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1994-2024



Abb. 15: Ansicht des Bodenprofils 3160 (Foto: H. Buberl)

Tab. 14: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

O (cm)	U (cm)	Horizont KA5	Horizont KA6	Bodenart	Steine (Vol.-%)	Gefügeform	Humus	Durchwurzelungsintensität	Carb.
9	7	L	Ol	Vn	0	lo	-	Wf 0	c0
7	2	Of	Of	Vn	0	vz	-	Wf 6	c0
2	0	Oh	Oh	Vn	0	ku	h5	Wf 5	c0
0	–4	Sw-Ah	Sw-Ah	Sl4	1	koh(5-20)	h4	Wf 5	c0
–4	–21	Sw	Sw	Sl3	1	koh(5-20)	h3	Wf 5	c0
–21	–63	Srw	Srw	Sl2	3	koh(5-20)	h1	Wf 5	c0

3.5.2 Bodenanalysen

Tab. 15: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung (Masse-%)									Bodenart
(cm)	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
10–30	1,5	12,8	45,9	18,9	15,4	0,9	4,6	35,2	60,2	Su3
–60	0,6	10,7	41,4	19,5	14,5	4,9	8,5	38,9	52,7	Sl3

Tab. 16: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe (cm)	ρt ($g\ cm^{-3}$)	PV (Vol.-%)	LK (Vol.-%)	FK (Vol.-%)	nFK (mm)	PWP (Vol.-%)
0–5	0,7	59,5	39,5	20,0	9,8	0,4
–10	1	52,9	31,6	21,2	8,9	3,5
–30	1,3	46,8	21,5	25,3	35,2	7,7
–60	1,6	37,5	9,6	27,9	52,9	10,3
–90	1,5	34,9	7,9	27,0	14,4	22,2
–140	1,6	14,9	9,0	24,3	29,3	18,4
–200	1,6	12,7	7,7	24,7	29,8	19,7

Tab. 17: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe (cm)	pH (H_2O)	pH ($CaCl_2$)	C_{org} ($mg\ g^{-1}$)	C_{org} Vorrat ($t\ ha^{-1}$)	C_{anorg} ($mg\ g^{-1}$)	N_t ($mg\ g^{-1}$)	C/N
0–5	3,7	3,1	47,8	17,0	0	1,9	25,2
–10	3,8	3,3	25,5	12,4	0	0,9	29,8
–30	4,1	3,6	11,3	27,7	0	0,4	30,7
–60	4,2	3,7	7,6	33,7	0	0,3	24,4
–90	4,6	3,7	1,3	5,4	0	0,2	6,5
–140	4,6	3,6	1,1	7,4	0	0,2	5,8

Tab. 18: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung (% der KAK_{eff})							
[cm]	($mmol_c\ kg^{-1}$)	(%)	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–5	107,2	25,2	0,6	1,3	9,9	13,5	6,3	48,8	0,0	19,7
–10	98,3	8,3	1,2	1,3	1,3	4,5	11,9	68,7	0,0	11,1
–30	65,3	6,6	1,1	1,6	0,6	3,3	8,6	78,7	0,0	6,0
–60	47,8	6,6	1,6	2,2	1,3	1,5	7,1	80,3	0,1	6,0
–90	56,1	13,0	0,9	3,7	3,6	4,8	0,2	82,9	0,4	3,5
–140	48,7	17,8	1,3	4,1	5,0	7,5	0,3	76,4	0,5	5,0
–200	34,8	17,5	1,2	5,2	4,1	7,0	0,4	75,9	0,6	5,7

Literatur

BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), (2006): Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserfassung im Wald (BZE II). BMELV.

Hartmann, P., Buberl, H., Puhlmann, H., Schäffer, J., Trefz-Malcher, G., Zirlewagen, D., von Wilpert, K. (2016): Waldböden Südwestdeutschlands. Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen im Wald von 1989–1992 und 2006–2008. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), Verlag Kessel, 328 S.

Herwitz, S. R., Levia Jr, D. F. (1997): Mid-winter stemflow drainage from Bigtooth Aspen (*Populus Grandidentata* MICHX.) in Central Massachusetts. Hydrological Processes, 11 (2): 169–175.

Meining, S., Puhlmann, H., Hartmann, P., Hallas, T., Hoch, R., Augustin, N., Delb, H., Burger, M., Grüner, J., Kautz, M., Wonsack, D., Wußler, J., Adler, P. (2020): Waldzustandsbericht 2020 für Baden-Württemberg. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), 61 S.

Meynen, E., Schmithüsen, J. (1952–1963): Handbuch der Naturräumlichen Gliederung, Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung.

Neumann, M., Ukonmaanaho, L., Johnson, J., Benham, S., Vesterdal, L., Novotný, R., Verstraeten, A., Lundin, L., Thimonier, A., Michopoulos, P., Hasenauer, H. (2018): Quantifying carbon and nutrient input from Litterfall in European forests using field observations and modeling. Global Biogeochemical Cycles 32 (5): 784–798.

Nihlgård, B. (1970): Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in south Sweden. Oikos 21 (2): 208–217.

Nissan, A., Alcolombri, U., Peleg, N., Galili, N., Jimenez-Martinez, J., Molnar, P., Holzner, M. (2023): Global warming accelerates soil heterotrophic respiration. Nature Communications 14 (1): 3452.

Nussbaumer, A., Waldner, P., Etzold, S., Gessler, A., Benham, S., Thomsen, I. M., Jørgensen, B. B., Timmermann, V., Verstraeten, A., Sioen, G. (2016): Patterns of mast fruiting of common beech, sessile and common oak, Norway spruce and Scots pine in Central and Northern Europe. Forest Ecology and Management 363: 237–251.

Singh, J. S., Gupta, S. R. (1977): Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The Botanical Review 43: 449–528.

E11: Böden im Oberen Gäu bei Herrenberg – Tiefe Einblicke in eine vom Karst geprägte Bodenlandschaft

Wolfgang Fleck[1], Martin Boll[2], Karin Liedtke[3]

[1]Freiburg (ehemals Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 [LGRB]), [2]Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 (LGRB),[3]Landratsamt Böblingen

1 Einleitung

Das Exkursionsgebiet am Westrand der Oberen Gäue ist 20 km Luftlinie von Tübingen entfernt und in rund 40 Minuten über Ammerbuch-Entringen und Herrenberg zu erreichen (Abb. 1). Vier der insgesamt fünf Exkursionsprofile liegen im Wald westlich von Herrenberg-Kuppingen. Auf einer ca. 0,6 km^2 großen Fläche werden zwei typische Böden auf Kalkstein und zwei Profile mit unterlagernden fossilen Böden in Lösslehmen, lösslehmreichen Fließerden und Residualtonen gezeigt. Die Muldenfüllungen zeichnen ein durch Verkarstung entstandenes Paläorelief nach und sind an den Profilstandorten mehrere Meter mächtig. Zum Einstieg in die Thematik wird das beschriebene Bodenmuster zunächst im nördlich der Profilstandorte gelegenen Steinbruch in Wildberg-Sulz am Eck mit Einblicken in den tieferen Untergrund vorgestellt.

Stellvertretend für die Lössböden auf Unterkeuper findet die Exkursion bei Gäufelden-Nebringen mit einer Parabraunerde aus würmzeitlichem Löss über einer fossilen Bodenbildung ihren Abschluss.

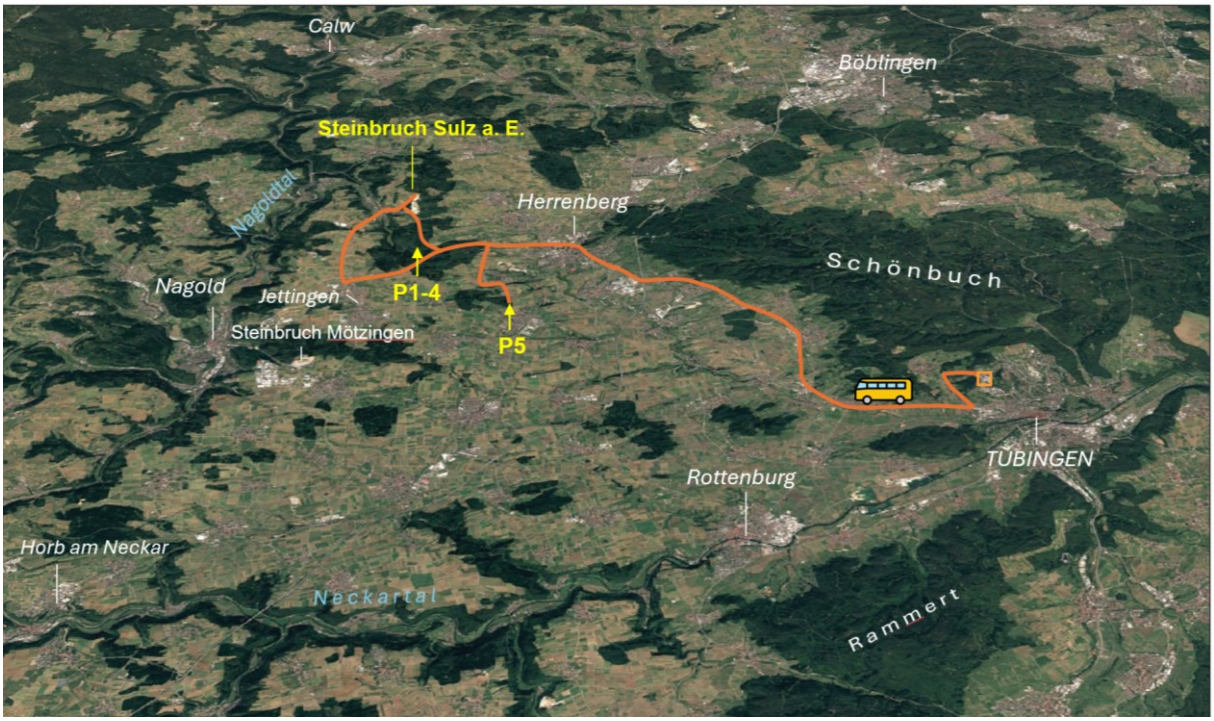
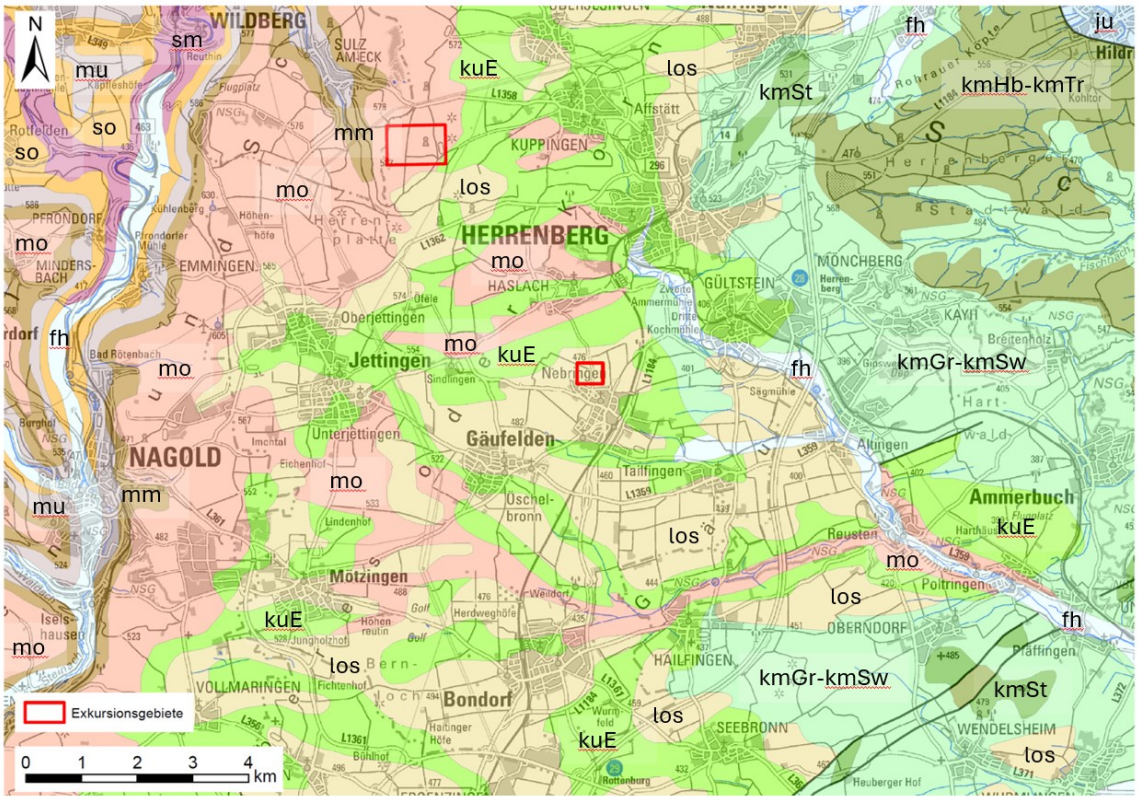


Abb. 1: Exkursionsroute und Lage der Bodenprofile P1–5 sowie des Steinbruchs Sulz am Eck; Luftbild: Google Earth, abgerufen am 13.01.2025

2 Exkursionsgebiet

2.1 Geologie

Der geologische Untergrund in den Oberen Gäuen ist aus Muschelkalk und Unterkeuper (Erfurt-Fm., Lettenkeuper) aufgebaut. Das Gebiet zwischen Nagold und Herrenberg zeigt dabei eine Zweiteilung mit Oberem Muschelkalk im Westen und Unterkeuper, häufig mit Lössüberdeckung, im Osten (Abb. 2). Nach Süden nimmt die Ausdehnung des Unterkeupers deutlich zu. Das Nagoldtal bildet die Grenze zum Buntsandstein-Schwarzwald. Westlich der Nagold treten auf den Plateauflächen im Oberen Buntsandstein nur noch inselartige Vorkommen von Muschelkalk auf. Nach Osten werden die Oberen Gäue durch den steilen Anstieg zur bewaldeten Schichtstufe des Mittelkeupers begrenzt.



Legende: **fh** – Hochwassersediment, **los** – Lösssediment, **ju** – Unterjura, **kmGr-kmSw** – Grabfeld- bis Steigerwald-Fm., **kmHb-kmTr** – Hassberge- bis Trossingen-Fm., **kmSt** – Stuttgart-Fm., **kuE** – Erfurt-Fm., **mo** – Oberer Muschelkalk, **mm** – Mittlerer Muschelkalk, **mu** – Unterer Muschelkalk, **so** – Oberer Buntsandstein, **sm** – Mittlerer Buntsandstein.

Abb. 2: Geologische Übersichtskarte mit Exkursionsgebieten; Grundlage: Geologische Übersichtskarte 1 : 300 000, GÜK300 (Regierungspräsidium Freiburg 2021), Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg

Die geologische Schichtfolge im Steinbruch Sulz a. E. besteht aus 14 m gelblichem bis grauem, teils mergeligem und dickbankigem Dolomitstein (Trigonodusdolomit, moD). Darunter folgen 53 m grauer, gebankter Kalkstein (Meißner-Fm. [moM] und Trochitenkalk-Fm. [moTK] mit bis zu 1,5 m mächtigen Mergelsteinlagen sowie, bereits unterhalb der Abbausohle, Dolomit- und Mergelsteine des Mittleren Muschelkalks (Regierungspräsidium Freiburg 2006).

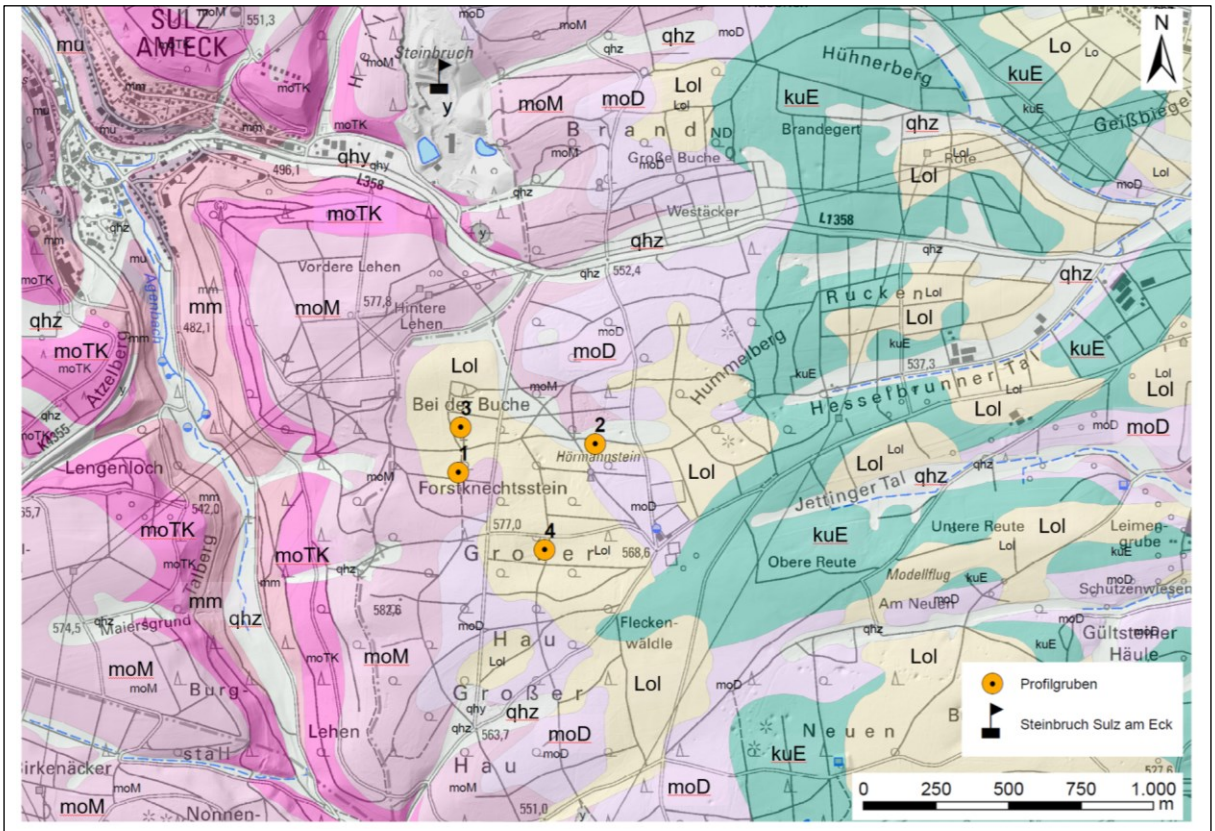
Im flachwelligen Relief des Kuppinger Waldes streichen im Westen die Kalksteine der Meißner-Formation an der Geländeoberfläche aus. Im östlich anschließenden Teil sind in den höheren Lagen noch Reste des Trigonodus-Dolomits erhalten. In den Mulden und den nach Osten geneigten Flachhängen sind zudem größere Flächen mit Lösslehm (Lol) vorhanden (Abb. 4). Südöstlich des Kuppinger Sportgeländes taucht der Obere Muschelkalk unter die Wechselfolge von Dolomit-, Ton- und Sandsteinen des Unterkeupers ab, der nun zunehmend die Landschaft bis zur Keuperstufe bei Herrenberg prägt. In konsequent nach Osten entwässernden, tiefer eingeschnittenen Tälern sowie im Umfeld der tektonisch bedingten Versteilung bei Herrenberg-Haslach ist der Unterkeuper bereits bis auf den Oberen Muschelkalk abgetragen.



Abb. 3: Steinbruch Mötzingen im Oberen Muschelkalk; Trigonodusdolomit über Kalksteinen der Meißner- und Trochitenkalk-Formation; rechts oben mit Kolluvial- und Lösslehm verfüllte Doline mit Anschluss an eine tief in den Kalkstein reichende Karstspalte (Foto: W. Fleck)

Im Raum Nagold wurden bei der geologischen Kartierung Reste pleistozäner Flussablagerungen an den Talhängen oder vereinzelt sogar auf den Muschelkalkplateaus dokumentiert. So beschreibt Schmidt (1920) ein Buntsandsteingeröll im Liegenden einer Lösslehmdecke auf ca. 600 m ü. NHN etwa zwei Kilometer westlich des Kuppinger Waldes und bringt den Fund mit pliozänen Flussablagerungen in Verbindung.

Die im Pleistozän erfolgte Eintiefung der Täler von Nagold und ihrer Zuflüsse war Voraussetzung für die in den Steinbrüchen häufig zu beobachtende tiefreichende Verkarstung im Oberen Muschelkalk (Abb. 3).



Legende: **qhy** – anthropogene Ablagerung, **y** – anthropogen verändertes Gelände, **qhz** – holozäne Abschwemmmassen, **Lol** – Lösslehm, **Lo** – Löss, **kuE** – Erfurt-Fm., **moD** – Trigonodusdolomit, **moM** – Meißner-Fm., **moTK** – Trochitenkalk – Fm., **mm** – Mittlerer Muschelkalk, **mu** – Unterer Muschelkalk.

Abb. 4: Geologische Karte des Kuppinger Waldes und seiner Umgebung mit Lage der Exkursionsprofile 1–4; Grundlage: Geologische Karte 1 : 50 000, GK50 GeoLa (Regierungspräsidium Freiburg 2021), Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg

2.2 Geomorphologie

Östlich des Nagoldtals bilden die harten Karbonatgesteine des Oberen Muschelkalks eine ausgeprägte Schichtstufe, die besonders dort in Erscheinung tritt, wo das Nagoldtal direkt am Fuße des Stufenhanges verläuft. Eine Ausnahme bildet die Umgebung der Stadt Nagold, wo sich der Fluss in den Oberen Muschelkalk eingetieft hat und der Stufenrand nördlich der Stadt und des Flusses verläuft. Der Kuppinger Wald mit seinem welligen Relief liegt auf 550–580 m ü. NHN und damit etwa 50–100 m über den Plateaulagen des Unteren Muschelkalks und Oberen Buntsandsteins westlich des Nagoldtals. Der Kühlenberg ist mit 627 m ü. NHN die höchste Erhebung der Oberen Gäue und liegt rund 5 km westlich des Kuppinger Waldes bei der Ortschaft Emmingen. In Richtung Herrenberg fällt das Gelände am Rande des Schönbuchs auf etwa 400 m ü. NHN ab.

Trockentalmulden, Karstwannen und besonders Dolinen sind Zeugnisse der Verkarstung in den Hochlagen des Oberen Muschelkalks. Vorkommen von Höhlen und Schächten sind nur vereinzelt bekannt und oberirdische Gewässer fehlen weitgehend. Die Dolinen treten bevorzugt im Bereich der Muldentäler und vor allem am Übergang zum Unterkeuper (Erfurt-Fm., Lettenkeuper) auf. Hier macht sich der laterale Zustrom von den wenig durchlässigen Böden des Unterkeupers bemerkbar. Im

Gelände lassen sich solche Häufungen von Dolinen immer wieder in den Wäldern, wie z. B. bei Herrenberg-Oberjesingen, beobachten (Abb. 5). Die deutlich erkennbare Dolinenreihe im Gewann Roßhau zeichnet den Übergang vom Oberen Muschelkalk zum Unterkeuper nach. Darüber hinaus ist zu vermuten, dass auch entlang von Verwerfungen sowie durch Hangauflockerung im Bereich von Taleinschnitten bevorzugte Wegsamkeiten für das Sickerwasser vorhanden sind und damit die Kalklösung im Untergrund gefördert wird. Zusätzlich dürfte auch Mischungskorrosion eine Rolle spielen, bei der durch die Mischung zweier im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindlichen Wässer, hier aus dem Muschelkalk und Unterkeuper, CO_2 freigesetzt wird und wieder Kalk gelöst werden kann (Bögli 1964). Neben der Verkarstung wurde das Relief auch während der Kaltzeiten im Periglazialklima geformt. In den Kaltphasen verhinderte der dauerhaft gefrorene Untergrund die Tiefensickerung.

Verschwemmung und Bodenfließen im sommerlichen Auftaubereich sowie die kleinräumige Ansammlung von Schnee und Eis wirkten sich auf das Oberflächenrelief aus. Die im Zuge der Verkarstung entstandenen Auflockerungszonen erfuhren eine verstärkte Ausräumung. Das wellige Relief ist also Ergebnis sowohl der Verkarstung als auch des Periglazialklimas.

Im Unterkeuper spielt die Verkarstung keine Rolle und die periglaziäre Formung führte in den weicheren Tongesteinen zu einem welligen Relief mit W-O-gerichteten, heute oft Wasser führenden Muldentälern. In Abb. 5 sind diese Täler im Unterschied zu den verkarsteten Flächen im Muschelkalk gut zu erkennen. Auffallend sind zudem die steilen, im Unterkeuper abrupt einsetzenden Talanfänge, wie z. B. im Gewann Vogelloch oder am Südrand des Heubergs.



Abb. 5: Reliefverhältnisse im Oberen Gäu westlich von Herrenberg-Oberjesingen; in der Bildmitte Dolinenreihe im Gewann Roßhau, in der rechten Bildhälfte Muldentälchen im Unterkeuper; links unten Steinbruch in Sulz a. E.; Grundlage: Geobasisdaten Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19

2.3 Hydrogeologie

Durch die Verkarstung im Oberen Muschelkalk hat sich im Zuge der Eintiefung des Nagoldtals ein Karstsystem entwickelt, das durch ein Nebeneinander von wenig verkarsteten Schichtpaketen aus Karbonatgestein und stark verkarsteten Bereichen mit tiefreichenden Karstspalten in Erscheinung tritt (Abb. 6). Dies hat direkte Auswirkungen auf die Fließwege und die Fließgeschwindigkeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone sowie auf die Grundwasserströmung in der gesättigten Zone (Abb. 6). Als Epikarst gilt der Bereich in der ungesättigten Zone, in dem das Sickerwasser mehr oder weniger langsam dem Karstaquifer zugeführt wird (Hartmann et al. 2014).

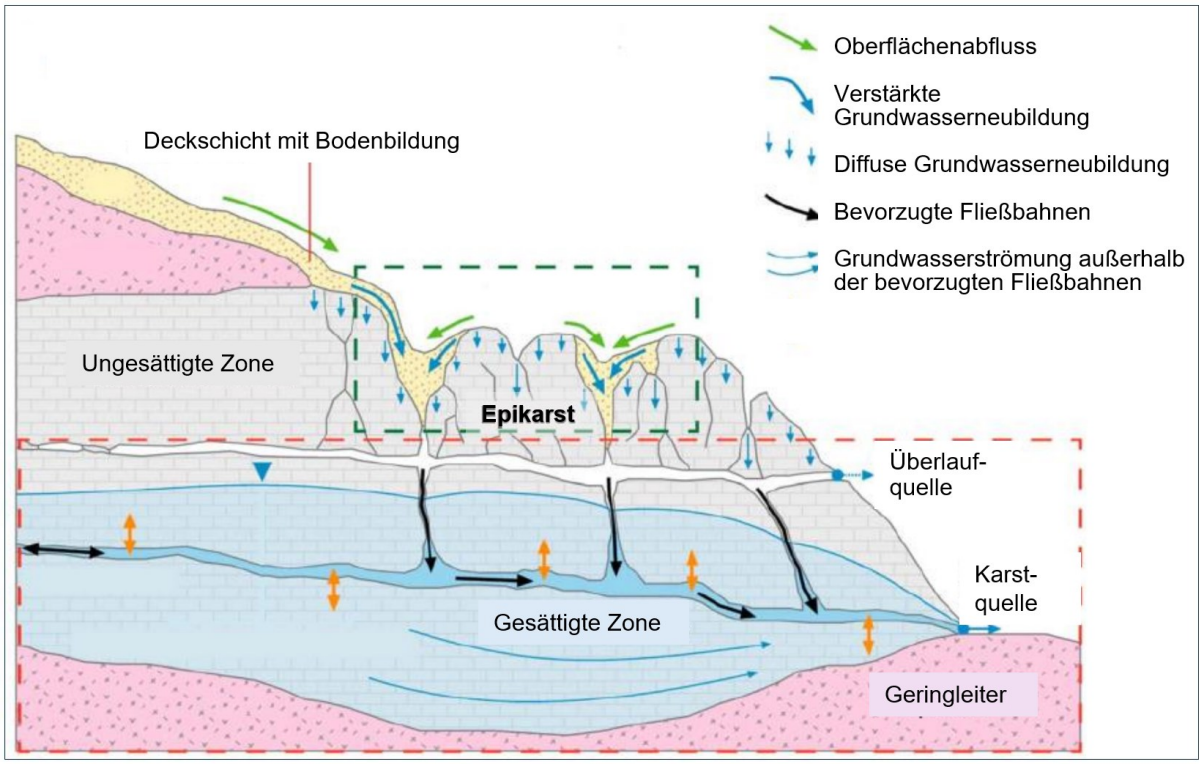


Abb. 6: Schematisches Modell eines Karstsystems; die grünen und roten gestrichelten Rechtecke umfassen die Wasserbewegung im Bereich des Epikarsts bzw. in der gesättigten Grundwasserzone (verändert nach Hartmann et al. 2014)

Wie Markierungsversuche zeigten, bewegt sich das Sicker- und Grundwasser außerhalb der verkarsteten Bereiche in den Gesteinsklüften nur langsam. Die Fließgeschwindigkeiten in diesem Kluftgrundwasserleiter wurden von Harreß (1973) mit 0,01–1,0 m/h angegeben. Dagegen ermöglichen die verkarsteten Bereiche eine deutlich schnellere Wasserbewegung mit Fließgeschwindigkeiten von bis zu 260 m/h, was mit starken Schüttungsschwankungen der Karstquellen und geringen Verweilzeiten des Grundwassers in Verbindung steht.

Die unterirdische Wasserscheide zwischen dem nach Westen zur Nagold und nach Südosten zur Ammer entwässernden Karstsystem verläuft durch den Kuppinger Wald in N-S-Richtung und deckt sich hier noch weitgehend mit der Grenze des oberirdischen Einzugsgebiets. Im Nordosten greift das unterirdische Einzugsgebiet aufgrund des flachen Schichteinfallens nach Südosten deutlich über das orographisch

abgegrenzte Einzugsgebiet der Ammer hinaus und reicht bis in den Bereich der Ortschaften Deckenpfronn und Gärtringen (Villinger 1982). Der zugehörige Karstaquifer speist die Ammerquellen bei Herrenberg. Ein vergleichbares Karstsystem schließt südlich an und versorgt die Bronnbachquelle bei Rottenburg am Neckar, die für die örtliche Trinkwasserversorgung eine wichtige Rolle spielt.

2.4 Klima

Das südwestdeutsche Schichtstufenland liegt mit seinem gemäßigten Klima im Übergangsbereich vom ozeanischen Klima in Westeuropa und dem osteuropäischen Kontinentalklima (Roos 2021). Neben Luv-Lee-Effekten wirkt sich die Geländehöhe wesentlich auf die klimatischen Bedingungen aus. Durch die häufigen Westwetterlagen liegen die Oberen Gäue im Regenschatten des Nordschwarzwaldes, weshalb die jährlichen Durchschnittswerte des Niederschlags von 1200–1300 mm in Freudenstadt (730 m ü. NHN) bis auf 720 mm im ca. 40 km östlich gelegenen Herrenberg (400 m ü. NHN) abnehmen. Die Monatsmittel der Niederschläge zeigen mit rund 80 mm von Mai bis Juli ein deutliches Maximum. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt in Herrenberg bei 9,5 °C mit monatlichen Höchstwerten von 17,5–19 °C in den Monaten Juni, Juli und August (Abb. 7).

Im 150–180 m höher gelegenen Kuppinger Wald sinkt das Temperaturmittel laut Angaben des DWD auf 8,6 °C ab und die Jahresniederschläge steigen auf Werte zwischen 830 und 860 mm an.

Die klimatische Wasserbilanz aus der Differenz von Niederschlag und Verdunstung (potenzielle Evapotranspiration) weist in den Randhöhen auf Oberem Muschelkalk einen Überschuss von rund 300 mm auf und liefert einen Anhaltspunkt für die mittlere jährliche Sickerwassermenge im Boden.

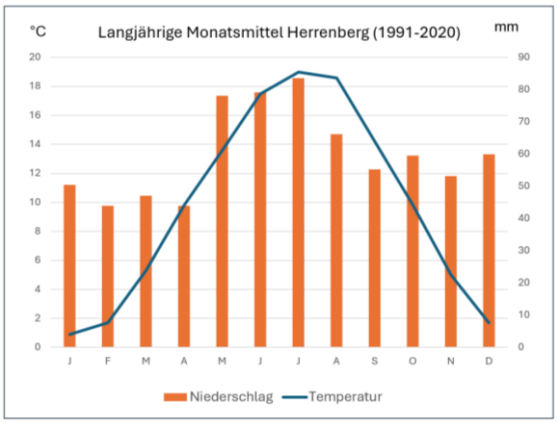


Abb. 7: Klimadiagramm mit langjährigen Monatsmitteln von Niederschlag und Temperatur (Roos 2021)

2.5 Vegetation, Landnutzung

Aufgrund der fruchtbaren Böden und des günstigen Klimas überwiegt in den Oberen Gäuen die landwirtschaftliche Nutzung. Die alte Bezeichnung „Gäu“ ist an den hohen Ackeranteil angelehnt. Der Bereich zwischen Schönbuch, Nagoldtal und dem Neckartal von Horb bis Rottenburg, gerne auch als „Oberes Gäu“ bezeichnet, besitzt in seinem flachen, kaum durch Täler zerschnittenen Relief einen weiteren Vorteil für die Landwirtschaft (Abb. 1). Einzelne bewaldete Inseln, wie etwa in der nördlichen Umrahmung von Rottenburg a. N., sind auf Aufragungen im Mittleren Keuper mit weniger fruchtbaren Böden zurückzuführen.

Auf einem Großteil der Ackerfläche wird heute Getreide angebaut. Winterweizen, Sommer- und Wintergerste sind verbreitet und werden durch Winterraps, örtlich auch Zuckerrüben und Kartoffeln, sowie Silomais auf flachgründigen Muschelkalkböden ergänzt. Auf diesen trockenen Standorten ist zudem ein deutlicher Anteil von Grünland zu verzeichnen.

Die forstliche Nutzung beschränkt sich v. a. auf die steilen Talhänge und die verkarsteten Randhöhen im Oberen Muschelkalk, wo im Kuppinger Wald der räumliche Schwerpunkt der Exkursion liegt. Im Vergleich zu den Wäldern im Oberen Buntsandstein nimmt der Laubwaldanteil

auf den Randhöhen östlich des Nagoldtals deutlich zu.

Im Kuppinger Wald überwiegt der Laubwald- gegenüber dem Nadelwaldanteil, was in direktem Zusammenhang mit der Naturverjüngung nach den Sturmschäden in den 1990er Jahren steht. Bis 2007 wuchs der Laubwaldanteil dadurch auf 72% an, um 1980 waren es noch ungefähr 50%. Vor allem der Orkan Lothar richtete an Weihnachten 1999 im Kuppinger Wald riesige Schäden an (Dinkelaker 2011). Die Entwicklung geht in Richtung der natürlichen Baumartenverteilung eines Submontanen Buchen-Eichenwalds mit Tanne, was den heutigen Vorstellungen eines gegen Klimaveränderungen resistenten Waldes entgegenkommt. Von der Forstverwaltung wird für den gesamten Stadtwald Herrenberg eine Baumartenmischung mit 70–80% Laubholz (v. a. Buche und Eiche) und 20–30% Nadelholz (v. a. Fichte und Tanne, untergeordnet Kiefer und Douglasie) angestrebt.

Die wenigen zur Verfügung stehenden schriftlichen Unterlagen lassen vermuten, dass sich die Feld-/Waldverteilung auf der Gemarkung Kuppingen über die Jahrhunderte wenig verändert hat. Nahezu der gesamte Wald gehört im Unterschied zu den Nachbargemeinden der Stadt Herrenberg.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde der Gemeindehaushalt des damals noch selbstständigen Kuppingen zu 30–50% über die Einnahmen aus dem Wald gedeckt. Mit außerordentlichen Holzeinschlägen, sog. Sonderhieben, konnten größere Investitionen, wie z. B. der Anschluss an die Gäuwasserversorgung oder der Bau der Kanalisation, finanziert werden.

Bis zur Reform der Forstwirtschaft Anfang des 19. Jahrhunderts wurde der Wald von der gesamten Bevölkerung intensiv in unterschiedlichster Weise genutzt. Neben der häufig unkontrollierten Holzgewinnung, die oft zur Übernutzung des Waldes führte, waren Waldweide und Streuentnahme über lange Zeit gängige Praxis. Vor allem die Waldweide schadete dem Wald sehr. Die aufkommende Naturverjüngung wurde von den Tieren flächenhaft abgefressen und statt mächtiger Bäume waren oft Buschwerk und Bestandslücken die Regel. Darüber hinaus dienten Kalkstein und Lösslehm als wichtiges Baumaterial. Im Kuppinger Wald wurden zwei kleinere Steinbrüche im Oberen Muschelkalk genutzt (Dinkelaker 2011).

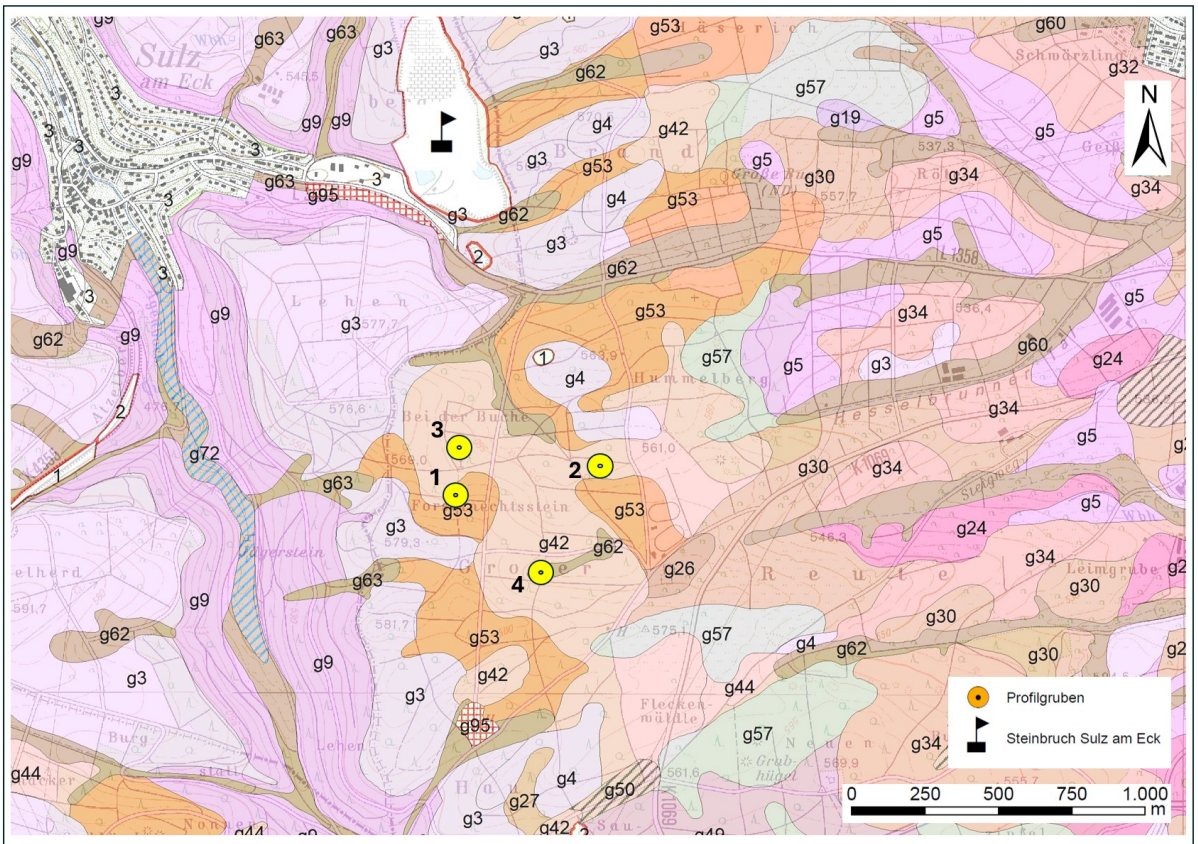
2.6 Böden

Vor allem auf den im Unterkeuper weit verbreiteten Deckschichten aus Löss, Lösslehm und lössreichen Fließerden haben sich in den Oberen Gäuen sehr gute Ackerböden entwickelt. Die Parabraunerde ist der bestimmende Bodentyp, wobei das Bodenmuster in erster Linie durch die Bodenerosion seine Differenzierung erfährt. Neben Parabraunerden mit erodiertem El-Horizont kommen im Raum Herrenberg auf konvexen Rücken und Hängen mit hoher Erosionsgefährdung auch Pararendzinen vor. Die Abtragungsprodukte aus humosem Oberbodenmaterial sammeln sich an Unterhängen sowie in Muldentälern und bauen tiefgründige Kolluvisole auf. Nach Westen, hin zu den Randhöhen im Oberen Muschelkalk, wird die Bedeckung mit Löss-sedimenten zunehmend lückenhaft und Böden aus kalkhaltigem Löss werden von Parabraunerden aus tief entkalktem Lösslehm und lösslehmreichen Fließerden abgelöst. Im Unterkeuper schalten sich Rendzinen auf Dolomitstein sowie Pelosole, Pelosol-Braunerden und Braunerden aus schluffigen und tonigen Fließerden ein. In flachen Lagen und in Mulden entwickelten sich auf dem tonigen Untergrund Pelosol-Pseudogleye im Wechsel mit Pseudogleyen, die

aufgrund ihrer schwierigen Wasserverhältnisse forstlich oder als Grünland genutzt werden.

Auf Kalk- und Dolomitstein des Oberen Muschelkalks hat sich im Bereich der Randhöhen eine Karstlandschaft mit Trockentälern, Karstmulden und Dolinen entwickelt. Die Vergesellschaftung der Böden lässt sich anhand der Exkursionsprofile 1–4 im Kuppinger Wald nachvollziehen. Um den räumlichen Zusammenhang und den Bezug der Böden zum Relief veranschaulichen zu können, wurden die vier Profile auf einer relativ kleinen Fläche angelegt.

Auf den Rücken und Erhebungen kommen im welligen Karstrelief unter Wald flache Braunerden, Braunerde-Rendzinen und Terra fusca-Rendzinen aus schluffig-lehmiger Fließerde (Hauptlage) auf Kalkstein, teilweise Dolomitstein, vor (Kartiereinheit g3 bzw. g4 in Abb. 8). Vergesellschaftet sind Braunerde-Terra fusca und Terra fusca-Braunerde, bei denen auf dem Gesteinszersatz eine Fließerde aus Residualton der Kalksteinverwitterung folgt, die von einer lössführenden Fließerde überdeckt wird. Gemäß Lagengliederung der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2024) werden die beiden Solifluktionsdecken der Haupt- bzw. Basislage zugeordnet. Exkursionsprofil 1 repräsentiert einen typischen Boden in der Bodengesellschaft von Kartiereinheit g53 (Abb. 8). In Mulden und ostexponierten Flachhängen schließen sich Parabraunerden und Terra fusca-Parabraunerden aus Lösslehm oder lössreichen Fließerden bzw. tonigen Fließerden an.



Legende: **1** – Auftrag; **2** – Abtrag; **g3**, **g4** – Rendzina auf Ob. Muschelkalk; **g5** – Rendzina auf Unterkeuper; **g9** – Rendzina aus Hangschutt; **g19**, **g24** – Pararendzina bzw. Pelosol auf Unterkeuper; **g26**, **g30** – Braunerde bzw. Pelosol-Braunerde auf Unterkeuper; **g32**, **g34** – Parabraunerde aus Löss u. lössreichen Fließerden; **g42**, **g44** – Terra fusca-Parabraunerde aus Fließerden; **g50** – Pseudogley-Parabraunerde aus Lösslehm; **g53** – Terra fusca u. Terra fusca-Braunerde auf Ob. Muschelkalk; **g57** – Pseudogley auf Unterkeuper; **g60**, **g62, g63** – Kolluvisol aus Abschwemmmassen; **g95** – Auftragsboden

Abb. 8: Bodenverbreitung im Kuppinger Wald mit Lage der Exkursionsprofile 1–4; Ausschnitt Bodenkarte 1 : 50 000 (GeoLa BK50) des LGRB (Regierungspräsidium Freiburg 2024)

Die Tonverlagerung erfolgte aus der Hauptlage (Ah- und El-Horizont) in die Mittellage (Kt-Horizont). Die Füllungen der Hohlformen erweisen sich als überraschend mächtig. Die Karststruktur im Steinbruch von Sulz a. E. mit einer Füllung aus Löss- und Residuallehm zeigt die Zusammenhänge zwischen Oberflächenrelief, Verkarstung sowie der Boden- und Deckschichtenverbreitung in eindrucksvoller Weise (Abb. 9–11).

In den Muldentälern kommen auch unter Wald teilweise Kolluvisole vor (g62), die auf jüngeren, vom Menschen ausgelösten Bodenabtrag schließen lassen. Dabei wurde humoses Oberbodenmaterial von den höheren Bereichen in die Mulden verlagert und dort akkumuliert. Kartiereinheit g62 umfasst sowohl Normkolluvisole als auch Kolluvisol-Parabraunerden. Letztere weisen bereits eine deutliche Tonverlagerung im humosen Kolluvialmaterial auf (vgl. Profil 4).

3 Beschreibung der Exkursionspunkte

3.1 Steinbruch Sulz am Eck (Schotterwerk Mast)

Der Steinbruch im Oberen Muschelkalk liegt am östlichen Ortsrand von Sulz am Eck an der Straße nach Kuppingen (L 358), rund einen Kilometer nördlich der Exkursionsprofile im Kuppinger Wald (Abb. 4). Wie in weiteren Abbaubetrieben entlang des Nagoldtals werden die dunkelgrauen, gebankten Kalksteine des Oberen Muschelkalks (Meißner- und Trochitenkalk-Formation) gewonnen. Sie finden v. a. als Schotter im Verkehrswegebau sowie für Baustoffe und Betonzuschlag Verwendung. Der geringmächtige Trigonodusdolomit im Hangenden der Kalksteine ist für den qualifizierten Verkehrswegebau nicht geeignet, kann aber als Auffüllmaterial eingesetzt werden (Regierungspräsidium Freiburg 2006).

Die Deckschichten und Böden zeigen entlang der nördlichen Abbauwand eine typische Abfolge im welligen Relief. Von den höhergelegenen Bereichen mit flachgründigen Rendzinen und Übergängen zu Terrae fuscae nimmt die Mächtigkeit der Deckschichten und Böden in einer flachen Einmuldung im Muschelkalk stark zu. In den lösslehmreichen Deckschichten sind Parabraunerden entwickelt, die toniges, rotbraunes Residualmaterial aus der Kalksteinverwitterung überlagern. Als Zwischenglied kommen Terra fusca-Parabraunerden vor.

Bei der räumlichen Entwicklung der Deckschichten und Böden sind v. a. die Lagerungsverhältnisse und der Übergangsbereich der Deckschichten zum Festgestein interessant, die sich an der etwa knapp 300 m langen Aufschlusswand sehr gut verfolgen lassen.

Die SW-NO-ausgerichtete Aufschlusswand quert einen schwach konvexen bis gestreckten, ca. 5–6% nach SO geneigten Flachhang, der in der rechten, östlichen Ecke in eine flache Hangmulde entlang des Waldrands übergeht. In der Übersicht in Abb. 9 zeigt sich, dass die freigeräumte Oberfläche des anstehenden Kalksteins eine flache Mulde im Paläorelief nachzeichnet, die von den Deckschichten verhüllt wird und an der Geländeoberfläche nicht zu erkennen ist. Zudem wird deutlich, dass die tiefreichende Verkarstung in den liegenden Kalksteinen v. a. mit der flachen Einmuldung im Zusammenhang steht.

Die Residualtone an der Basis der Deckschichten zeigen häufig Feinschichtung, die durch Verschwemmung des Verwitterungsmaterials entstanden ist (Abb. 10). Zusätzlich gibt es immer wieder Bereiche, wo das Lösslehmmaterial im Hangenden streifenartig in den Residualton eingearbeitet ist. Die Residualtone werden diskordant mit scharfer Grenze von einer lösslehmreichen Deckschicht überlagert. Das Grobbodenmaterial in der Deckschicht deutet auf solifluidale Umlagerung hin.



Abb. 9: Abbauwand an der Nordseite des Steinbruchs Sulz a. E.. In der Mitte eine rotbraune Karstspalte, die im Hangenden in eine durch Deckschichten verhüllte flache Mulde übergeht (Foto: W. Fleck)



Abb. 10: Über dem Zersatz des Kalksteins liegen rotbraune, geschichtete Residualtone der Kalksteinverwitterung, die diskordant von einem ca. 1,2 m mächtigen, periglaziär umgelagerten Lockersediment aus vorherrschend Lösslehm überdeckt werden (Foto: W. Fleck)

Die Obergrenze des Kalksteinzersatzes weist im Zentrum eine markante Eintiefung auf, die mit der Verkarstung im Oberen Muschelkalk erklärt werden kann (Abb. 11). Der Residualton und die Lösslehmüberdeckung sind an beidseitigen Verwerfungen nach unten versetzt.

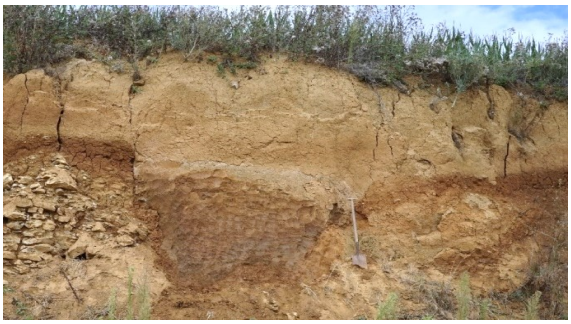


Abb. 11: Durch Verkarstung des Oberen Muschelkalk entstandene Struktur in den Deckschichten und Böden; Höhe der Aufschlusswand ca. 4,5 m (Foto: W. Fleck)

Unter dem Residualton sind die Gesteinsklüfte durch Lösung des Kalksteins erweitert und mit rotbraunem tonigem Verwitterungsmaterial verfüllt. Daneben tritt stellenweise poröser, kieseliger Fossilschutt aus Molluskenschalen auf. In den Tv-Horizonten der oberflächennahen Böden finden sich häufig, wie in den Exkursionsprofilen 1 und 2, entsprechende Bruchstücke in unterschiedlichster Größe wieder. Da die ursprünglich in der Grobbodenfraktion vorhandenen Kalksteine weitgehend aufgelöst wurden, belegen sie die solifluidale Genese der Tonfließerden aus Residualmaterial.

3.2 Bodenprofile im Kuppinger Wald

3.2.1 Profil 1 (P1)

Das Exkursionsprofil liegt etwa 750 m westlich des Sportgeländes Kuppingen in einem nordexponierten Flachhang mit dichter Buchennaturverjüngung. Auf den Kalksteinen des Oberen Muschelkalks hat sich in einer lösslehmführenden Fließerde (Hauptlage) und einer Fließerde aus Residualton (Basislage) eine Terra fusca-Braunerde entwickelt.

Wenig, diffus verteilter Grobboden aus Kalkstein und kieseligem Material unterstreicht die solifluidale Genese der Fließerden. Es ist davon auszugehen, dass ursprünglich deutlich mehr, inzwischen aufgelöstes Grobbodenmaterial aus Kalkstein in den Fließerden vorhanden war und ihre Mächtigkeit entsprechend reduziert wurde.

Die Bodenbildung folgte der Schichtung mit der Ausbildung eines Ah- und Bv-Horizonts in der Hauptlage über dem II Tv-Horizont in der Basislage. Nach KA6 wird der Boden als Terra fusca-Braunerde eingestuft, da der Bv-Horizont über 3 dm tief unter die Mineralbodenoberfläche (MOF) reicht und über einem Bv-Tv-Horizont liegt. Im Profilbild (Abb. 12) hebt sich der hellbraune Bv-Horizont deutlich vom rötlichbraunen II Bv-Tv-Horizont ab. Der Übergang zum anstehenden Kalkstein vollzieht sich im III Tv+cmCv-Horizont, der als *in situ*-Verwitterung des Kalksteins mit Anreicherung von Residualton in den Zwischenräumen angesehen wird.

Da die Tongehalte von 47% für einen reinen Tv-Horizont zu gering sind, wurde ein

Bv-Tv-Horizont ausgewiesen. Die für einen Residualton hohen Schluffgehalte werden weniger als Lössbeimengung, sondern eher als Verwitterungsrückstände von schluffig-mergeligen Lagen in den Kalksteinen angesehen.

In der Bodenkarte (Abb. 8) liegt das Profil im Randbereich der Kartiereinheit g53, in der neben Terra fusca-Braunerde auch Terra fusca, Braunerde-Terra fusca, flache Braunerde und vereinzelt Braune Rendzina vorkommen. Fehlende Staunässemerkmale unterstreichen die gute Wasserdurchlässigkeit der Böden. Bei geringer bis mittlerer nutzbarer Feldkapazität bewegt sich das Sickerwasser vorherrschend vertikal und fließt dem Karstaquifer zu. Die Ausgleichsfunktion im Wasserkreislauf ist wie die Sorptionskapazität hoch (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2011). Letztere ist für die hohe bis sehr hohe Einstufung der Filter- und Pufferwirkung für Schadstoffe verantwortlich, was auf dem verkarsteten Untergrund für die Qualität und den Schutz des Grundwassers von großer Bedeutung ist. Unter landwirtschaftlicher Nutzung sind vergleichbare Böden oft erodiert und Kalksteine durch Pflügen in den Oberboden eingemischt. Die genannten Bodeneigenschaften können sich dadurch nachhaltig verschlechtern.

Tab. 1: Standortbeschreibung

Bodenausgangsgesteinsfolge:	Schluff- über Tonfließerde (Haupt- bzw. Basislage) auf Oberem Muschelkalk
Relief:	schwach nach Norden geneigter Hang
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	569 m ü. NHN
N[1]:	859 mm
JMT[1]:	8,6 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

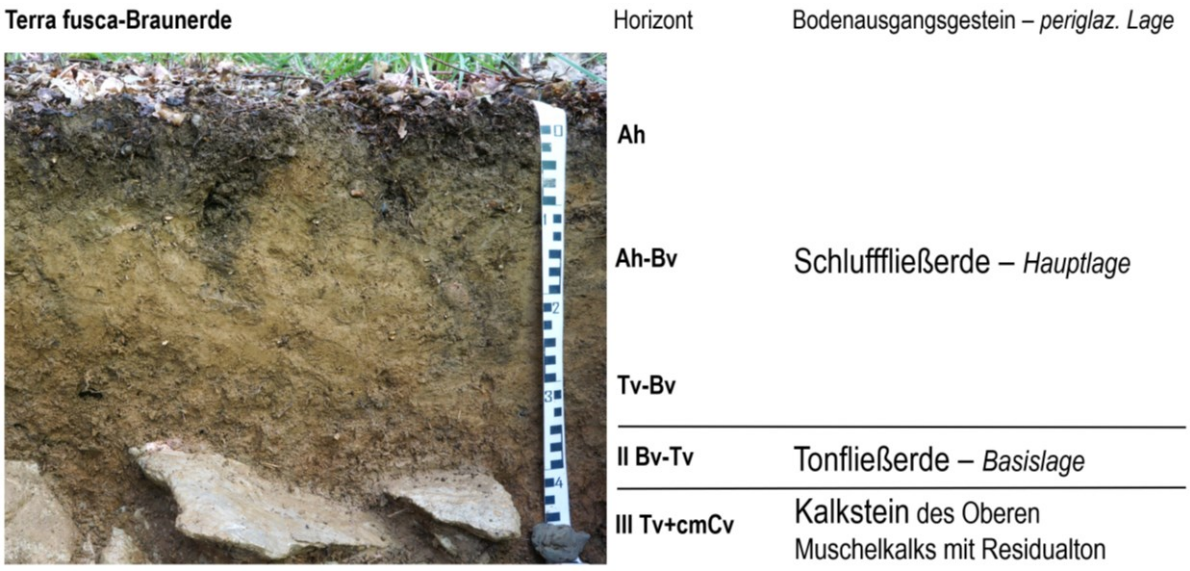


Abb. 12: Ansicht des Bodenprofils P1 mit Horizontabfolge, Bodenausgangsgesteinen und periglaziären Lagen (Foto: W. Fleck)

Tab. 2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangs-gestein	Perigl. Lage
TERRA FUSCA-BRAUNERDE AUS SCHLUFFFLIESSERDE ÜBER TONFLIESSERDE AUF OBEREM MUSCHELKALK										
0 – 3	Ah	Ut4	1	7.5YR 3/4	kru+sub	Wf5	h5	c0	pf.U-qwdj	LH
– 27	Ah-Bv	Ut4	2	7.5YR 5/4	sub	Wf4	h3	c0	pf.U-qwdj	LH
– 34	Tv-Bv	Tu4	1	7.5YR 4/6	pol	Wf4	h2	c0	pf.U-qwdj	LM
– 45	II Bv-Tv	Tu2	1	7.5YR 4/6	pol	Wf3	h2	c2	pf.T-qW	LB
– 50+	IIITv+cmCv	Tu2	6	7.5YR 4/6	-	-	-	-	Ck-mo	-

Deutsche Klassifikation: Terra fusca-Braunerde (CF-BB)
WRB: Eutric Endoleptic Cambisol (Humic)
Humusform: F-Mull (MF)

Tab. 3: Bodenphysikalische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-art
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0 – 3	Ah	1,8	0,8	1,5	33,7	30,1	12,9	19,2	76,7	4,1	Ut4
– 27	Ah-Bv	1,8	1,2	1,5	35,2	29,8	10,7	19,8	75,7	4,5	Ut4
– 34	Tv-Bv	1,9	1,1	1,3	30,8	27,3	9,6	28,0	67,7	4,3	Tu4
– 45	II Bv-Tv	2,8	1,4	1,3	20,2	19,4	7,7	47,2	47,3	5,5	Tu2

Tab. 4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0 – 3	Ah	0,96	63,6	18,1	45,6	24,1	21,5
– 27	Ah-Bv	1,37	48,5	7,0	41,5	22,7	18,8
– 34	Tv-Bv	-	-	-	-	-	-
– 45	II Bv-Tv	1,34	49,5	8,5	41,0	7,4	33,6

Tab. 5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbo-nat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	Humus [%]	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0 – 3	Ah	4,8	5,0	0	65,1	4,1	15,9	13,0	48	199
– 27	Ah-Bv	4,6	4,6	0	14,1	1,0	14,1	2,8	9	42
– 34	Tv-Bv	4,9	4,9	0	8,0	0,7	11,4	1,6	9	42
– 45	II Bv-Tv	6,5	6,6	1,08	7,3	0,7	10,4	1,5	26	58

Tab. 6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{eff} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	eff. austauschbare Kationen [mmol z^{-1} kg^{-1}]							
				Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 3	Ah	168,6	96	< 1	3,3	126,9	30,8	<0,02	1,4	4,9	<0,25
– 27	Ah-Bv	83,6	96	< 1	< 0,5	65,3	14,8	<0,02	<0,01	2,4	<0,25
– 34	Tv-Bv	107,1	97	< 1	< 0,5	83,7	20,3	<0,02	<0,01	1,0	<0,25
– 45	II Bv-Tv	266,5	99	< 1	< 0,5	236,1	27,9	<0,02	<0,01	<0,01	<0,25

Tab. 7: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe [cm]	Horizont	Feo [g kg-1]	Fed [g kg-1]	Alo [g kg-1]	Mno [g kg-1]	Feo/Fed
0 – 3	Ah	3,1	8,9	1,5	1,7	0,34
– 27	Ah-Bv	3,7	10,9	1,5	1,3	0,34
– 34	Tv-Bv	3,8	14,5	1,7	1,3	0,26
– 45	II Bv-Tv	4,8	22,6	2,3	1,3	0,21

Tab. 8: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe [cm]	Horizont	Pb [mg kg-1]	Cd [mg kg-1]	Cr [mg kg-1]	Cu [mg kg-1]	Ni [mg kg-1]	Hg [mg kg-1]	Zn [mg kg-1]	Tl [mg kg-1]	As [mg kg-1]	U [mg kg-1]	Se [mg kg-1]
0 – 3	Ah	39	0,44	33	18	37	0,10	73	0,30	10	0,85	0,48
– 27	Ah-Bv	31	0,30	36	18	37	0,05	79	0,33	10	1,06	0,52
– 34	Tv-Bv	29	0,44	48	24	47	0,04	106	0,38	12	1,06	0,50
– 45	II Bv-Tv	35	0,57	74	39	76	0,04	118	0,57	19	1,11	0,40

3.2.2 Profil 2 (P2)

Der Profilstandort befindet sich 300 m nordwestlich des Sportgeländes und ist rund 500 m von P1 entfernt. Das Profil liegt 10 m tiefer als P1 im Talanfang einer sehr flachen, sich nach Westen fortsetzenden Mulde. In der zugehörigen Bodengesellschaft (g42, Abb. 8) kommen Terra fusca-Parabraunerden aus lösslehmreichen Fließerden über Residualton und Parabraunerden aus Lösslehm vor. Die Böden aus mächtigem Lösslehm konzentrieren sich auf die leeseitigen Flachhänge und die am tiefsten gelegenen Muldenbereiche. Die Terra fusca-Parabraunerden nehmen bevorzugt die Muldenränder am Fuße der anschließenden Flachhänge ein.

Im Unterschied zu P1 besitzt P2 eine mächtigere Basislage und eine zwischen Haupt- und Basislage gelegene geringmächtige Mittellage. Wie bei P1 sprechen die Schluffgehalte in der Hauptlage für einen hohen Lössanteil.

In der Mittellage hat sich ein Tonanreicherungshorizont gebildet. Aufgrund der Tongehalte von 43% lässt sich vermuten, dass die Mittellage aus einer Mischung von äolischem Material und Residualton besteht. Bei der Profilbeschreibung kommt dies im Übergangshorizont II Tv-Kt zum Ausdruck. Der unterlagernde Bodenhorizont in der Basislage mit 64% Ton, Polyedergefüge und Tonbelägen wurde nach KA6 als III Kt-Tv-Horizont eingestuft.

Wie in P1 treten im gesamten Profil geringe Grusgehalte aus kieseligem Material auf. In der Hauptlage sind in 2–3 dm Profiltiefe auch einzelne Kalksteine zu finden (Abb. 13). Der Grobboden ist wie häufig zu beobachten im unteren Teil der Hauptlage angereichert. Geht man davon aus, dass ursprünglich mehr Grobboden vorhanden war, sind die Kalksteine als Lösungsreste von ursprünglich größeren Steinen oder sogar Blöcken anzusehen. Aufgrund der schon länger andauernden Verwitterung ist im II Tv-Kt kein Grobboden aus Kalkstein zu finden. Bei der Bildung der Hauptlage in der Jüngeren Tundrenzeit wurde offensichtlich frisches Kalksteinmaterial aus höher gelegenen Positionen auf der Mittellage sedimentiert. Die Grobbodenkomponenten sind durch die Kalklösung geformt und zeigen im Vergleich zu frischem, kantigem Kalksteinbruch weiche, organische Flächen mit scharfen, häufig spitz zulaufenden Kammlinien.

Im Exkursionsprofil sind unterhalb von 3 dm u. MOF schwache Staunässemerkmale in Form von Rostflecken und Konkretionen vorhanden, die als reliktisch angesehen werden und keine aktuelle Staunässe anzeigen. Das stabile Polyedergefüge im tonreichen Unterboden ist wie in P1 für die gute Wasserdurchlässigkeit verantwortlich. Bei mittlerer bis hoher nutzbarer Feldkapazität bewegt sich das Sickerwasser trotz der größeren Mächtigkeit des tonreichen Unterbodens vorherrschend vertikal und trägt zur Grundwasserneubildung bei. Sorptionskapazität und Basensättigung des Bodens sowie seine Ausgleichsfunktion im Wasserkreislauf sind wiederum hoch.

Unter landwirtschaftlicher Nutzung ist der El-Horizont aufgrund der hohen Erodierbarkeit oft abgetragen. Ansonsten wirkt sich der Nutzungsunterschied zwischen Wald und Landwirtschaft weniger auf die Bodeneigenschaften als bei P1 aus.

Rund 100 m nordöstlich von P2 befindet sich eine Doline mit mächtiger Füllung aus Lösslehm. Ein Dachsbau gewährt hier Einblick in den tieferen Untergrund. Die offensichtlich schon im Pleistozän entstandene Doline wirkte vermutlich, ähnlich wie die flachen Mulden und leeseitigen Unterhänge, als Sedimentfalle.

Tab. 9: Standortbeschreibung

Bodenausgangsgesteinsfolge:	Fließerdefolge (Haupt-, Mittel- über Basislage) auf Zersatz des Oberen Muschelkalks
Relief:	eben, Zentrum einer flachen Mulde
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	569 m ü. NHN
N[1]:	833 mm
JMT[1]:	8,7 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

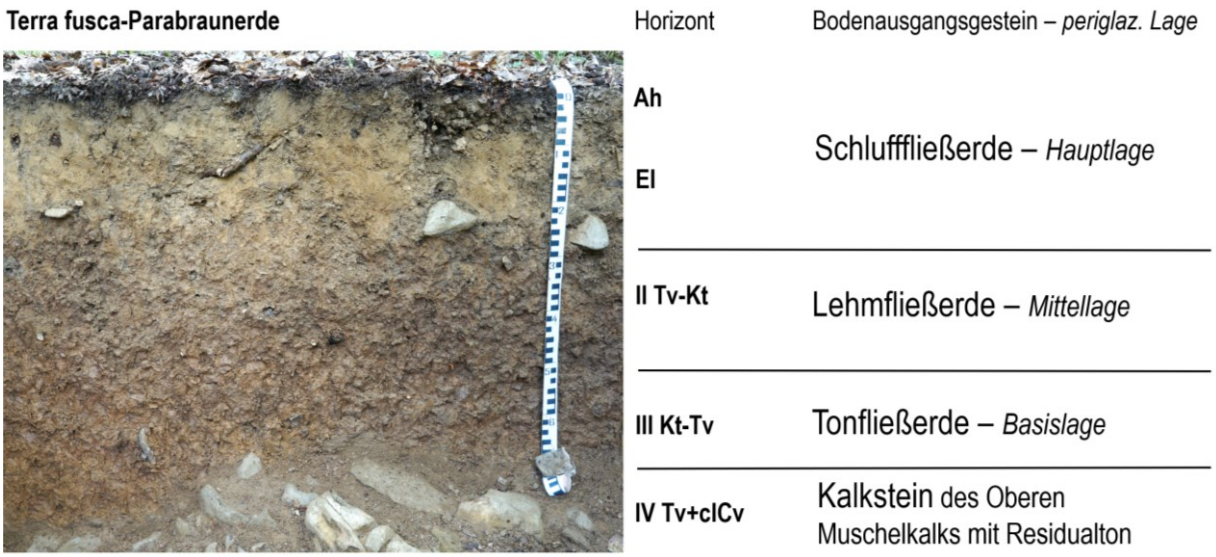


Abb. 13: Ansicht des Bodenprofils P2 mit Horizontabfolge, Bodenausgangsgesteinen und periglaziären Lagen (Foto: W. Fleck)

Tab. 10: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont	Boden-	Skelett	Farbe	Gefüge	Wurzeln	Hu-	Carbo-	Aus-	Perigl.
							mus	nat	gangs-	
[cm]		art	[Stufe]			[fein]	[Stufe]	[Stufe]	gestein	Lage
TERRA FUSCA-PARABRAUNERDE AUS SCHLUFFFLIEßERDE ÜBER LEHMFLIESSERDE AUF TONFLIESSERDE										
0 – 3	Ah	Ut4	1	7.5YR 3/3	kru	Wf5	h5	c0	pf.U-qW	LH
– 32	El	Tu4	1	10YR 4/4	sub	Wf3	h2	c0	pf.U-qW	LH
– 50	II Tv-Kt	Tu3	1	10YR 4/6	pol	Wf3	h2	c0	pf.L-qW	LM
– 85	III Kt-Tv	Tu2	2	7.5YR 4/6	pol	Wf3	h1	c0	pf.T-qW	LB
–100+	IVTv+clCv	Tu2	6	7.5YR 4/6	-	Wf1	-	-	Ck-mo	-

Deutsche Klassifikation: Terra fusca-Parabraunerde (CF-LL)
WRB: Endogeoabruptic Luvisol (Episiltic, Clayic, Cutanic, Epic, Hypereutric, Humic, Epiraptic)
Humusform: F-Mull (MF)

Tab. 11: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Korngrößenverteilung

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 3	Ah	2,0	1,0	1,3	30,0	29,2	11,6	24,9	70,8	4,3	Ut4
– 32	El	1,1	1,1	1,6	31,5	29,0	10,0	25,7	70,5	3,8	Tu4
– 50	II Tv-Kt	3,4	1,4	1,4	21,9	21,2	8,2	42,5	51,3	6,2	Tu3
– 85	III Kt-Tv	0,9	0,7	1,2	12,9	14,2	6,3	63,8	33,4	2,8	Tu2

Tab. 12: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]		[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
0 – 3	Ah	1,04	60,8	16,0	44,8	21,1	23,7
– 32	El	1,36	48,7	12,9	35,8	14,6	21,2
– 50	II Tv-Kt	1,43	46,0	8,4	37,6	10,9	26,7
– 85	III Kt-Tv	1,36	48,7	2,1	46,6	11,5	35,1

Tab. 13: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	pH	pH	Carbonat	C_{org}	N_t	C/N	Humus	P_t	P (CAL)	K (CAL)
[cm]		[H_2O]	[$CaCl_2$]	[%]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[%]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0 – 3	Ah	4,8	4,7	0	68,0	4,4	15,5	13,6	-	26	224
– 32	El	4,2	4,0	0	9,5	0,8	11,9	1,9	-	<4	25
– 50	II Tv-Kt	4,7	4,6	0	5,0	<0,5	-	0,9	-	9	6
– 85	III Kt-Tv	5,4	5,4	0	4,4	<0,5	-	1,0	-	<4	50

Tab. 14: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol z^{-1} kg^{-1}]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 3	Ah	157,8	96	<0,17	5,4	121,8	24,4	<0,02	<0,01	6,2	<0,25
– 32	El	50,1	94	<0,17	0,9	38,8	7,5	<0,02	<0,01	2,2	0,7
– 50	II Tv-Kt	292,8	100	<0,17	3,6	270,3	18,8	<0,02	<0,01	0,2	<0,25
– 85	III Kt-Tv	147,9	99	<0,17	2,7	127,5	16,7	<0,02	<0,01	1,1	<0,25

Tab. 15: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe [cm]	Horizont	Fe_o [g kg^{-1}]	Fe_d [g kg^{-1}]	Al_o [g kg^{-1}]	Mn_o [g kg^{-1}]	Fe_o/Fe_d
0 – 3	Ah	2,9	11,1	1,5	1,6	0,26
– 32	El	3,2	12,2	1,6	1,2	0,26
– 50	II Tv-Kt	2,4	19,2	1,7	1,2	0,13
– 85	III Kt-Tv	2,2	26,8	2,0	1,0	0,08

Tab. 16: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe [cm]	Horizont	Pb [mg kg^{-1}]	Cd [mg kg^{-1}]	Cr [mg kg^{-1}]	Cu [mg kg^{-1}]	Ni [mg kg^{-1}]	Hg [mg kg^{-1}]	Zn [mg kg^{-1}]	Tl [mg kg^{-1}]	As [mg kg^{-1}]	U [mg kg^{-1}]	Se [mg kg^{-1}]
0 – 3	Ah	47	0,38	36	24	40	0,11	67	0,36	12	0,91	0,36
– 32	El	40	0,23	49	31	48	0,05	69	0,44	14	1,11	0,53
– 50	II Tv-Kt	48	0,66	112	75	113	0,09	171	0,84	30	1,10	0,43
– 85	III Kt-Tv	43	0,40	68	45	68	0,04	95	0,62	19	1,22	0,36

3.2.3 Profil 3 (P3)

Das Exkursionsprofil 3 liegt in einer schwach nach Nordosten geneigten Hangmulde, ca. 200 m nördlich von P1. Unter älteren Eichen und Buchen werden weite Bereiche von einer Buchenverjüngung eingenommen. Die Reliefposition gehörte während den Kaltzeiten zu den bevorzugten Ablagerungsräumen für Lösssedimente. Das Gesamtprofil gliedert sich bis in die erreichte Bohrtiefe von 43 dm in mindestens vier oder fünf Schichten aus kalkfreien, durch Bodenbildung überprägten Lösslehmen.

In der Profilgrube (Abb. 14) sind bis in 16 dm Tiefe drei Schichten aus Lösssedimenten aufgeschlossen. Eine oder zwei weitere Schichten aus Lösslehm sowie ein grushaltiger Residualton an der Basis wurden zusätzlich erbohrt. Als rezenter Boden hat sich im 8 dm mächtigen würmzeitlichen Löss eine pseudovergleyte Parabraunerde entwickelt. Der Löss ist entkalkt und von der Bodenbildung vollständig überprägt. Die Tonanreicherung im Sd-Kt reicht bis in den darunterliegenden Lösslehm (II Sd-Bv-Kt), der sich vor allem durch eine auffallend dichte Lagerung, bei nahezu identischer Bodenart, vom darüberliegenden Sd-Kt-Horizont unterscheidet. Die Trockenraumdichte steigt abrupt von 1,42 auf 1,67 g/cm^3 an und die Luftkapazität sinkt entsprechend von 6,0 auf 2,0 Vol.-%. Der Dichtesprung spiegelt sich auch in der nutzbaren Feldkapazität und der Durchwurzelung wider.

Im Sd-Kt geht das Polyedergefüge nach unten zunehmend in ein Kohärentgefüge über. Die Dichtlagerung verursacht eine schwache Pseudovergleyung mit Rostflecken und leichter Nassbleichung im Sw-El. Die beiden geologischen Schichten sind im Profil auch farblich, braun (7.5YR 4/6) gegenüber gelbbraun (10YR 5/6), zu unterscheiden (Abb. 14). Auch der Farbwechsel zum III fKt-Horizont (10YR 4/6) lässt sich im Profilbild zwischen 13 und 14 dm unter MOF noch deutlich erkennen.

Der III fKt-Horizont wird ab 18,5 dm u. MOF von einem schluffreichen, humosen Horizont unterlagert, der im Bohrstock als fossiler IV fAh-Bv-Horizont angesprochen wurde. Auf diesen folgt bis 25,3 dm u. MOF ein fossiler Verbraunungshorizont (IV fBv) sowie in einer fünften geologischen Schicht ein V fBv-Kt, der ab 41 dm u. MOF von einem Residualton mit kieseligem Grus unterlagert wird (VI fTv).

Die zweite Schicht zwischen 8 und 13,7 dm Tiefe weist sehr geringe Feingrusgehalte aus dem oben beschriebenen kieseligen Material auf. Die Einmischung ist nur durch

Umlagerung des Lösslehmmaterials zu erklären, was wahrscheinlich auch auf die skelettfreien Schichten im Hangenden und Liegenden zutrifft. Das Bodenausgangsgestein müsste in diesem Fall als eine Abfolge von lösslehmreichen Fließerden benannt werden. Der El-Horizont wäre in der Hauptlage entwickelt, die darunterliegenden Horizonte in einer Folge von Mittellagen.

Bei den Eigenschaften der pseudovergleyten Parabraunerde ist vor allem das hohe Wasserspeichervermögen mit einer nutzbareren Feldkapazität bis 10 dm Profiltiefe von rund 200 mm zu nennen. Im Unterschied zu P2 führt der dichte, weniger gut aggregierte Unterboden zu schwacher Staunässe, die im schwach geneigten Gelände bei Wassersättigung zu lateralem Zwischenabfluss im El-Horizont führen dürfte. Bei der Profilaufnahme im Gelände wurde erwogen, die Staunässe stärker zu berücksichtigen und den Boden als Pseudogley-Parabraunerde zu benennen. Im Gegensatz zur bisherigen Klassifikation nach KA5 (AG Boden 2005) fordert die KA6 (AG Boden 2024) dabei allerdings einen reinen Sw- oder Sd-Horizont zwischen 4 und 8 dm u. MOF, der im Profil aber fehlt.

Die pH-Werte ($CaCl_2$) der rezenten Parabraunerde liegen mit Werten zwischen 3,4 und 3,9 im sehr stark sauren Bereich und nehmen darunter auf Werte über pH 4 zu. Die effektive Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung sind in den El-Horizonten am niedrigsten.

Tab. 17: Standortbeschreibung

Bodenausgangsgesteinsfolge:	Würmzeitlicher Löss über Lösslehm
Relief:	schwach nach Nordost geneigte Talanfangsmulde
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	562 m ü. NHN
N[1]:	837 mm
JMT[1]:	8,6 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

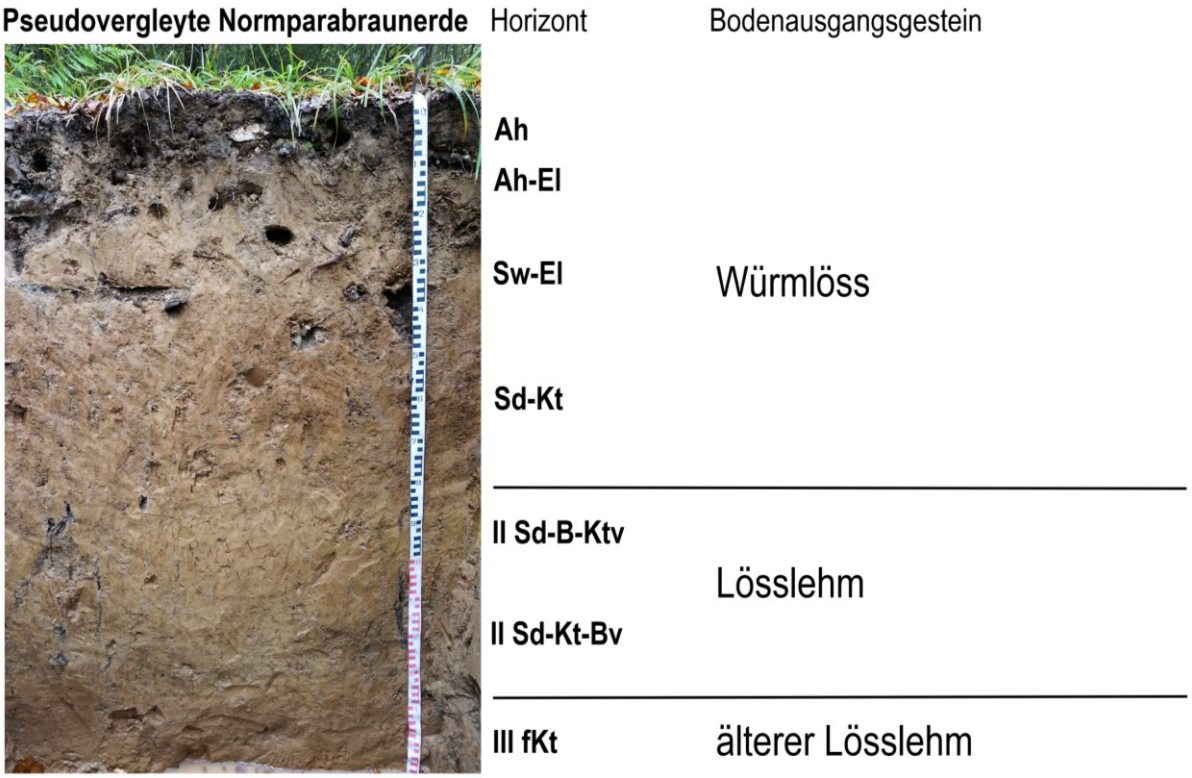


Abb. 14: Ansicht des Bodenprofils P3 mit Horizontabfolge und Bodenausgangsgesteinen; die großen Hohlräume bis in 5 dm Profiltiefe sind durch abgestorbene Grobwurzeln entstanden (Foto: W. Fleck)

Tab. 18: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangs-gestein	Perigl. Lage
PSEUDOVERGLEYTE NORMPARABRAUNERDE AUS WÜRMZEITLICHEM LÖSS ÜBER LÖSSLEHM										
0 – 10	Ah	Ut4	0	10YR 4/6	koh	Wf4	h4	c0	co-qW	-
– 23	Ah-El	Ut4	0	10YR 5/6	sub	Wf3	h3	c0	co-qW	-
– 41	Sw-El	Ut4	0	10YR 5/6	sub	Wf3	h2	c0	co-qW	-
– 80	Sd-Kt	Tu4	0	7.5YR 4/6	pol	Wf3	h1	c0	co-qW	-
– 113	II Sd-Bv-Kt	Tu4	1	10YR 5/6	koh+pol	Wf2	h1	c0	co	-
– 137	II Sd-Kt-Bv	Tu4	1	10YR 5/8	pol+koh	Wf2	h1	c0	co	-
– 185	III fKt	Tu3	0	10YR 4/6	pol	Wf2	h1	c0	co	-
–232[1)]	*IV fAh-Bv*	*Ut4*	*0*	*7.5YR 4/3*	-	-	*h2*	*c0*	*co*	-
– 253	*IV fBv*	*Ut4*	*0*	*7.5YR 4/6*	-	-	*h1*	*c0*	*co*	-
– 410	*V fKt-Bv*	*Tu3*	*0*	*7.5YR 5/6*	-	-	*h0*	*c0*	*co*	-
–430+	*VI fTv*	*Tu2*	*2*	*10YR 5/4*	-	-	*h0*	*c0*	*cv+cr*	-

Deutsche Klassifikation: Pseudovergleyte Normparabraunerde (sLLn) *[1)]kursiv: Einschätzung im Bohrstock*
WRB: Haplic Luvisol (Episiltic, Katoloamic, Cutanic, Epidystric, Epic, Humic, Endoraptic)
Humusform: F-Mull (MF)

Tab. 19: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Korngrößenverteilung

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 10	Ah	0,4	0,4	1,4	37,9	32,4	9,5	18,0	79,8	2,2	Ut4
– 23	Ah-El	0,3	0,3	0,9	37,9	32,5	9,5	18,6	79,9	1,5	Ut4
– 41	Sw-El	0,3	0,4	1,1	37,1	31,7	9,2	20,2	78,0	1,8	Ut4
– 80	Sd-Kt	0,1	0,1	0,7	31,5	26,2	7,7	33,7	65,4	0,9	Tu4
– 113	II Sd-Bv-Kt	0,4	0,4	0,7	28,4	28,6	8,8	32,7	65,8	1,5	Tu4
– 137	II Sd-Kt-Bv	0,2	0,4	0,9	30,6	27,4	9,4	31,1	67,4	1,5	Tu4
– 185	III fKt	0,5	0,5	1,1	29,4	26,8	8,7	33,0	64,9	2,1	Tu3

Tab. 20: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]		[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
0 – 10	Ah	1,12	57,6	9,1	48,5	36,6	11,9
– 23	Ah-El	1,27	52,1	11,0	41,1	29,6	11,5
– 41	Sw-El	1,39	47,7	10,4	37,3	24,7	12,6
– 80	Sd-Kt	1,42	46,4	6,0	40,4	17,0	23,4
– 113	II Sd-Bv-Kt	1,67	37,0	2,0	35,0	10,3	24,7

Tab. 21: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	pH	pH	Carbonat	C_{org}	N_t	C/N	Humus	P (CAL)	K (CAL)
[cm]		[H_2O]	[$CaCl_2$]	[%]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[%]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0 – 10	Ah	4,0	3,8	0	26,3	1,8	14,6	5,3	65	83
– 23	Ah-El	3,8	3,7	0	13,2	0,9	14,7	2,6	39	42
– 41	Sw-El	3,1	3,4	0	6,0	0,5	12,0	1,2	22	17
– 80	Sd-Kt	3,5	3,9	0	2,4	< 0,5	-	0,5	31	66
– 113	II Sd-Bv-Kt	4,0	4,4	0	2,2	< 0,5	-	0,4	14	42
– 137	II Sd-Kt-Bv	4,5	4,7	0	2,5	< 0,5	-	0,5	14	42
– 185	III fKt	5,5	4,9	0	2,8	< 0,5	-	0,6	9	42

Tab. 22: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol z^{-1} kg^{-1}]							
[cm]		[mmol$_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 10	Ah	67,6	67	<0,17	1,8	20,3	5,7	<0,02	34,9	4,2	0,8
– 23	Ah-El	45,0	22	<0,17	1,0	6,4	2,6	<0,02	32,5	1,6	0,9
– 41	Sw-El	32,8	14	<0,17	0,6	2,3	1,7	<0,02	26,3	1,1	0,8
– 80	Sd-Kt	135,8	64	<0,17	3,0	59,3	24,1	<0,02	47,6	1,0	1,0
– 113	II Sd-Bv-Kt	158,6	92	<0,17	1,8	112,0	31,4	<0,02	12,3	0,6	0,7
– 137	II Sd-Kt-Bv	158,7	100	<0,17	1,7	128,4	27,9	<0,02	<0,01	0,6	0,3
– 185	III fKt	128,7	100	<0,17	1,7	102,4	24,4	<0,02	<0,01	0,2	<0,25

Tab. 23: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe [cm]	Horizont	Fe_o [g kg^{-1}]	Fe_d [g kg^{-1}]	Al_o [g kg^{-1}]	Mn_o [g kg^{-1}]	Fe_o/Fe_d
0 – 10	Ah	3,0	5,7	1,6	0,77	0,53
– 23	Ah-El	3,1	6,7	1,7	0,45	0,46
– 41	Sw-El	3,2	7,2	1,7	0,69	0,44
– 80	Sd-Kt	2,2	13,8	1,9	0,58	0,16
– 113	II Sd-Bv-Kt	1,7	14,8	1,4	0,50	0,11
– 137	II Sd-Kt-Bv	1,1	14,5	1,2	0,57	0,08
– 185	III fKt	2,1	13,9	1,2	0,66	0,15

Tab. 24: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe [cm]	Horizont	Pb [mg kg^{-1}]	Cd [mg kg^{-1}]	Cr [mg kg^{-1}]	Cu [mg kg^{-1}]	Ni [mg kg^{-1}]	Hg [mg kg^{-1}]	Zn [mg kg^{-1}]	Tl [mg kg^{-1}]	As [mg kg^{-1}]	U [mg kg^{-1}]	Se [mg kg^{-1}]
0 – 10	Ah	50	0,20	28	10	22	0,11	34	0,23	6	1,02	0,39
– 23	Ah-El	24	0,07	29	9	23	0,07	33	0,22	6	1,08	0,41
– 41	Sw-El	16	0,08	31	10	26	0,04	43	0,16	6	1,06	0,23
– 80	Sd-Kt	19	0,18	57	23	58	0,03	63	0,27	14	1,20	0,26
– 113	II Sd-Bv-Kt	19	0,12	55	21	53	0,02	60	0,24	14	0,90	0,19
– 137	II Sd-Kt-Bv	21	0,17	56	22	50	0,02	59	0,30	14	0,93	0,17
– 185	III fKt	23	0,14	52	23	46	0,03	62	0,34	13	0,93	0,17

3.2.4 Profil 4 (P4)

Das Profil liegt im Zentrum einer flachen Mulde etwa 400 m westlich des Sportgeländes auf 569 m ü. NHN. Auch hier hat sich ein sehr tiefgründiger, aus mehreren geologischen Schichten aufgebauter Boden gebildet. Das lösslehmreiche Bodenausgangsgestein ist ca. 12 dm mächtig und wird bis in eine Tiefe von mindestens 29 dm (max. Bohrtiefe) von einem rötlichbraunen Residualton unterlagert. Im Unterschied zu P3 hat sich die Parabraunerde wahrscheinlich in einem älteren holozänen Kolluvialmaterial entwickelt und wurde deshalb als Kolluvisol-Parabraunerde mit Dj°El- und Dj°Kt-Horizont eingestuft (Abb. 16). Kolluvisole im anschließenden Ackerland zeigen dagegen aufgrund ihrer jungen Entstehung noch keine Tonverlagerung und besitzen einen teilweise kalkhaltigen, reinen Dj-Horizont.

Staunässemerkmale sind trotz des flachen Reliefs und des tonreichen Unterbodens im gesamten Profil nur sehr schwach ausgeprägt und wurden bei der Benennung der Horizonte und der bodengenetischen Einheit nicht berücksichtigt. Unter dem Kolluvium folgt ein fossiler Tonanreicherungshorizont (II fKt) in einer Lehmfließerde (Mittellage) und ein Residualton mit Tonbelägen (III Tv-fKt und III fKt-Tv). Inwieweit dieser insgesamt als Fließerde umgelagert wurde, lässt sich im Bohrstock nicht eindeutig beurteilen.

Für die durch menschliche Einflüsse ausgelöste Verlagerung des Kolluvialmaterials spricht ein Holzkohlefund in 43 cm u. MOF, für den ein ^{14}C-Alter von 3.880 Jahren gemessen wurde (cal BC 2.454–2.300, bei 95% Wahrscheinlichkeit). Die im Vergleich zu den pleistozänen Lösslehmen etwas geringeren Tongehaltsunterschiede und die gräulicher erscheinende Bodenfarbe sind weitere, zugegeben schwache Argumente für die kolluviale Geogenese, die auch durch die Bodenanalytik wenig unterstützt werden.

Da eine frühere Ackernutzung im Kuppinger Wald nicht bekannt ist, stellt sich die Frage nach den Ursachen einer möglichen Bodenverlagerung. Vermutlich hatte die frühere Übernutzung des Waldes, sowohl was den Holzeinschlag als auch die Waldweide und Streunutzung angeht, nicht nur eine Schädigung des Waldes, sondern auch des Bodens durch Erosion zur Folge.

Aufgrund der deutlichen Bodenentwicklung im Kolluvium von P4 kann man davon ausgehen, dass eine den Bodenabtrag auslösende Nutzung schon länger zurückliegen dürfte, was das ^{14}C-Alter der Holzkohle bestätigt. Interessanterweise zeigt das aus dem digitalen Geländemodell abgeleitete Schummerungsbild nord-östlich von P4 einzelne lineare Strukturen, die über das Wegenetz hinwegziehen und aufgrund ihrer Ausdehnung und Anordnung als Begrenzung ehemaliger Ackerschläge interpretiert werden könnten (Abb. 15).

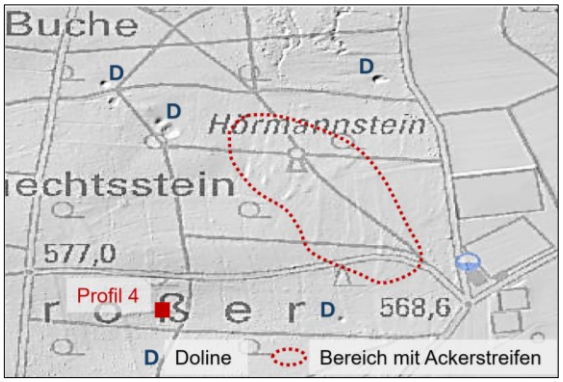


Abb. 15: Vermutete Ackerstreifen und Dolinen im Kuppinger Wald; Grundlage: Geobasisdaten des Landesamts für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg

Die linearen Strukturen erweisen sich im Gelände als schmale, rund einen halben Meter hohe Aufschüttungen aus einem Gemisch aus Oberbodenmaterial und Muschelkalkschutt. Dazwischen treten Rendzinen mit reliktischem Pflughorizont auf, was die Annahme einer früheren Ackernutzung unterstützt. Mit Vorsicht lassen sich die Strukturen als Lesesteinriegel entlang der ehemaligen Ackerbegrenzungen interpretieren, was allerdings durch detailliertere Untersuchungen noch bestätigt werden muss.

Aufgrund vergleichbarer Bodenentwicklung und dem lössreichen Substrat bewegen sich die meisten Bodeneigenschaften von P4 in einem ähnlichen Rahmen wie bei P3. Dies betrifft sowohl die Wasserspeichervermögen als auch die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) und die Basensättigung. Letztere erreicht in den sehr sauren El-Horizonten beider Profile ihre geringsten Werte von 14% bzw. 9% und steigt in den Kt-Horizonten darunter rasch an. Der tonige Unterboden macht sich bei P4 mit einer KAK_{eff} von 200 $mmol_c\ kg^{-1}$ bemerkbar. Trotz der im Vergleich zu P3 höheren Tongehalte sorgt das tiefreichende, stabile Polyedergefüge für gute Wasserdurchlässigkeit, weshalb Staunässe keine Rolle spielt.

Tab. 25: Standortbeschreibung

Bodenausgangs-gesteinsfolge:	Kolluvium über Lehmfließerde (Mittellage) auf Tonfließerde (Basislage)
Relief:	schwach geneigte, nach Osten exponierte Mulde
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche, Fichte
Höhenlage:	569 m ü. NHN
N[1]:	859 mm
JMT[1]:	8,6 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

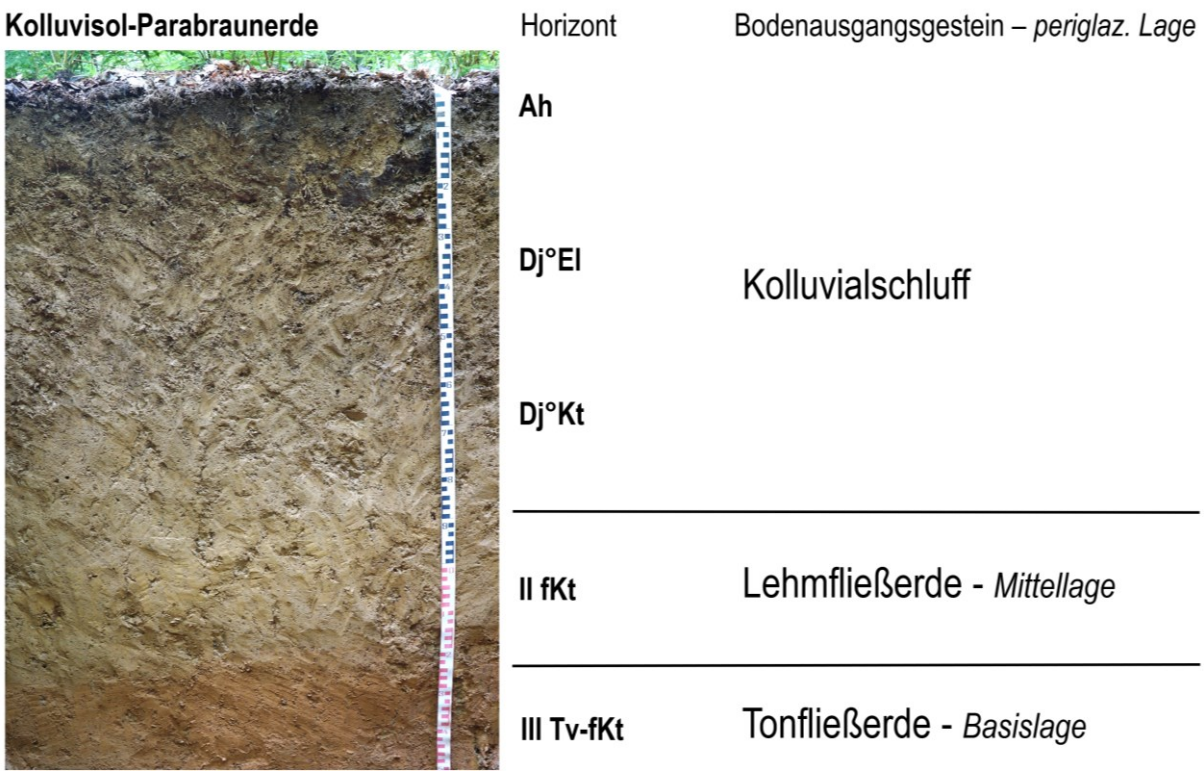


Abb. 16: Ansicht des Bodenprofils P4 mit Horizontabfolge, Bodenausgangsgesteinen und periglaziären Lagen (Foto: W. Fleck)

Tab. 26: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Hori-zont	Bo-den-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wur-zeln[fein]	Hu-mus[Stufe]	Carbo-nat	Ausg.-gestein	Perigl. Lage
KOLLUVISOL-PARABRAUNERDE AUS KOLLUVIUM ÜBER SCHLUFFFLIESSERDE AUF TONFLIESSERDE										
0 – 8	Ah	Ut4	0	10YR 3/4	kru+sub	Wf5	h4	c0	uk.U-qh	-
– 47	Dj°El	Ut4	0	10YR 4/4	sub+koh	Wf3-4	h2	c0	uk.U-qh	-
– 88	Dj°Kt	Tu4	0	10YR 4/3	pol	Wf3	h1	c0	uk.U-qh	-
– 123	II fKt	Tu3	0	10YR 4/6	pol	Wf2	h1	c0	pf-qW	LM
– 170	III Tv-fKt	Tu2	0	5YR 4/8	pol	Wf1-2	h1	c0	pf.T	LB
– 250	*III fKt-Tv*	*Tu2*	*0*	*7.5YR 4/6*	-	-	-	*c0*	*cr*	*?*
–290+	*III fTv[1)]*	*Tt*	*3*	*7.5YR 4/6*	-	-	-	*c0*	*cr*	*?*

Deutsche Klassifikation: Kolluvisol-Parabraunerde

[1)] kursiv: Schätzung im Bohrstock

WRB: Haplic Luvisol (Episiltic, Amphiloamic, Bathyclayic, Cutanic, Epic, Ochric, Anosolimovic)

Humusform: F-Mull (MF)

Tab. 27: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Korngrößenverteilung

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 8	Ah	0,3	0,4	2,5	37,6	30,9	9,6	18,7	78,1	3,2	Ut4
– 47	Dj°El	0,4	0,3	1,5	37,2	32,0	9,5	19,1	78,7	2,2	Ut4
– 88	Dj°Kt	0,1	0,2	0,9	30,8	27,8	8,2	32,0	66,8	1,2	Tu4
– 123	II fKt	0,3	0,4	1,1	24,8	23,5	8,8	41,1	57,1	1,8	Tu3
– 170	III Tv-fKt	0,5	1,1	3,6	16,9	16,8	8,1	53,0	41,8	5,2	Tu2

Tab. 28: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]		[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
0 – 8	Ah	0,75	71,7	25,4	46,3	36,4	9,9
– 47	Dj°El	1,26	52,3	15,9	36,4	23,3	13,1
– 88	Dj°Kt	1,51	42,9	3,4	39,5	14,0	25,5
– 123	II fKt	1,62	38,8	2,7	36,1	3,6	32,5
– 170	III Tv-fKt	1,52	42,7	1,8	40,9	4,5	36,4

Tab. 29: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	pH	pH	Carbonat	C_{org}	N_t	C/N	Humus	P (CAL)	K (CAL)
[cm]		[H_2O]	[$CaCl_2$]	[%]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[%]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0 – 8	Ah	4,4	3,9	0	43,7	3,0	17,5	8,7	13	75
– 47	Dj°El	4,0	3,5	0	7,1	<0,5	-	1,4	4	8
– 88	Dj°Kt	4,8	4,2	0	2,8	<0,5	-	0,6	13	25
– 123	II fKt	4,9	4,5	0	3,2	<0,5	-	0,6	1	25
– 170	III Tv-fKt	5,0	4,6	0	2,6	<0,5	-	0,5	0,4	21

Tab. 30: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol z^{-1} kg^{-1}]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 8	Ah	85,7	63	<0,17	2,1	41,9	9,7	<0,02	19,7	11,4	0,9
– 47	Dj°El	45,7	9	<0,17	0,4	2,4	1,3	<0,02	39,4	1,4	0,8
– 88	Dj°Kt	110,1	93	<0,17	1,9	60,3	40,2	<0,02	6,7	0,5	0,4
– 123	II fKt	190,6	97	<0,17	2,3	119,7	62,4	<0,02	5,6	0,3	0,4
– 170	III Tv-fKt	205,9	98	<0,17	3,4	134,0	64,9	<0,02	3,39	0,3	<0,25

Tab. 31: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe	Horizont	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d
[cm]		[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	
0 – 8	Ah	3,4	7,9	1,3	0,84	0,43
– 47	Dj°El	3,1	8,1	1,6	0,69	0,38
– 88	Dj°Kt	2,2	12,4	1,6	0,68	0,18
– 123	II fKt	1,9	18,5	1,7	0,66	0,10
– 170	III Tv-fKt	1,8	32,3	1,4	1,1	0,06

Tab. 32: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe [cm]	Horizont	Pb [mg kg^{-1}]	Cd [mg kg^{-1}]	Cr [mg kg^{-1}]	Cu [mg kg^{-1}]	Ni [mg kg^{-1}]	Hg [mg kg^{-1}]	Zn [mg kg^{-1}]	Tl [mg kg^{-1}]	As [mg kg^{-1}]	U [mg kg^{-1}]	Se [mg kg^{-1}]
0 – 8	Ah	32	0,17	26	10	21	0,10	45	0,23	8	0,92	0,23
– 47	Dj°El	19	0,08	32	11	26	0,03	45	0,27	7	1,10	0,29
– 88	Dj°Kt	19	0,14	54	21	49	0,02	66	0,33	13	1,11	0,28
– 123	II fKt	28	0,19	72	31	67	0,03	102	0,57	18	1,00	0,17
– 170	III Tv-fKt	40	0,26	77	45	76	0,06	120	0,70	22	0,93	0,19

3.2.5 Profil 5 (P5)

Das Bodenprofil liegt im Wald bei der Ortschaft Nebringen, einem Ortsteil von Gäufelden, rund 6 km südöstlich des Kuppinger Waldes. Der Standort befindet sich auf der Ostabdachung der Gäuflächen in 480 m ü. NHN und damit rund 80–90 m tiefer als die weiter nordwestlich gelegenen Profile 1–4. Zum Ammertal fällt das Gelände um weitere 90 m sanft ab. In dieser Leesituation finden die Lössdecken weite Verbreitung und sind relativ mächtig. Unter dem rezenten Boden sind häufig fossile Böden in älteren Lössen auf Unterkeuper vorhanden.

Das Exkursionsprofil wurde schon vor Jahrzehnten von Prof. Bibus und seinem Team von der Universität Tübingen für Lehrzwecke angelegt und wird bis heute bei studentischen Exkursionen besucht. Das Profil fand zusammen mit benachbarten Profilen Eingang in eine Veröffentlichung zur Relief- und Bodenentwicklung in der Umgebung von Tübingen (Bibus 1985).

Die Normparabraunerde mit wenig verkürztem El-Horizont über einem Kt-Horizont geht bei rund 7 dm u. MOF in einen elCc-Horizont mit Lösskindeln über. Die Tongehalte des unverwitterten Lösses sind mit 28% recht hoch und sprechen für eine deutliche Beteiligung von Lokallöss. Die fossilen braunen Bodenhorizonte ab 9–10 dm u. MOF wurden aufgrund der abnehmenden Tonbeläge und der geringen Aufkalkung aus dem kalkhaltigen Löss als II fKt-Bvc und darunter als II fBv-Ktc eingestuft (Abb. 18). Mächtigkeit, Farbe und Tongehalt sprechen für eine Bodenbildung des letzten Interglazials (Eem-Boden). Aufgrund des überwiegend kohärenten Gefüges mit nur einzelnen, vom rezenten Kt-Horizont durchgreifenden Tonbelägen wird vermutet, dass es sich um verlagertes Material des fossilen Kt-Horizonts handelt. Unter dem II fBv-Ktc konnte ab 22 dm u. MOF ein kalkfreier, humoser und schluffreicher Horizont erbohrt werden, der als fossiler Ah-Bv eingestuft wurde und ab 28 dm u. MOF von einem weiteren kalkfreien, schluffig-tonigen Horizont unterlagert wird (> 35 dm u. MOF).

Die Parabraunerden aus Löss werden im Gäu fast ausschließlich landwirtschaftlich, meist als Acker, genutzt. Insofern ist die unter Wald nahezu vollständig erhaltene Parabraunerde eine Besonderheit. Der Wald war wahrscheinlich nie länger gerodet. Die geringe Profilverkürzung von geschätzt 1–2 dm könnte allerdings mit einer kurzen Rodungsphase im Zusammenhang stehen und die tiefreichende Humusanreicherung im Ah-El als reliktischer Pflughorizont interpretiert werden. Die in Abb. 17 dargestellte, etwa 1 m hohe Waldrandstufe ist im Gelände deutlich zu erkennen. Auf dem östlich anschließenden Acker sind die Böden bis auf den kalkhaltigen Unterboden abgetragen (Pararendzina und sekundär aufgekalkte fossile Parabraunerde).

Die Parabraunerden sind auf kalkhaltigem Löss häufig mit Tschernosem-Parabraunerden vergesellschaftet, die einen humosen Tonanreicherungshorizont (Ah-Kt) besitzen und aus ehemaligen Tschernosemen hervorgegangen sind.

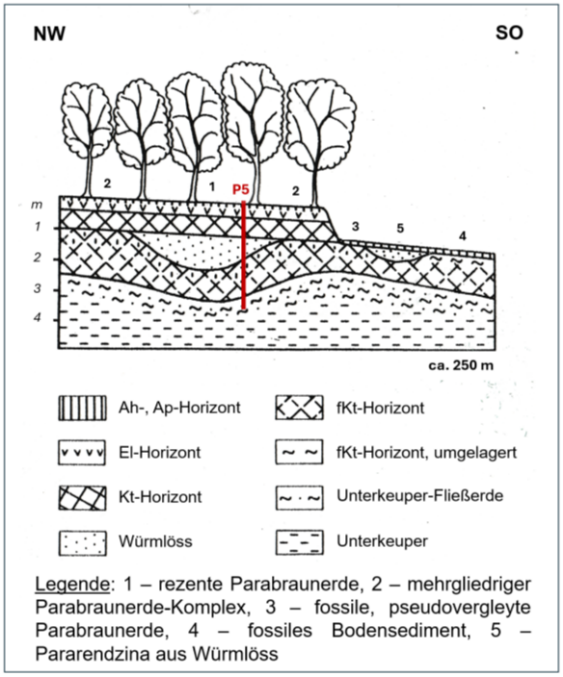


Abb. 17: Bodencatena im Nebringer Wald auf Löss über Unterkeuper mit Lage von P5; nach Bibus (1985), ergänzt

Die sehr gute Bodenqualität mit hohem landwirtschaftlichen Ertragspotenzial ist mit der günstigen Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit der Lössböden zu erklären. Die nutzbare Feldkapazität ist hoch bis sehr hoch und auch die Sorptionskapazität bewegt sich im oberen Bereich. Die Böden erfüllen die Ausgleichsfunktion im Wasserkreislauf sowie die Filter- und Pufferfunktion gut bis sehr gut. Unter Acker kann sich die erhöhte Erodierbarkeit jedoch negativ auswirken und verlangt Maßnahmen zum Erosionsschutz.

Tab. 33: Standortbeschreibung

Bodenausgangs-gesteinsfolge:	Würm- über Rißlöss
Relief:	mittel geneigter, nach Nordosten exponierter Hang
Landnutzung:	Forst
Vegetation:	Buche, Fichte
Höhenlage:	480 m ü. NHN
N[1]:	764 mm
JMT[1]:	9,3 °C

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

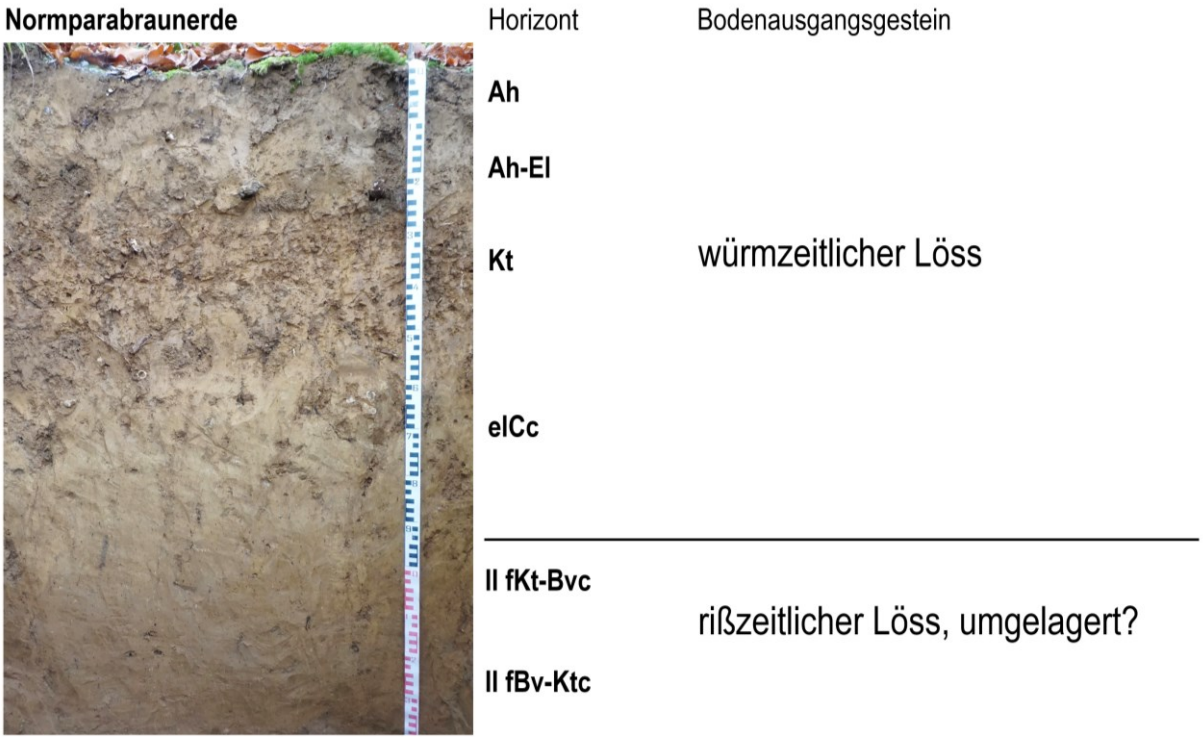


Abb. 18: Ansicht des Bodenprofils P5 mit Horizontabfolge und Bodenausgangsgesteinen (Foto: W. Fleck)

Tab. 34: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe [cm]	Horizont	Bo-den-art	Skelett [Stufe]	Farbe	Gefüge	Wurzeln [fein]	Humus [Stufe]	Carbonat [Stufe]	Ausgangs-gestein
NORMPARABRAUNERDE AUS WÜRM- ÜBER RISSLÖSS									
0 – 4	Ah	Ut4	0	7.5YR 4/4	kru+sub	Wf4	h4	c0	ao-qW
– 32	Ah-El	Ut4	0	7.5YR 5/4	sub	Wf3-4	h3	c0	ao-qW
– 68	Kt	Tu3	0	7.5YR 5/6	pol	Wf3	h1	c0	ao-qW
– 95	elCc	Tu4	2	10YR 5/8	koh+pol	Wf2	h1	c3.4	ao-qW ao-qR
– 115	II fKt-Bvc	Tu3	1	10YR 5/6	koh	Wf2	h1	c1	ao-qR
– 220	II fBv-Ktc	Tu3	1	7.5YR 5/6	koh+pol	Wf1-2	h1	c0	*ao-qR*
–282[1)]	*III fAh-Bv?*	*Ut2*	-	*10YR 5/4*	-	-	*h2*	*c0*	-
>350	*III fKt?*	*Tu4*	-	*7.5YR 5/6*	-	-	*ho*	*c0*	

Deutsche Klassifikation: Normparabraunerde
[1)] *kursiv: Schätzung im Bohrstock*
WRB: Haplic Luvisol (Episiltic, Amphiclayic, Endoloamic, Endoprotocalcic, Cutanic, Epic, Humic, Endoraptic)
Humusform: F-Mull (MF)

Tab. 35: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Korngrößenverteilung

Tiefe	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0 – 4	Ah	0,6	0,6	4,8	36,3	26,5	8,1	23,1	70,9	6,0	Ut4
– 32	Ah-El	0,6	0,4	1,8	38,0	27,5	8,5	23,2	74,0	2,8	Ut4
– 68	Kt	0,1	0,2	1,1	27,9	22,1	6,5	42,1	56,5	1,4	Tu3
– 95	elCc	1,0	0,6	1,1	33,4	28,5	7,9	27,5	69,8	2,7	Tu4
– 115	II fKtvc	0,6	0,5	1,5	28,9	25,7	8,5	34,4	63,1	2,6	Tu3
– 220	II fBv-Ktc	1,0	0,8	2,0	27,5	24,7	8,5	35,5	60,7	3,8	Tu3

Tab. 36: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]		[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
0 – 4	Ah	0,95	64,3	20,0	44,3	32,0	12,3
– 32	Ah-El	1,20	54,9	18,7	36,1	20,9	15,2
– 68	Kt	1,44	45,6	4,2	41,5	9,0	32,5
– 95	elCc	1,55	41,5	2,3	39,2	20,0	19,2
– 115	II fKtvc	-	-	-	-	-	-
– 220	II fBv-Ktc	1,66	37,5	1,4	36,1	10,4	25,7

Tab. 37: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	Horizont	pH	pH	Carbonat	C_{org}	N_t	C/N	Humus	P (CAL)	K (CAL)
[cm]		[H_2O]	[$CaCl_2$]	[%]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[%]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0 – 4	Ah	4,1	3,7	0	33,0	1,9	17,4	6,6	74	125
– 32	Ah-El	4,3	3,9	0	11,5	0,7	16,4	2,3	13	50
– 68	Kt	4,9	4,6	0	4,0	< 0,5	-	0,8	9	66
– 95	elCc	7,7	7,3	9,3	3,4	< 0,5	-	0,7	4	42
– 115	II fKtvc	7,5	7,2	0,4	3,7	< 0,5	-	0,7	4	42
– 172+	II fBv-Ktc	7,3	7,2	0	4,1	< 0,5		0,8	4	42

Tab. 38: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	Horizont	KAK_{eff}	BS	eff. austauschbare Kationen [mmol z^{-1} kg^{-1}]							
[cm]		[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0 – 4	Ah	110,6	55	<0,17	2,9	49,4	8,4	<0,02	43,5	4,3	2,0
– 32	Ah-El	81,4	64	<0,17	1,2	41,8	8,9	<0,02	26,5	2,1	1,0
– 68	Kt	186,2	100	<0,17	2,6	146,2	36,5	<0,02	<0,01	0,6	0,4

Tab. 39: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe	Horizont	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d
[cm]		[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	
0 – 4	Ah	3,8	9,2	1,6	0,79	0,41
– 32	Ah-El	3,6	7,8	1,4	0,61	0,46
– 68	Kt	2,3	13,5	1,7	0,5	0,17
– 95	elCc	0,81	9,3	1,1	0,48	0,09
– 115	II fKtvc	1,5	13,5	1,5	0,46	0,11
– 172+	II fBv-Ktc	2,3	13,6	1,5	0,69	0,17

Tab. 40: Bodenchemische Eigenschaften IV

Tiefe [cm]	Horizont	Pb [mg kg^{-1}]	Cd [mg kg^{-1}]	Cr [mg kg^{-1}]	Cu [mg kg^{-1}]	Ni [mg kg^{-1}]	Hg [mg kg^{-1}]	Zn [mg kg^{-1}]	Tl [mg kg^{-1}]	As [mg kg^{-1}]	U [mg kg^{-1}]	Se [mg kg^{-1}]
0 – 4	Ah	25	0,10	37	14	30	0,10	43	0,20	10	0,87	0,23
– 32	Ah-El	23	0,11	38	14	39	0,05	41	0,28	10	1,07	0,23
– 68	Kt	20	0,12	69	28	68	0,02	67	0,45	16	1,11	0,26
– 95	elCc	17	0,11	47	18	46	0,03	48	0,31	12	0,95	0,19
– 115	II fKtvc	19	0,10	53	19	47	0,03	53	0,41	13	0,84	0,17
– 172+	II fBv-Ktc	21	0,14	53	23	54	0,04	55	0,45	15	0,85	0,17

4 Schlussbetrachtung

In den bewaldeten Randhöhen des Oberen Gäus westlich von Herrenberg sind flach- bis mittelgründige, zweischichtige Terrae fuscae, Braunerden und deren Übergänge weit verbreitet. Flachgründige Rendzinen sind weitgehend auf (ehemals) landwirtschaftlich genutzte Flächen beschränkt. In flachen Muldentälern kommen Terra fusca-Parabraunerden und Parabraunerden aus mehrgliedrigen Lösslehmen, lösslehmreichen Fließerden und Residualtonen vor. Mächtige Muldenfüllungen sind an Bereiche mit verkarstetem Untergrund im Oberen Muschelkalk gebunden, wie im Steinbruch in Sulz a. E. gezeigt werden kann.

Ältere Kolluviallehme mit voll entwickelten Parabraunerden lassen in Teilen des Kuppinger Waldes frühe landwirtschaftliche Nutzung vermuten.

Auf der Ostabdachung der Gäuplatten setzen auf Unterkeuper verstärkt Lössdecken mit Parabraunerden ein, die unter Acker durch Erosion verkürzt und teilweise bis auf den kalkhaltigen Löss abgetragen sind.

5 Methoden

Die Bodenansprache wurde gemäß IUSS (2022) und AG Boden (2024) durchgeführt.

Bodenphysikalische Methoden

Die Korngrößenbestimmung erfolgte gemäß der kombinierten Sieb- und Pipettmethode nach Köhn (ISO 11277), die Trockenrohdichte (TRD, g cm^{-3}) wurde durch Trocknen von ungestörten Stechzylinderproben nach (DIN 19683-12) bestimmt. Die Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen wurden bis pF 2,8 durch Druckentwässerung von Stechzylinderproben (100 cm^3) und für pF 4,2 an gestörten Teilproben bestimmt (DIN 19683-5, modifiziert).

Bodenchemische Methoden

Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtkohlenstoff (C_t) und Gesamtstickstoff (N_t) wurden durch Verbrennung im Elementaranalysator bestimmt, die Berechnung des Karbonatgehalts erfolgte durch Abzug des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) vom Gesamtkohlenstoff (C_t).

Pflanzenverfügbares Phosphat (P_2O_5) und Kalium (K_2O) wurden im Calciumlactat-Auszug, pflanzenverfügbares Magnesium (Mg) im Calciumchlorid-Auszug analysiert (VDLUFA 1991). Die Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) erfolgte nach Extraktion mit NH_4Cl im Schüttelverfahren beim pH des Bodens. Pedogene Fe-, Al- und Mn-Oxide wurden durch Oxalat- bzw. Dithionit-Extraktionen in Anlehnung an Schwertmann (1964) bzw. Mehra & Jackson (1960) bestimmt. Die Schwermetalle wurden in Königswasser extrahiert (DIN 38414) und mittels ICP-MS gemessen. Die pH-Messungen in $CaCl_2$ und H_2O erfolgten durch elektrometrische Messung (DIN ISO 10930).

Danksagung

Die Vorbereitung und Durchführung der Exkursion wurde vom Amt für Forsten im Landratsamt Böblingen, von Revierleiter Winfried Seitz sowie der Stadt Herrenberg als Waldbesitzer unterstützt. Die MitarbeiterInnen im Labor des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Regierungspräsidium Freiburg haben die aufwändigen Bodenanalysen durchgeführt. Herr Michael Schmelzle, Geschäftsführer im Schotterwerk Georg Mast, machte die Besichtigung des Steinbruchs in Wildberg-Sulz a. E. möglich. Einar Eberhardt von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat die Exkursionsprofile nach der internationalen WRB-Klassifikation eingestuft. Darüber hinaus war Philipp Haas vom LGRB stets eine große Hilfe bei der Anlage und Beprobung der Exkursionsprofile. Allen Beteiligten ein herzliches Dankeschön!

Literatur

AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., 438 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover.

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung, 6. Aufl., 552 S., 73 Abb., 160 Tab.; Hannover.

Bibus, E. (1985): Zur jungen Relief- und Bodenentwicklung in der Umgebung von Tübingen. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues 56: 109–124.

Bögli, A. (1964): Mischungskorrosion – Ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. Erdkunde 18 (2): 83–92.

Dinkelaker, H.-J. (2011): Der Kuppinger Gemeindewald – In: Kuppingen 961–2011, S. 343–367; Herrenberger Historische Schriften, Band 9; DRW-Verlag.

DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2 m) für Deutschland 1991–2020, Version v1.0.

Harreß, H.M. (1973): Hydrogeologische Untersuchungen im Oberen Gäu. Dissertation Universität Tübingen.

Hartmann A., Goldscheider, N., Wagener, T., Lange, J., Weiler, M. (2014): Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approach. Reviews of Geophysics 52: 218–242.

IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. Wien, Österreich.

Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19.

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2011): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit – Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren. – Bodenschutz 23, Karlsruhe.

Mehra, O. P., Jackson, M. L. (1960): Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Minerals 7: 317–327.

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2006): Karte der mineralischen Rohstoffe von Baden-Württemberg 1 : 50 000. – Erläuterungen zu den Blättern L 7516 Freudenstadt und L 7518 Rottenburg a. N.- 1. Aufl., 260 S., 33 Abb., Freiburg i. Br.

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2021): LGRB-Kartenviewer, https://maps.lgrb-bw.de/ [abgerufen am 31.12. 2024]

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2024): Bodenkundliche Einheiten. – Bodenkarte 1 : 50 000 (GeoLa), Kartenansicht. https://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_geola_bod [28.10.2024].

Roos, W. (2021): Klimageographie des Herrenberger Gäus. – https://www.academia.edu/60105475/Roos_Klima.

Schmidt, M.(1920): Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., Bl. 7418 Nagold; Stuttgart.

Schwertmann, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Boden-kunde 105: 194–202.

VDLUFA (1991): Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden. – 4. Aufl.; Darmstadt.

Villinger (1982): Grundwasserbilanzen im Karstaquifer des Oberen Muschelkalks im Oberen Gäu (Baden-Württemberg). Geol. Jb., Reihe C, H. 32, Hannover.

E13: Böden der Schwäbischen Alb im Vergleich zu den Böden im Albvorland – Natürliche Ertragsfähigkeit und landwirtschaftliche Nutzung

Sandra Hildbrand[1], Franziska Zeller[1], Kurt Rilling[2], Frank Baumann[2], Rebekka Maier[2] und Bernhard Keil[3]

[1]Oberfinanzdirektion Baden-Württemberg, [2]LGRB im Regierungspräsidium Freiburg, [3]Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main

1 Einleitung

Die Standortbewertung von Böden auf der Schwäbischen Alb sowie im Albvorland durch die Bodenschätzung steht im Fokus der Exkursion. Der Schwerpunkt liegt auf der Bodennutzung von Böden unterschiedlicher Ertragsfähigkeit, insbesondere von Grenzertragsstandorten der Schwäbischen Alb mit vermeintlich schwierig zu bewirtschaftenden und kargen Böden sowie starkem räumlichen Wechsel der Bodeneigenschaften. Die Böden im Albvorland werden den Böden der Schwäbischen Alb gegenübergestellt.

Die Punkt- und Flächendaten der Bodenschätzung stellen für die landwirtschaftlichen Nutzflächen eine großmaßstäbige, bundesweit einheitliche und parzellenscharfe Datengrundlage dar. Die Bodenschätzung dient nach § 1 Bodenschätzungsgesetz (BodSchätzG 2007) nicht nur steuerlichen Zwecken. Sie wird etwa auch für Zwecke des Flächentausches im Rahmen von Flurbereinigungsverfahren herangezogen. In der landwirtschaftlichen Praxis gibt es bereits Betriebe, die die Bodenschätzung für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung nutzen (Precision Farming). Insbesondere die bodenkundlichen Dienste der Länder können die Bodenschätzung aber auch für die Bodenfunktionsbewertung nach dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und zur Ableitung weiterer Kennwerte verwenden.

Die Standortbewertung von Böden ist eine anspruchsvolle interdisziplinäre Aufgabe, die durch einen intensiven Austausch von Bodenkundlern, Praktikern und Bodenschätzern nur gewinnen kann. Dabei kommt der angewandten Feldbodenkunde eine wichtige Rolle zu. Nicht nur zur Beurteilung der Ertragsfähigkeit der Böden im Sinne der Bodenschätzung, sondern auch bei der Bodenfunktionsbewertung spielt die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers im durchwurzelbaren Bodenraum (nutzbare Feldkapazität, nFK) eine wichtige Rolle. Aber auch für ganz praktische Fragen der Bewirtschaftung, etwa Beregnung, ist der Bodenwasserhaushalt und die Durchwurzelbarkeit des Bodens (Packungsdichte) bedeutsam. Dabei darf der Blick für den jeweiligen Boden im Gesamtzusammenhang mit der Landschaftsgeschichte, dem Naturraum und den klimatischen Gegebenheiten nicht aus den Augen verloren werden.

2 Exkursionsgebiet

Die Exkursion (Abb. 1) führt von Tübingen entlang der Steinlach, einem Zufluss des Neckars, hinauf in das Albvorland bei Mössingen. Dort hat man bereits den Steilanstieg der Schwäbischen Alb mit dem Albtrauf direkt vor Augen (Abb. 6).

Bei den Ortschaften Nehren und Ofterdingen werden zwei typische Bodenprofile auf dem Schwarzen Jura (Unterjura) des Mittleren Albvorlands vorgestellt. Nach Osten und Südosten steigt die Landschaft im Braunen Jura (Mitteljura) deutlich an.

Wir queren dieses Gebiet entlang des Wiesaztals zwischen Gomaringen und Gönningen, wo wir den Fuß der Schwäbischen Alb aus Gesteinen des Weißen Juras (Oberjura) erreichen. Dem Verlauf der Wiesaz weiter folgend, gelangen wir hinauf an den Rand der Albhochfläche bei Genkingen.

Ein in der Nähe gelegener Steinbruch gibt Aufschluss über die verschiedenen Gesteinsausbildungen im Oberjura und zeigt Verwitterungs- und Karsterscheinungen. Nach unserer Weiterfahrt über die kuppige, teils bewaldete Hochfläche der Reutlinger Alb erreichen wir 15 km weiter südöstlich die Sammelgemeinde Hohenstein.

Dort werden wir uns, unterbrochen durch eine Mittagspause im Ortsteil Ödenwaldstetten, vier Bodenprofile anschauen. Anhand derer werden die Standortsverhältnisse auf der Schwäbischen Alb erläutert. Die Aussicht von einer der zahlreichen Massenkalk-Kuppen vermittelt einen Eindruck über die vielgestaltige Karstlandschaft der Kuppenalb.

Bei der Rückkehr nach Tübingen führt die Route bei Engstingen die Honauer Steige hinab ins Echaztal. Nachdem wir Reutlingen hinter uns gelassen haben, queren wir die Härten, einen überwiegend ackerbaulich genutzten, von Löss und Lösslehm bedeckten Abschnitt des Albvorlands, um schließlich entlang von bewaldeten Keuperhängen wieder hinunter ins Neckartal zu gelangen.

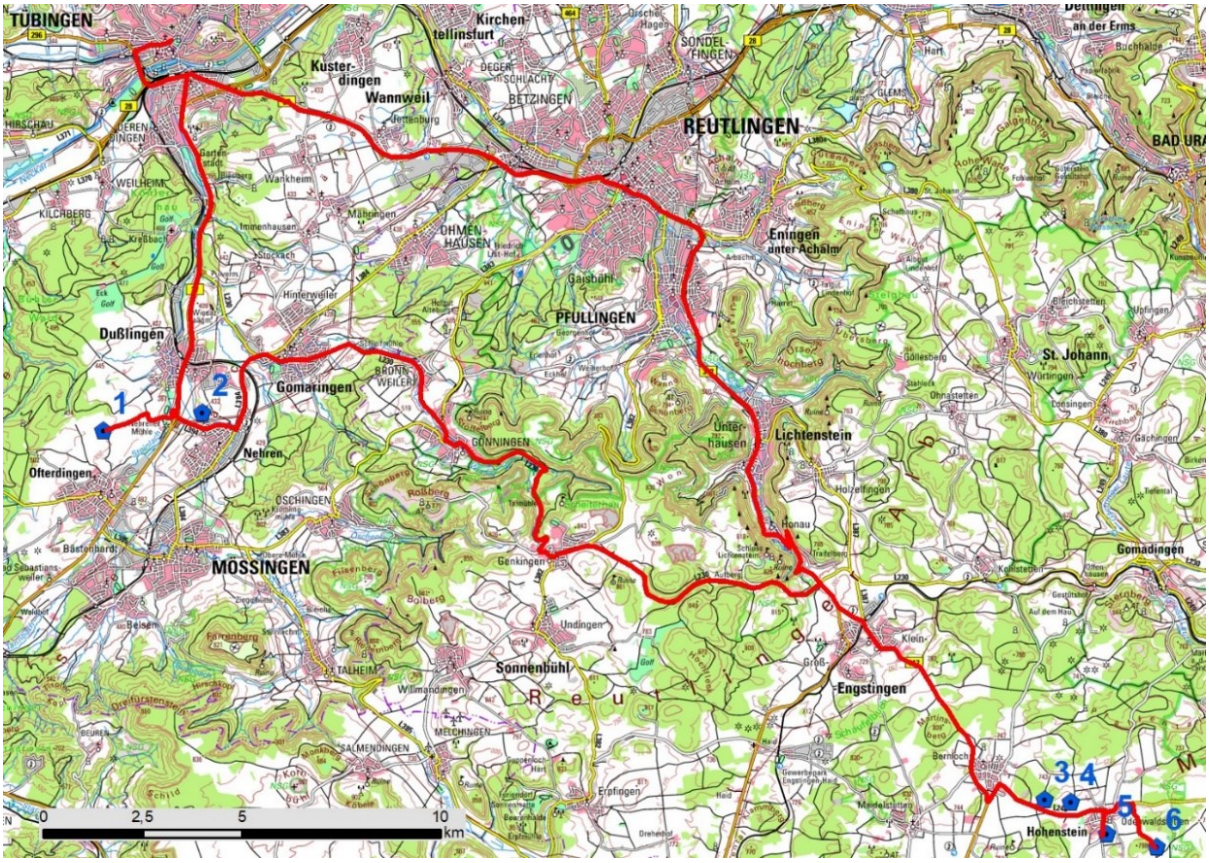


Abb. 1: Exkursionsroute und Lage der Bodenprofile Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19

2.1 Geologie und Geomorphologie

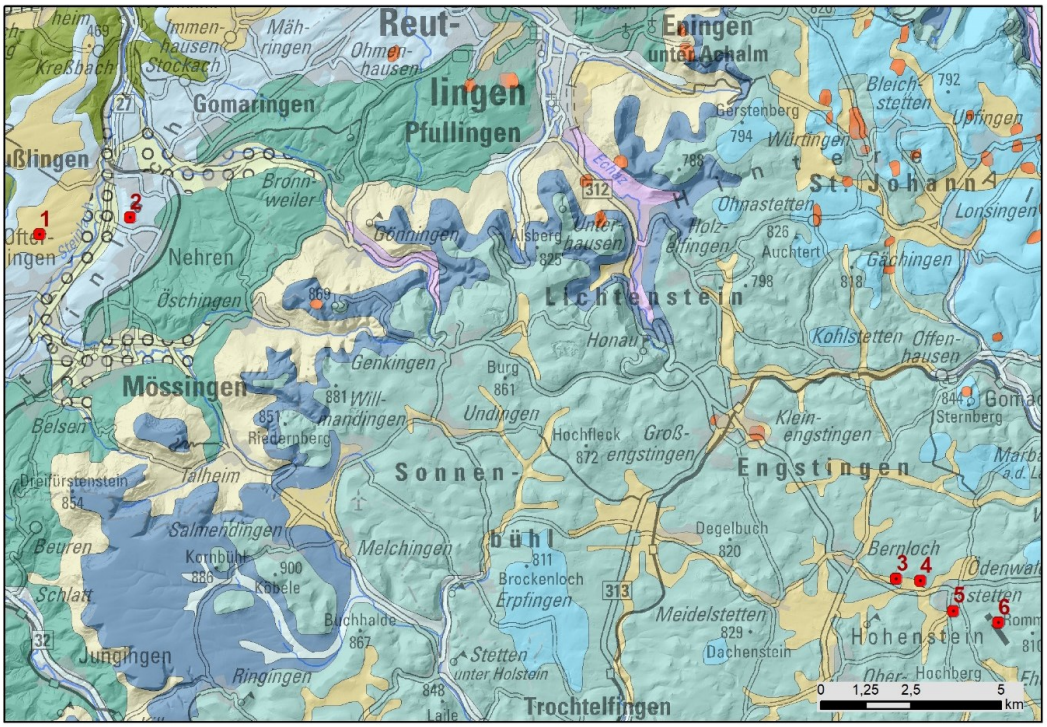
Auf der Exkursionsroute von Tübingen auf die Schwäbische Alb quert man den obersten Abschnitt der aus mesozoischem Sedimentgestein aufgebauten Südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft.

Während zur Keuperzeit noch überwiegend festländische Ablagerungsbedingungen herrschten, war Südwestdeutschland während des gesamten Juras (ca. 200–145 Mio. J. vor heute) vom Meer bedeckt. Belegt wird dies nicht zuletzt durch den Fossilreichtum der Gesteine, für den der Schwäbische Jura bekannt ist. Eine Untergliederung erfolgt entsprechend der vorherrschenden Gesteinsfarbe in Schwarz-, Braun- und Weißjura bzw. Unter-, Mittel- und Oberjura. Unter- und Mitteljura bilden das Albvorland, während die hellen Karbonatgesteine des Oberjuras die Schwäbische Alb aufbauen (Abb. 2 und 3).

Infolge der Heraushebung und Kippung des Deckgebirges seit dem Tertiär und durch

die Abtragungsleistung des Neckar-Flusssystems, das mit dem Einsinken des Oberrheingrabens sein Einzugsgebiet immer mehr vergrößerte, hat sich besonders während des jüngeren Tertiärs und Pleistozäns die heutige Landschaft herausgebildet. Die Rückverlegung an der Frontstufe der Schwäbischen Alb erfolgte, oft in Abhängigkeit der Schichtlagerung, mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Dem dadurch oft stark zerlappten nördlichen Albrand sind mehrfach mehr oder weniger abgetrennte und isolierte Zeugenberge und Ausliegerberge vorgelagert (Farrenberg, Käpfle, Achalm). Dass die Landschaft auch heute noch nicht zur Ruhe gekommen ist, zeigt sich z. B. immer wieder in Form von Rutschungen an den Stufenhängen. Die Steilhänge am Albtrauf im Raum Mössingen waren davon in den letzten Jahrzehnten mehrfach betroffen.

Westlich von Tübingen liegt zwischen dem aus Ton-, Mergel- und Sandsteinen aufgebauten Keuperbergland von Schönbuch und Rammert eine breite, von Neckar und Ammer durchflossene, sich nach Osten verengende Stufenrandbucht.



Legende

- Hochwassersediment (meist auf Flussschotter; lokal andere Talfüllungen)
- Junger Süßwasserkalk
- Hangschutt (lokal Rutschmassen und andere Umlagerungssedimente)
- Lösssediment (lokal Abschwemmmassen)
- Würm-Schotter
- Basalt und Basalttuff (im weiteren Sinn)
- Oberer Oberjura: Liegende Bankkalk-, Zementmergel- und Hangende Bankkalk-Formation, Oberer Massenkalk
- Mittlerer Oberjura: Lacunosamergel-, Untere und Obere Felsenkalk-Formation, Unterer Massenkalk
- Unterer Oberjura: Impressamergel- und Wohlgeschichtete Kalk-Formation
- Mitteljura, ungegliedert
- Unterjura, ungegliedert
- Mittelkeuper, ungegliedert

Abb. 2: Geologische Übersichtskarte und Lage der Bodenprofile 1–6
Grundlage: Geologische Übersichtskarte 1 : 300 000, GÜK300 (Regierungspräsidium Freiburg 2021), Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19

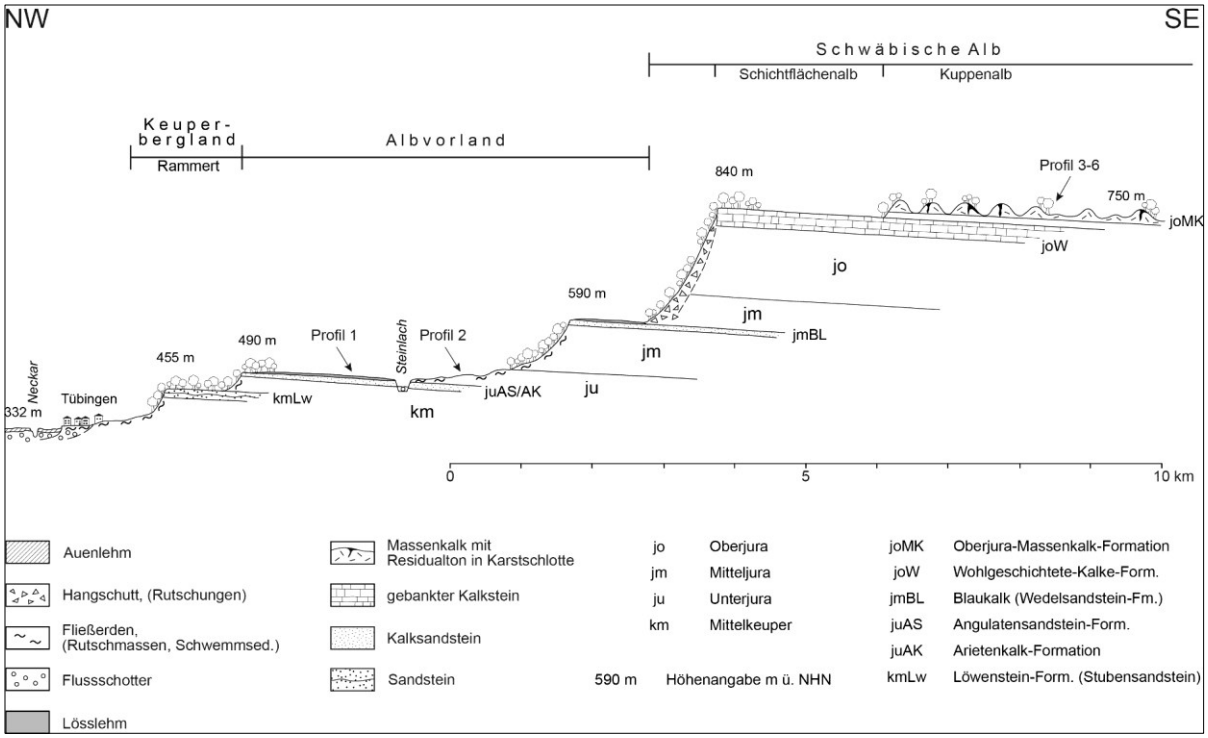


Abb. 3: Schematischer Schnitt durch die Schichtstufenlandschaft südlich von Tübingen mit Lage der Profile 1–6 verändert nach Kösel & Fleck (2017)

Oberhalb der Keuperhänge ist Tübingen im Nordosten, Osten und Süden von Hochflächen umgeben, die aus Unterjura aufgebaut sind und die damit bodengeographisch schon dem Albvorland zugerechnet werden. Stufenbildner sind Sandsteine und Kalksteine der Angulatensandstein- und Arietenkalk-Formation im Unteren Unterjura. Die ausgedehnten Stufenflächen tragen häufig mehr oder weniger mächtige Decken aus Lösslehm. Auf den Härten südöstlich von Tübingen liegen diese Bereiche in Höhen zwischen 380 und 450 m ü. NHN und sind z. T. auch noch von geringmächtigem jungem Würmlöss bedeckt. Weiter südwestlich, im Exkursionsgebiet bei Ofterdingen, liegen die Stufenflächen entsprechend der Schichtlagerung höher (420–550 m ü. NHN) und sind zudem weniger breit ausgebildet. Geringmächtige Lösslehmdecken sind hier nur in den tiefergelegenen Bereichen verbreitet.

In den überwiegend aus Ton- und Mergelstein bestehenden hangenden Schichten des Mittleren Unterjuras sind härtere Karbonatgesteine eingelagert. Dünne Mergelkalk- und Kalksteinbänke der Numismalismergel-Formation verursachen häufig eine deutliche Geländekante im hügeligen Relief. Ein eigenes Verebnungsniveau bilden oft die härteren Bänke des „Ölschiefers“ im Oberen Unterjura (Posidonienschiefer-Formation).

Am Fuß der Alb hat die hier ca. 130 m mächtige monotone Abfolge grauschwarzer Tonsteine der Opalinuston-Formation im Unteren Mitteljura eine relativ breite Ausstrichfläche. Es handelt sich um eine mit Wiesen, Streuobst oder Wald genutzte Hügel- und Hanglandschaft. In den darüber folgenden Ton- und Mergelsteinen des Mitteljuras bilden wiederum zwischengelagerte härtere Gesteinsbänke Stufen und Verebnungen. Betrachtet man das gesamte Albvorland, sind dabei von Südwesten nach Nordosten wechselnde Schichtglieder beteiligt. Im Raum Mössingen/Reutlingen macht sich besonders der Blaukalk als Stufenbildner bemerkbar (Kalksandsteine der Wedelsandstein-Formation, Mittlerer Mitteljura).

Die bereits an den Hängen im oberen Mitteljura einsetzende Überschüttung mit Kalkstein-Hangschutt aus Oberjura-Material markiert die bodengeographische Grenze des Albvorlands und den Beginn der Bodengroßlandschaft Schwäbische Alb.

Der Oberjura der Schwäbischen Alb besteht aus hellgrauen bis weißen

Kalksteinen mit mergeligen Zwischenlagen. Mächtigere Mergelsteine oder Mergelstein-Kalkstein-Wechselfolgen in bestimmten Niveaus trennen den Oberjura in verschiedene Formationen. Verbreitet treten laterale Fazieswechsel zwischen geschichteter Bankkalk- bzw. Mergelfazies und ungeschichteten, aus ehemaligen Schwammriffen entstandenen Massenkalken auf.

Besonders in den Massenkalken des höheren Oberjuras kommen auch dolomitisierte bzw. sekundär zu „zuckerkörnigem Kalkstein“ rekristallisierte Bereiche vor.

Während der Kreide- und Tertiärzeit war die Schwäbische Alb, abgesehen vom Übergang zum Molassebecken im Süden, Abtragungsgebiet. Zu den Ablagerungen dieser Zeit zählen Spaltenfüllungen in Form von Rotlehmen, Bohnerztonen und Quarzsanden. Im Jungtertiär auflebende vulkanische Tätigkeit führte zu rd. 300 Ausbruchsröhren im Albvorland und auf der Schwäbischen Alb. Das Urach-Kirchheimer Vulkangebiet grenzt nordöstlich an das Exkursionsgebiet. Auf der wasserarmen Albhochfläche wurden die Siedlungen bevorzugt in Hohlformen auf wasserstauenden Vulkaniten angelegt, so etwa die auf der Exkursionsroute gelegene Gemeinde Engstingen. Im Albvorland sind die Vulkanite (Schlotbrekzien) als Berg- und Hügelkuppen herauspräpariert, z. B. der bei der Rückfahrt über Reutlingen zu sehende Georgenberg. Am Albrand zwischen Mössingen und Reutlingen bilden zunächst die Bankkalke der Wohlgeschichtete-Kalke-Formation ein mehr oder weniger breites Verebnungsniveau hinter der Traufkante (Schichtflächenalb), bevor das Gelände zur kuppigen, meist von Massenkalken gebildeten Albhochfläche weiter ansteigt und im Exkursionsgebiet Höhenlagen von meist 750–850 m ü. NHN erreicht. Diese als Kuppenalb bezeichnete Landschaft im Norden der Schwäbischen Alb unterscheidet sich von der südlich der sog. Klifflinie gelegenen Flächenalb. Deren Flachrelief ist hauptsächlich auf die Freilegung einer alttertiären Flachlandschaft nach dem Rückzug des tertiären Molassemeeres zurückzuführen. Im Bereich der heutigen Kuppenalb herrschte dagegen bereits seit längerer Zeit Abtragung und oberflächennahe Verkarstung vor. Im Laufe des Tertiärs und Pleistozäns wurde dort das alte Flachrelief aufgelöst und die harten Schwammriffkalke als Kuppen herauspräpariert, während die dazwischenliegenden Bankkalke und Mergelsteine der Abtragung weniger Widerstand leisteten. Bis ins mittlere Pliozän überwogen oberflächennahe Lösungsprozesse im seichten Karst. In flachen Tälern, die die Vorformen der späteren Trockentäler darstellten, konnte das Wasser nach Süden abfließen. Mit der danach folgenden Eintiefung des Neckar- und Donausystems drang die Verkarstung tiefer in den Untergrund vor. Der Oberflächenabfluss nahm ab und es bildeten sich Trockentäler, Klüfte und Höhlen. Als Folge der starken Abtragung und Stufenrückverlegung am Albtrauf sind die pliozänen Täler am Albtrauf heute „geköpft“ und streichen als wasserlose Talböden an der Traufkante aus.

Anhaltende Hebung und der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten führten im Pleistozän zu weiterer Taleintiefung mit der Folge, dass immer mehr Seitentäler oder auch jungtertiäre Karsthöhlen wie die Bärenhöhle bei Sonnenbühl-Erpfingen trockenfielen. Im Hochglazial wurden die Trockentäler durch den Permafrost abgedichtet, was zu einer fluvialen Reaktivierung und Tieferlegung der Talböden führte.

Periglaziale Abtragungsprozesse hinterließen Fließerden und Hangschuttdecken. Zu den pleistozänen Ablagerungen gehören außerdem Rutschmassen, Schwemmsedimente, geringmächtiger Lösslehm und die Niederterrassen der Albvorlandsflüsse.

Die starke Verkarstung des Kalkgebirges macht die Albhochfläche zu einer gewässerarmen trockenen Landschaft. Das vom Sickerwasser gelöste Karbonat wird z. T. an Quellaustritten und in den Tälern als holozäner Kalksinter (Kalktuff) wieder ausgefällt. Im Wiesaztal bei Gönningen, das bei der Exkursion durchfahren wird, wurde über mehrere Jahrhunderte hinweg umfangreicher Kalktuffabbau betrieben.

2.2 Ausgangsgesteine und Böden

Für das Albvorland ist die große Verbreitung von tonig-mergeligen Gesteinen typisch. Als ursprünglich vorherrschende Böden sind hier Pelosol-Braunerden anzunehmen, wie sie auch heute oft noch in bewaldeten Bereichen im Mitteljura-Gebiet

anzutreffen sind. In ihnen ist in der 3–5 dm mächtigen, äolisch beeinflussten Fließerde im Hangenden (Hauptlage) typischerweise eine Braunerde entwickelt, während in der durch solifluidale Aufarbeitung der Ton- und Mergelsteine entstandenen tonigen Basislage ein durch Quell- und Schrumpfdynamik gebildeter Pelosol-Horizont vorliegt. Infolge der langen Nutzungsgeschichte und der damit verbundenen Überprägung durch die Bodenerosion treten diese zweischichtigen Böden aber besonders im Unterjura-Gebiet nur noch untergeordnet auf. Hier sind deshalb Braunerde-Pelosole mit einem verkürzten Bv-Horizont und Pelosole, bei denen die ursprünglich überlagernde Braunerde komplett abgetragen wurde, einschließlich ihrer mäßig staunassen Varianten, weit verbreitet (siehe Abb. 4).

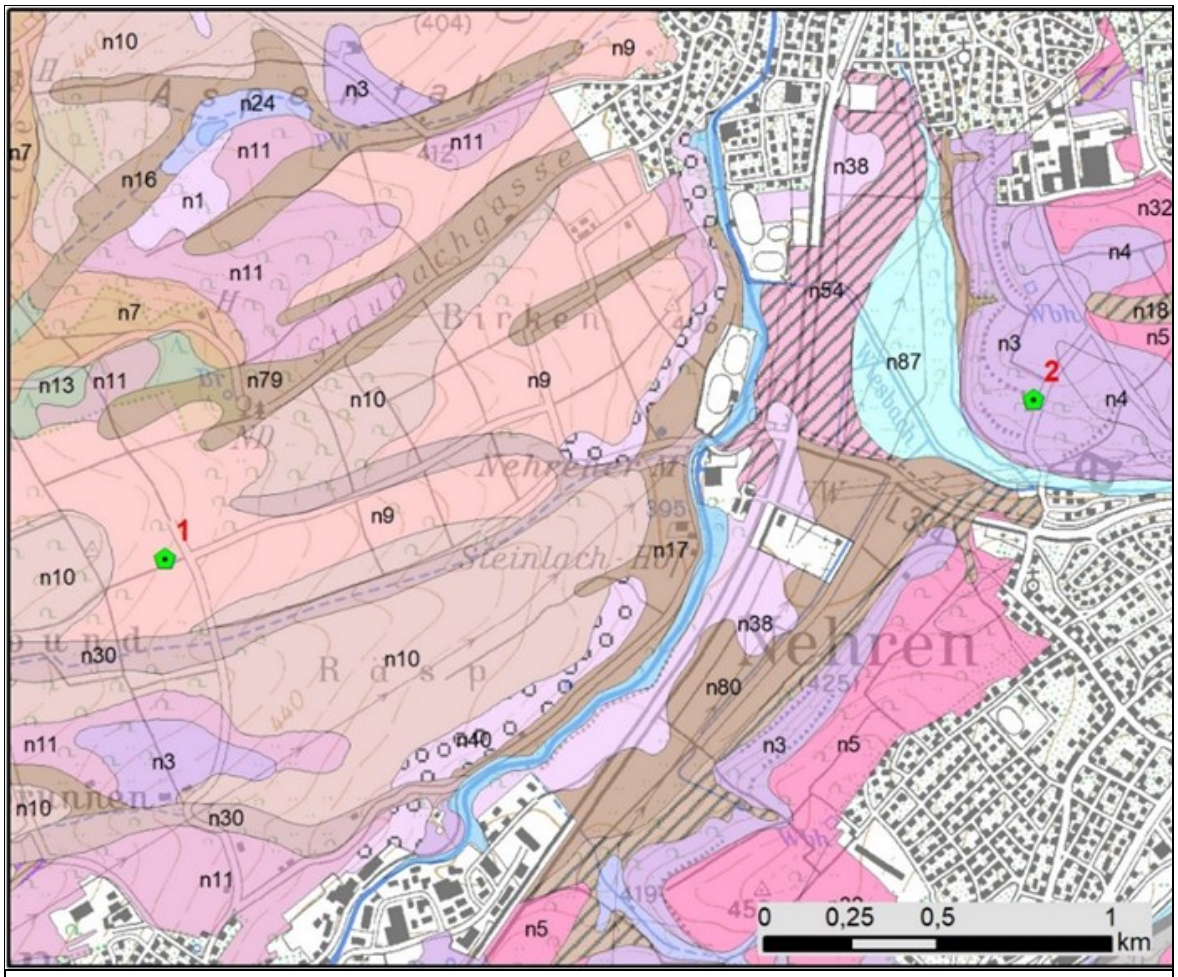
Noch stärkere Abtragung, die häufig an bestimmte Reliefelemente wie z. B. stärker gerundete Scheitelbereiche und konvexe Hangabschnitte gebunden ist, führte über die Beseitigung des Braunerde-Horizonts hinaus, teilweise zum Eingreifen der Bodenerosion bis in den Pelosol-Horizont und tiefer, weshalb in solchen Bereichen Pelosole meist mit Pelosol-Pararendzinen und Pararendzinen vergesellschaftet sind. Vorzugsweise im Ausstrichbereich von Mergelsteinen herrschen mit Pararendzinen und Pelosol-Pararendzinen örtlich nur gering entwickelte Böden vor.

Die Löss-/Lösslehmablagerungen auf den Unterjura-Stufenflächen haben ihr Hauptverbreitungsgebiet besonders auf der Filderebene sowie beiderseits des Neckartals zwischen Tübingen und Plochingen. Im randlich dazu gelegenen Exkursionsgebiet treten noch geringmächtige Lösslehme und lösslehmreiche Fließerden (Haupt- über Mittellage) auf. Verbreitet sind hier Parabraunerden, die oft einen durch die Bodenerosion verkürzten oder fehlenden El-Horizont aufweisen. Besonders der tiefere Unterboden kann Gesteinskomponenten aus dem Unterjura enthalten oder bereits in einer unterlagernden Tonfließerde (Basislage) entwickelt sein, die schlecht wasserdurchlässig ist. Dies führt dazu, dass in abzugsträgen Lagen das Bodenmuster durch Pseudogley-Parabraunerden mit Übergängen bis zum Pseudogley ergänzt wird.

Es gehört zum Klischee der Schwäbischen Alb, die auch als „raue Alb“ bezeichnet wird, dass es sich um eine Hochfläche mit steinigen, kargen und flachgründigen Böden handelt. Ein Eindruck, der sich durch die vielen, von hellen Kalksteinen bedeckten Ackerflächen und trockenen Wacholderheiden zu bestätigen scheint. Die Ursache für das Vorherrschen flachgründiger Böden ist die nur sehr langsam ablaufende Lösungsverwitterung auf Karbonatgestein. Ein zweiter Grund ist in der holozänen, vom Menschen ausgelösten Bodenerosion zu sehen.

Bei genauerem Hinsehen sind die Bodenverhältnisse allerdings deutlich differenzierter, denn nicht selten sind die Böden auch in steinarmen bis steinfreien lehmigen Deckschichten entwickelt. Bei der Kartierung der Böden der Albhochfläche zeigte sich, dass Standorte mit typischen Rendzinen aus Karbonatgestein meist nur in stark durch Bodenerosion beeinflussten Bereichen zu finden sind und sich an anderen Stellen die Böden vielfach in äolisch beeinflussten Deckschichten entwickelt haben (vgl. Pfeffer, 2004). Wo noch ein Rest der Hauptlage vorhanden ist, treten entsprechend Braune Rendzinen, Braunerde-Rendzinen, Rendzina-Braunerden und Braunerden auf (siehe Abb. 5).

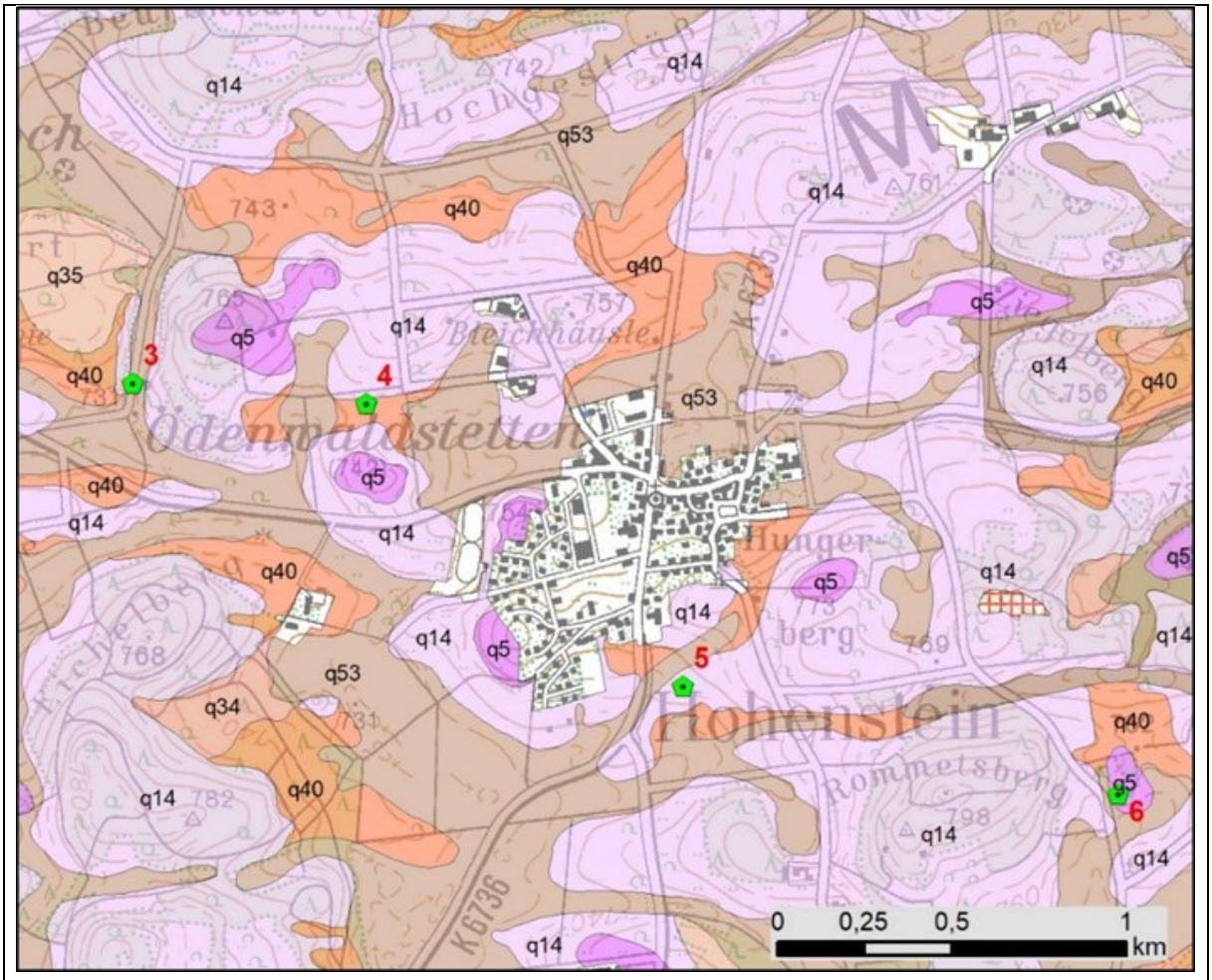
Auch Terrae fuscae mit sehr tonreichen Substraten bis in den Oberboden sind nur an Erosionsstandorten zu finden. In Bereichen, in denen wenig oder keine Erosion stattgefunden hat, finden sich zweischichtige Braunerde-Terrae fuscae und Terra fusca-Braunerden. Der unter der Hauptlage folgende, z. T. mehrere Dezimeter mächtige Rückstandston kann nicht ausschließlich im Holozän entstanden sein. Nach Bilanzierungen von Werner (1958) können sich seit dem Ende der Würmkaltzeit auf anstehendem Kalkstein nur wenige Zentimeter Lösungsrückstand gebildet haben. Entsprechend handelt es sich bei dem Substrat der mittel bis tief entwickelten Terrae fuscae vielmehr um meist periglazial umgelagertes Paläobodenmaterial, das örtlich auch Bohnerze und Rotlehme aus tertiären Spaltenfüllungen enthalten kann (Bleich, 2000). Außerdem weisen Tongehalte von oft weniger als 70% darauf hin, dass dem Rückstandston z. T. äolisches Fremdmaterial beigemengt wurde.



Auswahl der dargestellten Bodeneinheiten:

n1	**Rendzina und Braune Rendzina aus Kalkstein der Arietenkalk-Formation**
n3	Pararendzina und Pelosol-Pararendzina aus tonreicher Unterjura-Fließerde und Mergelsteinzersatz
n4	Pararendzina und Pelosol-Pararendzina aus bituminösem Mergel- und Kalkgestein der Posidonienschiefer-Formation sowie aus tonreichen Fließerden
n5	Pelosol und Braunerde-Pelosol aus tonreicher Unterjura-Fließerde
n32	Pelosol aus tonreicher Fließerde aus Material der Posidonienschiefer-Formation (Ölschiefer) oder aus Ölschieferzersatz
n7	Pelosol-Braunerde, Pseudogley-Braunerde und Braunerde-Pelosol aus geringmächtiger lösslehmreicher Fließerde über tonreicher Unterjura-Fließerde
n9	Parabraunerde aus Lösslehm und lösslehmreichen Fließerden
n10	Pseudogley-Parabraunerde und pseudovergleyte Parabraunerde aus Lösslehm oder lösslehmreichen Fließerden über tonreicher Unterjura-Fließerde
n11	Pelosol-Parabraunerde, Parabraunerde und Pelosol-Braunerde, alle meist pseudovergleyt, sowie Pseudogley-Braunerde aus lösslehmreichen Fließerden über toniger Unterjura-Fließerde
n13	Pseudogley, Pelosol-Braunerde-Pseudogley und Pelosol-Pseudogley aus lösslehmhaltiger Fließerde über toniger Unterjura-Fließerde
n16	Mäßig tiefes und tiefes Kolluvium aus holozänen Abschwemmmassen
n79	Kolluvium über Tschernosem-Parabraunerde aus holozänen Abschwemmmassen über Lösslehm und Löss
n30	Gley-Kolluvium aus holozänen Abschwemmmassen

Abb. 4: Bodengesellschaften im Albvorland bei Ofterdingen und Nehren
Lage der Profile 1 und 2; Grundlage: Bodenkarte 1 : 50 000, BK50 (Regierungspräsidium Freiburg 2015), Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-



Auswahl der dargestellten Bodeneinheiten:

q5	Rendzina aus Kalk- und Dolomitstein des Oberjuras
q14	Braune Rendzina, Rendzina und Braunerde-Rendzina aus geringmächtiger lösslehmhaltiger Fließerde über Karbonatgestein, daneben Terra fusca-Rendzina, Terra fusca und Braunerde-Terra fusca aus geringmächtigem Verwitterungston
q40	Terra fusca, Braunerde-Terra fusca und Terra fusca-Parabraunerde aus Rückstandston der Karbonatgesteinsverwitterung, z. T. von geringmächtiger lösslehmhaltiger Fließerde überlagert
q35	Terra fusca-Parabraunerde, Terra fusca, Terra fusca-Braunerde und Parabraunerde aus lösslehmhaltigen Fließerden über Rückstandston der Karbonatgesteinsverwitterung
q34	Parabraunerde, Terra fusca-Parabraunerde und Parabraunerde-Braunerde aus lösslehmreichen Fließerden
q46	Mäßig tiefes und tiefes Kolluvium aus holozänen Abschwemmmassen
q53	Kolluvium über Terra fusca, Kolluvium über Parabraunerde sowie mittel tiefes bis tiefes, z. T. kalkhaltiges Kolluvium aus holozänen Abschwemmmassen über Fließerden

Abb. 5: Bodengesellschaften auf der Kuppenalb bei Hohenstein-Ödenwaldstetten
Lage der Profile 3 bis 6; Grundlage: Bodenkarte 1 : 50 000, BK50 (Regierungspräsidium Freiburg 2015), Geobasisdaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. www.lgl-bw.de, Az.:2851.9-1/19

In geschützten Lagen, in denen zusätzlich eine lösslehmreiche Mittellage ausgebildet ist, sind mehrschichtige Terra fusca-Parabraunerden und dort, wo das Terra-Material erst im tiefen Unterboden auftritt, auch Parabraunerden verbreitet. Zum Bodeninventar gehören weiterhin die Kolluvisole, die als Akkumulationsprodukte der Bodenerosion die oben genannten Böden am

Hangfuß und in den zahlreichen Karsthohlformen überlagern.

2.3 Klima

Das Albvorland gehört wie die Schwäbische Alb zur kühlgemäßigten Klimazone. Beide unterscheiden sich jedoch deutlich hinsichtlich Temperatur und Niederschlag.

Im Albvorland bewegen sich die mittleren Jahrestemperaturen aktuell zwischen etwa 9 °C und 10 °C. Die Jahresmittel der Niederschläge erreichen 770 bis 900 mm. Die Werte im Bereich der Kuppenalb liegen zwischen 7°C bis 8°C bei der mittleren Jahrestemperatur und bei 900 bis 1100 mm beim mittleren Jahresniederschlag.

Bei der Ermittlung der Wertzahlen werden bei der Bodenschätzung 8°C als durchschnittliche Jahrestemperatur des Zeitraums 1881 bis 1930 und 600 mm als durchschnittlicher Jahresniederschlag des Zeitraums 1891 bis 1930 für Deutschland zugrunde gelegt. Abweichungen werden als Zu- und Abrechnungen bei den Wertzahlen erfasst, weshalb auch entsprechende Klimadaten auf Gemarkungsebene vorliegen.

Aus Sicht der Land- und Forstwirtschaft ist, neben Temperatur und Niederschlag, die relative Luftfeuchtigkeit wichtig. In Verbindung mit der Temperatur bestimmt sie das Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft („Wasserdampfhunger“). Diese Größe hat erheblichen Einfluss auf das Transpirationsgeschehen und damit vielfältige physiologische Prozesse der Pflanze. Das Wasserdampfsättigungsdefizit geht in die klimatische Wasserbilanz ein. Die mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz (KWBa) liefert einerseits Informationen zur Abschätzung der möglichen Grundwasserneubildung. Aus Sicht des Pflanzenbaus ist andererseits die klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperiode (KWBv) bedeutsam. Damit kann abgeschätzt werden, wie stark das jeweilige Bodenprofil bei gegebenem Speichervermögen des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser (nFK) beansprucht wird.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) hat, auf Ebene der Rahmenkarte 1:2000 nach dem Gauß-Krüger-Koordinaten-System, für die beiden internationalen Klimaperioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020 monatliche Klimaparameter für die Bundesrepublik zur Verfügung gestellt. Tabelle 1 stellt für die Exkursionsprofile der Musterstücke, die für die Bodenschätzung maßgebliche mittlere Jahrestemperatur des Zeitraumes 1881 bis 1930 und den mittleren Jahresniederschlag des Zeitraumes 1991 bis 1930 dar. Diesen Daten werden die beiden letzten Internationalen Klimaperioden 1961 bis 1990 bzw. 1991 bis 2020 gegenübergestellt. Die ersten beiden Musterstücke Nr. 1 und 2 liegen im Albvorland, während alle weiteren Profile Nr. 3 bis 6 sich auf der Schwäbischen Alb befinden.

Tab. 1: Klimadaten der Bodenschätzung und der Internationalen Klimaperioden 1961 bis 1990 sowie 1991 bis 2020; mittlere Jahrestemperatur in °C und mittlerer Jahresniederschlag in mm (Quelle: Bundesministerium der Finanzen BMF und Deutscher Wetterdienst DWD)

			BodSchätz	DWD	DWD	BodSchätz	DWD	DWD
			1881 — 1930	1961 — 1990	1991 — 2020	1891 — 1930	1961 — 1990	1991 — 2020
Nr.	MSt-Nr.	Gemarkung	°C	°C	°C	mm	mm	mm
1	2886.07	Ofterdingen	8,0	8,3	9,4	760	773	767
2	2886.51	Nehren	8,0	8,3	9,7	760	776	756
3	2889.01	Bernloch	6,4	6,2	7,7	840	902	907
4	2889.07	Ödenwaldstetten1	6,5	6,2	7,7	800	910	906
5	2889.08	Ödenwaldstetten2	6,5	6,1	7,7	800	904	907
6	2889.06	Eglingen	6,5	6,2	7,6	800	905	904

Klimadaten der Internationalen Klimaperioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020

International Klimaperiode 1961 bis 1990 (DWD)							Temperatur		Niederschlag		KWBv	
			T	N	V	KWBa	Apr–Okt	Mai–Sep	Apr–Okt	Mai–Sep	Apr–Okt	Mai–Sep
Nr.	MSt-Nr.	Gemarkung	°C	mm	mm	mm	°C	°C	mm	mm	mm	mm
1	2886.07	Ofterdingen	8,3	773	659	114	13,1	15,0	532	416	-29	-51
2	2886.51	Nehren	8,3	776	660	117	13,1	15,0	541	423	-21	-45
3	2889.01	Bernloch	6,2	902	630	272	10,8	12,7	580	447	43	0
4	2889.07	Ödenwaldstetten1	6,2	910	630	280	10,8	12,7	591	456	54	9
5	2889.08	Ödenwaldstetten2	6,1	904	627	278	10,7	12,6	588	455	54	10
6	2889.06	Eglingen	6,2	905	624	281	10,8	12,6	588	456	56	14
International Klimaperiode 1991 bis 2020 (DWD)							Temperatur		Niederschlag		KWBv	
			T	N	V	KWBa	Apr–Okt	Mai–Sep	Apr–Okt	Mai–Sep	Apr–Okt	Mai–Sep
Nr.	MSt-Nr.	Gemarkung	°C	mm	mm	mm	°C	°C	mm	mm	mm	mm
1	2886.07	Ofterdingen	9,4	767	670	97	14,2	16,1	534	419	-37	-54
2	2886.51	Nehren	9,7	756	673	83	14,5	16,5	533	420	-41	-57
3	2889.01	Bernloch	7,7	907	637	270	12,5	14,4	583	457	36	4
4	2889.07	Ödenwaldstetten1	7,7	906	636	270	12,5	14,4	581	456	35	3
5	2889.08	Ödenwaldstetten2	7,7	907	632	275	12,4	14,3	589	463	46	13
6	2889.06	Eglingen	7,6	904	630	274	12,3	14,2	589	464	47	15
Differenzwerte der oben genannten Klimaperioden							Temperatur		Niederschlag		KWBv	
			T	N	V	KWBa	Apr–Okt	Mai–Sep	Apr–Okt	Mai–Sep	Apr–Okt	Mai–Sep
Nr.	MSt-Nr.	Gemarkung	°C	mm	mm	mm	°C	°C	mm	mm	mm	mm
1	2886.07	Ofterdingen	1,1	-6	10	-17	1,1	1,1	2	4	-8	-3
2	2886.51	Nehren	1,4	-21	13	-34	1,4	1,5	-7	-3	-19	-11
3	2889.01	Bernloch	1,5	5	7	-2	1,6	1,7	3	11	-7	4
4	2889.07	Ödenwaldstetten1	1,5	-5	5	-10	1,6	1,7	-10	0	-19	-6
5	2889.08	Ödenwaldstetten2	1,6	2	5	-3	**1,7**	**1,7**	1	9	-8	2
6	2889.06	Eglingen	1,4	-1	6	-7	1,5	1,6	1	8	-9	1

T – Temperatur, N – Niederschlag, V - Verdunstung

2.4 Landnutzung

Der Mensch nimmt das Albvorland schon lange intensiv in Anspruch. Entsprechend reicht die Besiedlungs- und Nutzungsgeschichte bis in die Jungsteinzeit zurück. Die Filderebene südlich von Stuttgart und die vom Unterjura geformten Verebnungen im Vorland der Mittleren Alb sind einerseits klimatisch begünstig und bringen andererseits durch die großflächige Verbreitung von Lösslehm und Löss mit ertragreichen und leicht zu bearbeitenden Böden gute Voraussetzungen für eine landwirtschaftliche Nutzung mit. Die Waldanteile sind niedrig und meist auf die Randlagen der Unterjuraplatten beschränkt. Stärkere Bewaldung tritt an den Hängen des Mitteljuras auf.

Ausgehend von industriellen Schwerpunkten wird das Albvorland stark durch konkurrierende Nutzungsansprüche wie Siedlung, Industrie, Gewerbe, Infrastruktur, Landwirtschaft und Sondernutzungen geprägt. Eine Besonderheit stellt die vergleichsweise weit verbreitete Streuobstnutzung dar.

Die Schwäbische Alb stellt, obwohl durch relative klimatische Ungunst geprägt, eine altbesiedelte Landschaft dar, die ebenfalls bis in das Neolithikum (Jungsteinzeit) zurückreicht. Die Kelten nutzten ebenfalls das Gebiet intensiv; entsprechende Siedlungen zeugen davon. Bereits früh ist ein hoher Anteil von Acker- und Weideflächen bei entsprechend geringem Waldanteil zu verzeichnen. Der technologisch-wirtschaftliche Fortschritt führte seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einem veränderten Nutzungsmuster mit einem erhöhten Waldanteil.

Die Kuppenalb zeigt ein Mosaik mit Wald- und Ackerflächen sowie einzelnen extensiveren Grünlandbereichen in relief- und bodenbedingt ungünstigen Lagen. Aus klimatischen Gründen steigt dagegen der Grünlandanteil in den hoch gelegenen Gebieten der Westalb merklich an. Die mit Lösslehm bedeckte Flächenalb zeigt großflächigen, intensiven Ackerbau. Wald beschränkt sich auf die Randbereiche und Talhänge. Auf der Schwäbischen Alb hat die Schafhaltung eine lange Tradition. So gibt es heute noch Wanderschäfer, die mit ihren Herden große Strecken zurücklegen und zu Beginn des Winters z. B. in das Bodenseegebiet oder ins Oberrheintal ziehen. Eine weitere Besonderheit war die Gewinnung von Bohnerz und dessen Verhüttung von prähistorischer Zeit bis in die industrielle Frühzeit.



Abb. 6: Blick vom Albvorland bei Profil 1 (Ofterdingen) nach Süden zum Trauf der Schwäbischen Alb mit Farrenberg, Hirschkopf und Dreifürstenstein (von links)
Foto: K. Rilling (LGRB im Regierungspräsidium Freiburg)

3 Beschreibung der Exkursionsprofile (Musterstücke der Bodenschätzung)

3.1 Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)



Abb. 7: Profilansicht Ofterdingen

Tab. 2: Standortbeschreibung Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

Substrat bzw. Bodenausgangsgesteinsfolge:	Tonfließerden (Mittellage1 und Mittellage2 über Basislage) auf sehr tiefem Zersatzton des Unteren Unterjuras [pf.T(LM)//pf.T(LB)///cc.T-juu]
Relief:	mittelschwach geneigter (6%), gestreckter Oberhang, SE-Exposition
Landnutzung:	Acker (Sept. 2024: Kleegrasmischung)
Höhenlage:	460 m ü. NHN
N[1]:	772 mm
JMT[1]:	9,5 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

Bodenkundliche Profilbeschreibung

Das 1,5 km nördlich von Ofterdingen (Lkr. Tübingen) gelegene Bodenprofil (Abb. 7 sowie Tabellen 2 bis 8) zeigt einen typischen Acker-Standort auf den Unterjura-Platten im Vorland der Mittleren Schwäbischen Alb. Die Gesteine des Unteren Unterjuras (Unterer Schwarzjura, früher: Lias alpha) bilden hier ein flachwelliges Hügelland mit Verebnungsbereichen und in West-Ost-Richtung verlaufenden Muldentälern. Den stufenbildenden Sandstein- und Kalksteinschichten sind Mergelsteine und Tonmergelsteine zwischengelagert. Deren Zersatz ist im untersten Bereich des Bodenprofils aufgeschlossen. Der Profilabschnitt oberhalb 6,8 dm u. Fl. ähnelt den Kt-Horizonten der Löss-Parabraunerden, wie sie weiter nordöstlich in etwas tieferen Lagen auf ausgedehnteren Unterjura-Verebnungen verbreitet sind. Wegen des hohen Tongehalts handelt es sich aber vermutlich um eine Fließerde (Mittellage 1) mit aufgearbeitetem Ton aus dem Liegenden. Der El-Horizont wurde im Laufe der Zeit durch Bodenerosion abgetragen bzw. Reste davon im Pflughorizont aufgearbeitet. Vereinzelt auftretender Weißjura-Grus im Ap-Horizont wird als anthropogen aufgebracht angesehen.

Ein einzelner kleiner Hornsteingrus wurde an der Basis des Swd-Kt-Horizonts gefunden, ein weiterer direkt im darunter folgenden II Sd-Kt-Horizont, der in einer weiteren lösslehmreichen Fließerde (Mittellage 2) entwickelt ist, die deutlich Tonbeimengungen aus der darunterliegenden Basislage enthält. Zudem sind die Tonbeläge in diesem Horizont deutlich kräftiger ausgeprägt als darüber. Auch hinsichtlich Farbe, Gefüge und einer höheren Packungsdichte unterscheidet sich der II Sd-Kt-Horizont deutlich vom darüber liegenden Swd-Kt. Bis in diese Tiefe ist die Profilwand von zahlreichen Regenwurmgängen geprägt. Darunter (wellige Untergrenze bei 8,8 bis 10 dm u. Fl.) folgt bis 12 dm u. Fl. ein III Kt-P-Sd-Horizont aus sehr dichtem, tonreichem Material, das vermutlich als Fließerde periglazial umgelagert wurde (Basislage). Im tonigen Gesteinszersatz darunter ist noch die ursprüngliche Gesteinsstruktur

der Unterjura-Tonmergel zu erkennen. Unterhalb 14 dm u. Fl. ist das Profil karbonathaltig. Neben aufgeweichten Tonmergelsteinplättchen tritt hier auch eine Lage mürber Kalkmergelsteine auf. Der Staunässeeinfluss im oberen Profilabschnitt ist nur gering, die deutlichen Oxidationsflecken unterhalb ca. 10 dm Tiefe werden z. T. als reliktisch angesehen. Im Vergleich dazu sind in der Umgebung Pseudogley-Parabraunerden mit deutlicher ausgeprägten Staunässemerkmalen verbreitet.

Tab. 3: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation, Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Ant.-klasse Grobb.-fraktion	Farbe	Gefügeform	Humus [Stufe]	Durchwurzelungsintensität	Carbonat [Stufe]	Ausgangsgestein	Stratigrafie
Parabraunerde										
0–27	Ap	Tu3	gGr1	10YR 3/4	kru,gro4 +bro,gro5	h3	Wf4,gl+Wg2	c0	ao	qp
–35	rAp	Tu3	gGr1	10YR 4/3	klu,gro6	h3	Wf3,gl+Wg2	c0	ao	qp
–68	Swd-Kt	Tu2	mGr1	10YR 4/4	sub,gro5 +pol,gro5	h2	Wf3,lok+Wg1	c0	ao	qp
–95	II Sd-Kt	Tu2	mGr1	10YR 5/4	pol,gro6	h2	Wf2,ugl+Wg1	c0	pf	qp
–120	III Kt-P-Sd	Tu2	nv	10YR 5/2 +10YR5/6	pol,gro7 +koh	h2	Wg1	c0	pf	qp
–140	IV lCv-Sd	Tu2	fGr3	-	koh	-	Wf0	c0	cc	juu
–155+	IV elCv	Tu3	fGr3+fX3	-	-	-	Wf0	c5	cc	juu

Deutsche Klassifikation: Tief entwickelte pseudovergleyte erodierte Parabraunerde

WRB: Stagnic Luvisol (Aric, Cutanic, Episiltic, Endoclayic, Humic)

Bodenanalysen

Bodenphysik

Tab. 4: Bodenphysikalische Eigenschaften I, Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

Tiefe [cm]	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Bodenart
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0–27	Ap	0,8	0,9	2,2	29,7	23,8	9,6	32,9	63,1	4,0	Tu3
–35	rAp	0,9	0,9	1,7	26,9	22,7	9,8	37,1	59,5	3,4	Tu3
–68	Swd-Kt	0,6	0,9	2,2	16,5	20,0	10,5	49,3	47,0	3,7	Tu2
–95	II Sd-Kt	1,3	1,4	2,4	12,6	17,0	10,4	54,9	40,0	5,1	Tu2
–120	III Kt-P-Sd	0,7	1,0	1,3	5,9	15,4	13,0	62,9	34,2	3,0	Tu2
–140	IV lCv-Sd	1,0	1,8	3,5	7,1	16,0	15,7	54,8	38,8	6,3	Tu2
–155+	IV elCv	1,2	2,9	6,3	15,4	21,7	13,5	39,2	50,5	10,3	Tu3

Tab. 5: Bodenphysikalische Eigenschaften II, Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0–27	Ap	1,34	49,5	10,8	38,7	-	-
–35	rAp	1,51	42,9	6,5	36,4	-	-
–68	Swd-Kt	1,51	43,2	5,3	37,9	-	-
–95	II Sd-Kt	1,55	41,6	1,6	40,0	-	-
–120	III Kt-P-Sd	1,54	41,8	-	-	-	-
–140	IV lCv-Sd	-	-	-	-	-	-
–155+	IV elCv	-	-	-	-	-	-

Bodenchemie

Tab. 6: Bodenchemische Eigenschaften I, Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0–27	Ap	6,1	6,1	0	19,1	2,0	9,6	21,8	191
–35	rAp	6,2	6,4	0	11,8	1,3	9,1	4,4	108
–68	Swd-Kt	6,5	6,4	0	7,3	0,7	10,4	0,1	33
–95	II Sd-Kt	6,7	6,5	0	6,1	0,6	10,2	0,2	33
–120	III Kt-P-Sd	6,8	6,6	0	6,4	0,6	10,7	0,1	33
–140	IV lCv-Sd	6,9	6,9	0	17,2	0,7	24,6	0,0	42
–155+	IV elCv	7,6	7,4	25,8	8,5	<0,5	-	1,1	58

Tab. 7: Bodenchemische Eigenschaften II, Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{eff} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	eff. austauschbare Kationen [$mmol_c$ kg^{-1}]							
				Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–27	Ap	158,6	99,9	0,4	5,6	135,0	17,6	<0,02	<0,01	0,1	<0,24
–35	rAp	174,2	100	0,5	4,1	153,9	15,7	<0,02	<0,01	0,1	<0,24
–68	Swd-Kt	233,4	100	0,4	1,9	213,7	17,4	<0,02	<0,01	<0,01	<0,24
–95	II Sd-Kt	271,5	100	0,6	1,5	247,0	22,4	<0,02	<0,01	<0,01	<0,24
–120	III Kt-P-Sd	228,4	100	0,3	<0,08	212,8	15,3	<0,02	<0,01	<0,01	<0,24
–140	IV lCv-Sd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
–155+	IV elCv	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 8: Bodenchemische Eigenschaften III, Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{pot} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	pot. austauschbare Kationen [$mmol_c$ kg^{-1}]			
				Na	K	Ca	Mg
0–27	Ap	179,7	94,3	<1,0	5,7	146,8	16,9
–35	rAp	181,5	97,9	<1,0	3,8	159,0	15,0
–68	Swd-Kt	251,8	94,4	<1,0	1,4	219,1	17,1
–95	II Sd-Kt	273,4	94,5	<1,0	1,3	239,4	17,9
–120	III Kt-P-Sd	256,2	99,9	<1,0	<0,5	237,5	18,4
–140	IV lCv-Sd	215,2	99,1	<1,0	<0,5	200,9	12,4
–155+	IV elCv	118,6	100	<1,0	<0,5	112,3	6,3

Musterstückbogen der Bodenschätzung

Die vom Schätzungsbeirat geschätzten Musterstücke werden vom Bundesministerium der Finanzen in einer Rechtsverordnung bekanntgegeben. Die Anlage in der Verordnung zur Änderung der Bodenschätzungs-Durchführungsverordnung vom 15. Juli 2014 (BGBl. I S. 962) enthält das Gesamtverzeichnis der 3962 Musterstücken für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland nach dem letzten Stand vom 31. Dezember 2013.

In dem bundeseinheitlichen Programm MUSTER werden die Ergebnisse nachgewiesen. Die nachfolgenden Tabellen 9 und 10 zeigen für das Profil 1 die bestandskräftigen Daten der Bodenschätzung sowie die Abb. 8 dessen Lage sowie Schätzungskarte. In der Abb. 9 wird eine Profilbeschreibung unter Berücksichtigung moderner feldbodenkundlicher Aspekte nach einer Geländeaufnahme im September 2024 wiedergegeben,

Tab. 9: Kopfdaten der Bodenschätzung, Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

besichtigt am	Beschreibung des Musterstückes für Ackerland Nr.
23.09.1974	**2886.07**

1	OFD **Karlsruhe**		2	Finanzamt **Tübingen**					
3	Gemeinde **Ofterdingen**		4	Gemarkung **Ofterdingen**		5	Flur	6	Flurstück (e) **4259 + 4260**
7	Höhe NN **460** m	8	Jahreswärme **8** °C		9	Jahresniederschlag **760** mm			
10	Größe **460** m²	11	Geologische Entstehung **Löss über Lias alpha**						
12	Bodenbeschreibung				13	Klasse:	Bodenart **L**		
	h2 L,fs3	**2,0**					Zustandsstufe **4**		
	r2 L,kr,(t2)	**4,0**					Entstehung **LöV**		
	r3 T,l3-T								

14	15		16	17
Bodenzahl	Besonderheiten /	Abrechnung in v.H.	Ab- und Zurechnungen für allgemeines Klima in v.H.	Ackerzahl
62	**Gel S**	**-2**	**-2**	**60**

18	Bemerkungen:

Tab. 10: Analysedaten der Bodenschätzung, Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

		Korngrößengruppen (in mm) nach KOPECKY in % vom Feinboden					Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Abschlämmbare Teile <0,01		Staubsand 0,01 - 0,05	Feinsand 0,05 - 0,1	Grobsand 0,1 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KOPECKY
		Analyse *	berechnet	berechnet	berechnet	berechnet	Analyse		
1	-2,0								
2	2,0-6,0								
3	6,0-8,0								
4									
5									
6									

		Korngrößengruppen (in mm) nach KÖHN in % vom Feinboden							Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Ton <0,002	fU 0,002 - 0,0063	mU 0,0063 -0,02	gU 0,02 - 0,063	fS 0,063 - 0,2	mS 0,2 - 0,63	gS 0,63 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KÖHN
1	-2,0	22,4	19,1	20,0	30,8	5,2	1,3	1,1		A	Ut4
2	2,0-6,0	34,8	19,0	19,6	20,0	5,1	1,0	0,5		B	Tu3
3	6,0-8,0	52,0	16,0	16,1	9,7	2,4	1,8	2,1		C	Tu2
4											
5											
6											

	Tiefe unter Flur [dm]	pH (KCl)	Carbonat %	C org. %	Humus %	N_t %	C/N - Verhältnis	KAK mmol/z/100g	Basensättigung %	K_2O mg/100g	P_2O_5 mg/100g
1	-2,0	5,6	0	2,07	3,57			1,61			
2	2,0-6,0	6,3	0	0,71	1,23			2,48			
3	6,0-8,0	6,6	0	0,74	1,27			2,79			
4											
5											
6											

Abb. 8: Lageplan Rahmenkarte und Flurkarte; Profil 1 (Ofterdingen MSt 2886.07)
Meßtischblatt 7520 Rechtswert 3502460 Hochwert 5366390 (Gauß-Krüger-Koordinaten)

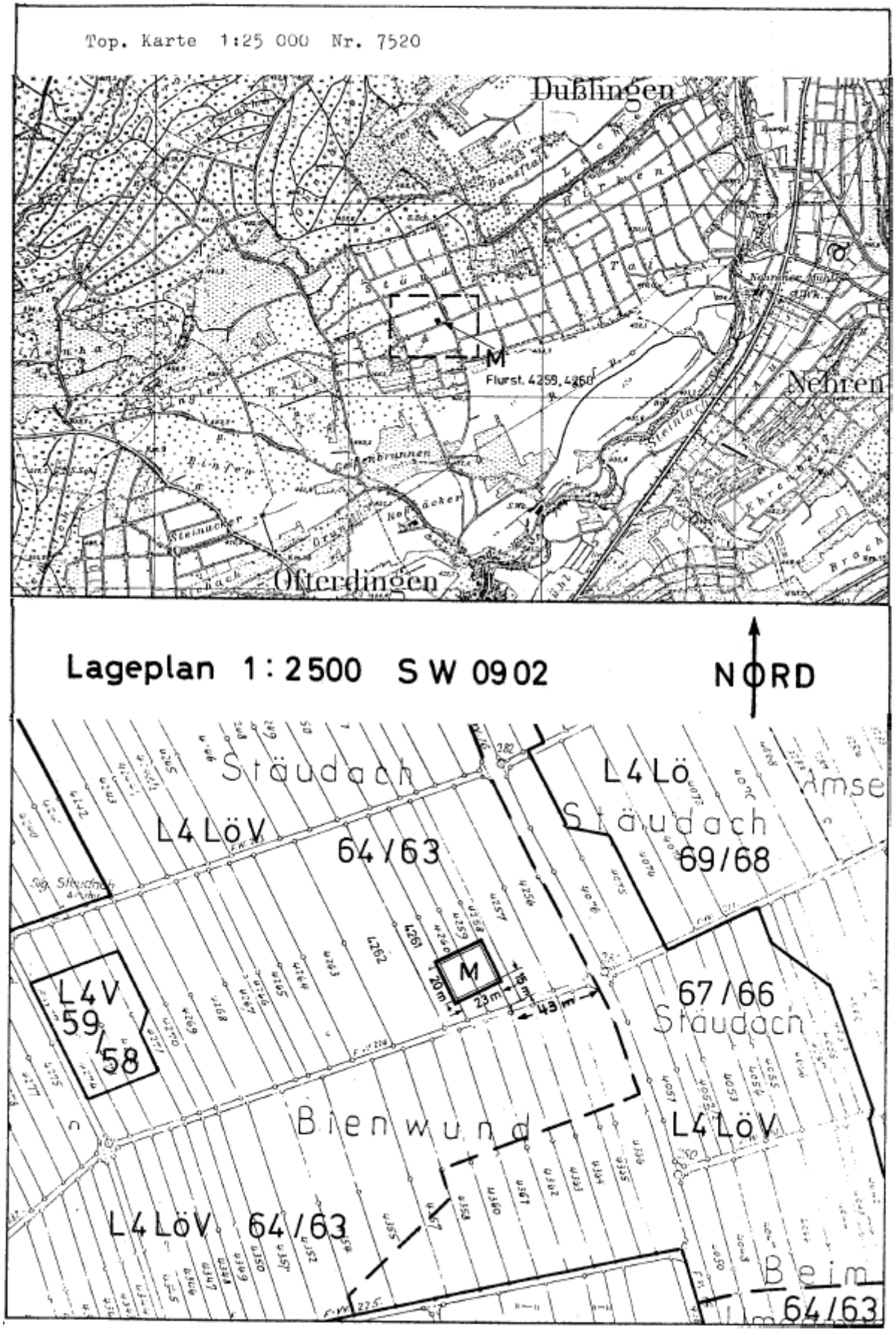
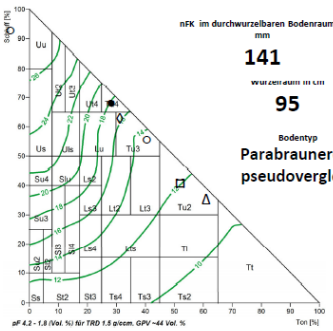


Abb. 9: Profilbeschreibung zur Bodenschätzung unter Berücksichtigung moderner feldbodenkundlicher Aspekte für das Profil 1 (Ofterdingen, MSt 2886.07)

Standort **Ofterdingen** Bewertung **L 4 LöV 62/60** 19.09.2024

Gel S -2, Klima -2

Lfd.Nr./VSt-Nr./Profil-Nr. **MSt 2886.07 (Profil 1)**



Symbol	Lage Substrat	Tiefe in cm	Horizont	Humus h	Kalk ka	Farbe/reduktiv gb	Eisen/oxydativ ei	Feuchte/ Sonstige	Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Feinboden KA 5/6	Feinboden BodSchätz	Tiefe in cm
●	LH	10–30	Ap	h2-3						(gru1)		Tu4	L,fs2-kr	10–30
◊			rAp	h2-3								Tu3	L,fs2-kr	
○	LM1	40–70	Swd-Kt			gb1	ei1			(gru1)		Tu3	L,kr	40–70
□	LM2 Eem	80–90	II Swd-Kt			gb1-2	ei1			(gru1)		Tu2	L,kr-t2 kräftige Tonbeläge	80–90
Δ	LB	100–120	III P-Sd			gb2-3	ei2-3					Tu2	T,l3-T	100–120

Bodenskelett Vol.%

Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Skelett Summe	Faktor (Boden - Skelett)
	1		1	0,99
	1		1	0,99
	1		1	0,99

Profil Tiefe in cm	Horizont	Packung Pd	Hydro-morphie rezent/relikt	Feinboden nFK 4,2-2,5 mm	Feinboden nFK 4,2-1,8 mm	Packungsdichte Pd, Wurzeln Faktor	Packungsdichte Pd, Nässe Faktor	Faktor (Boden - Skelett)	Mächtigkeit Horizont Faktor	pF 4,2 bis 2,5 nFK Horizont	pF 4,2 bis 1,8 nFK Horizont	Tiefe in cm
Ap	Ap	3		14	18			0,99	3	42	54	
	rAp	3(-4)		13	16				0,5	6,5	8	
	Swd-Kt	3	meist reliktisch	11	14			0,99	3,5	38,5	49	
	II Swd-Kt	3-	meist reliktisch	10	12			0,99	2,5	25	30	
	III P-Sd	4	meist reliktisch	10	12					Summe 112	Summe 141	

Hinweise zum Profil aus Sicht der Bodenschätzung

Die erodierte pseudovergleyte Parabraunerde weist als Ackerstandort ein günstiges mittleres, aber kein hohes Ertragspotential aus, da die verbliebene Lössdecke nur noch geringmächtig ist. Die untere Mittellage (LM2), direkt über der Basislage (LB), enthält sehr kräftige, fast einen halben Zentimeter starke Tontapeten, wie dies für Tonanreicherungshorizonte aus älteren (eemzeitlichen) Lössen typisch ist. In würmzeitlichen Lössen treten Tonbeläge in dieser Ausprägung nicht auf, sondern sind deutlich geringmächtiger bis hauchzart. Diese älteren Lösslehme weisen eine tendenziell höhere Packungsdichte als die würmzeitlichen Lösse auf, was sich auf die Durchwurzelbarkeit negativ auswirkt.

Die schwach ausgeprägten Vernässungsmerkmale des Profils werden im Wesentlichen durch die tonreiche Basislage (LB) und nicht die Mittellage(n) verursacht. Die Bodenschätzung subsummiert oxidative Nässemerkmale unter dem Begriff „eisenschüssig“, während reduktive Nässemerkmale unter dem Begriff „gebleicht“ erfasst werden. Dabei wird jedoch, was als Mangel angesehen werden kann, nicht zwischen Pseudovergleyung (Staunässe), wie im vorliegenden Fall, und Vergleyung (Grundnässe) unterschieden. Bei älteren Musterstücken ist es aber auch üblich, dass die Vernässung unter dem Begriff „roh“ erfasst wird.

„Roh“ kann bei der Bodenschätzung aber auch Horizonte des Untergrunds kennzeichnen, die mehr oder weniger verwitterte Gesteine enthalten, wie sie für Basislagen typisch sind. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass bei älteren Musterstücken, der Begriff „roh“, aber auch für die im Bohrstock („als Schlieren“) erkennbaren Tontapeten der Kt-Horizonte (alt Bt-Horizonte) stehen kann.

Die Beschreibung des Feinbodens erfolgt bei der Bodenschätzung grundsätzlich durch eine eigene Nomenklatur. Das Geländeformblatt stellt eine Verbindung zwischen Bodenschätzung und moderner Feldbodenkunde dar (Abb. 9). Es kann dabei helfen, bei der Bodenschätzung die Bodenzahl oder Grünlandgrundzahl durch

die Berechnung der nutzbaren Feldkapazität besser einzuschätzen. Bei dem Geländeformblatt wird der Feinboden in der Spalte „Feinboden BodSchätz“ beschrieben. Der jeweilige Horizont wird durch ein Symbol gekennzeichnet, dass sich im Bodenartendreieck wiederfindet. Es handelt sich dabei um die Ansprache im Gelände und nicht die analysierte Bodenart im Labor.

Die Nomenklatur der Bodenschätzung kennt keinen Schluff i. S. der Bodenart. Neben den abschlämmbaren Teilchen (≤ 10 µm) gibt es die Fraktionen Staubsand (10–50 µm) und Feinsand (50–100 µm). Die Grobsandfraktion (100–2000 µm) unterscheidet sich ebenfalls von der modernen Einteilung. Bei der Ansprache des Feinbodens wird die Staubsandfraktion unter dem Begriff „feinsandig“ subsummiert, was zum Verständnis wichtig ist.

Die Schluffe werden vereinfacht gesagt bei der Bodenschätzung als „feinsandige Lehme (L,fs3)“ erfasst, wobei nachfolgend die Tongehalte der Schluffe (Lösse bzw. Lösslehme) in 5%-Schritten aufgeführt sind:

- ± 10% Ton:
  stark feinsandiger Lehm (L,fs4)
  Kartieranleitung Ut2
  z. B. elC-Horizont
- ± 15% Ton:
  stark feinsandiger Lehm (L,fs4)
  bzw. feinsandiger Lehm (L,fs3)
  Kartieranleitung: Ut3
  z. B. elC-Horizont, Ap-Horizont
- ± 20% und 25% Ton:
  feinsandiger Lehm (L,fs3)
  Kartieranleitung Ut4, (Tu4)
  z. B. D-Horizonte (alt M-Horizonte), Ap-Horizonte
- ± 30% Ton:
  schwach feinsandiger Lehm (L,fs2)
  Kartieranleitung: Tu4
  z. B. Kt-Bv-Horizont (alt Btv-Horizonte)
- ± 35% Ton:
  kräftiger Lehm (L,kr)
  Kartieranleitung: Tu4, Tu3
  z. B. „kräftige“, d.h. tonreiche Kt-Horizonte (alt Bt-Horizonte)

Die aktuelle Version des digitalen Feldschätzungsbuchs FESCH sieht bereits bei der laufenden Bodenschätzung vor, die Bodenart des Feinbodens nach der Nomenklatur der Bodenschätzung, aber auch nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung zu erfassen.

Die Bodenart „L“ des Klassenzeichens ist unstrittig. Die Zustandsstufe „4“ ist aufgrund des durchwurzelbaren Bodenraums von 95 cm gerechtfertigt. Eine Zustandsstufe 3 wäre nur gerechtfertigt bei einer Durchwurzelungstiefe, die mehr als 1 m beträgt. Die Durchwurzelbarkeit kann durch einfaches Sondieren, etwa mittels eines Taschen- oder Kittmessers am aufgegrabenen Bodenprofil mit etwas Übung ermittelt werden. Dabei ist auch auf die tatsächliche Durchwurzelung zu achten. Die Bestimmung der Packungsdichte, die auch Eingang in die KA 6 gefunden hat, kann feldbodenkundlich erfasst werden. Es handelt sich dabei um eine reproduzierbare Kenngröße, die ganz wesentlich zur Bestimmung einer korrekten Zustandsstufe herangezogen werden kann. Die Zustandsstufe wird durch den durchwurzelbaren Bodenraum und dessen Ausprägung bestimmt.

Das Profil ist ein klassisches Beispiel für eine Mischentstehung. Die Basislage stellt einen sehr deutlichen Substratwechsel dar. Während der obere Profilbereich einen deutlichen Einfluss des Lösslehmes − Entstehung Löss (Lö) i. S. der Bodenschätzung − zeigt, bildet die Obergrenze der Basislage (LB) die Grenze zur Entstehung Verwitterung (V) i. S. der Bodenschätzung. Ist ein solcher Wechsel innerhalb des ersten Meters erkennbar, wird dies bei der Bodenschätzung durch eine Mischentstehung erfasst. Im vorliegenden Fall ist es die Mischentstehung LöV. Anders als umgangssprachlich üblich, liegt dabei der Schwerpunkt auf der zuerst genannten Entstehung.

Die Bodenzahl von „62“ korreliert gut mit der nutzbaren Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum, die feldbodenkundlich (!) mit 141 mm hinreichend genau bestimmt wurde. Dies geschieht, indem über die feldbodenkundlich bestimmte Bodenart nach Kartieranleitung und die im Bodenartendreieck abgebildeten Isolinien, die nutzbare Feldkapazität abgeschätzt wird. Dabei wurde im vorliegenden Fall unterstellt, dass eine Trockenrohdichte (TRD)

von 1,5 g/cm³ für pF 4,2 bis 1,8 gilt, was dem pflanzenverfügbaren Wasser in Mittelporen (10 bis >°0,2 µm) und engen Grobporen (50 bis >°10 µm) entspricht.

Historische Entwicklung der Landwirtschaft anhand der Gemeindebeschreibung

Die Gemeindebeschreibung stammt aus der Zeit als die heutigen Ortsteile noch eigene Gemeinden bildeten. In der Gemeindebeschreibung der Bodenschätzung sind die Gegebenheiten hinsichtlich Böden und Anbauverhältnissen zur Zeit der Erstschätzung in 1949 für Ofterdingen beschrieben. Das Musterstück 2886.07 liegt im Gewann Staudach.

Entlang der Grenze zu Dußlingen, westlich des Flusses Steinlach in den Gewannen Rasp, Staudach, Bienwund, Klingler und Binsen liegen die Lössböden.

Die Bodenarten in Ofterdingen wechseln vom leichten schiefrigen und sandigen Lehm (Schwarzer Jura) bis zum schweren Ton (Brauner Jura). Es gibt ca. 1% Böden mit der Bewertung L 3 LöV mit Ackerzahlen von 74–67. Die Schätzung des Musterstücks L 4 LöV mit einer Ackerzahl von 62/60 entspricht 7% der Böden in Ofterdingen. Die häufigsten Schätzungen sind allerdings L 4 V (62–55); L 5 VD (53–50) und LT 4 V (56–60).

Die klimatischen Verhältnisse 1949 wurden als recht einheitlich für die Gemarkung beschrieben. Die Jahrestemperatur betrug zwischen 7,8 °C und 7,9 °C und die Niederschlagsmenge 740 mm. Die Gemarkung liegt jedoch in einem Trockenheitsgebiet zwischen Alb, Schönbuch und Neckar. Der Beginn der Heuernte wurde mit dem 15. Juni und der Beginn der Getreideernte mit dem 5. August angegeben.

Auch die wirtschaftlichen Ertragsbedingungen sind beschrieben. Sie spiegeln die Landwirtschaft in Ofterdingen 1949 wider.

So wurde damals eine Dreifelderwirtschaft betrieben. Die Gemeinde hatte 449 landwirtschaftliche Betriebe. Die meisten Landwirte in Ofterdingen bewirtschafteten zwischen 2–5 ha landwirtschaftliche Nutzfläche oder sogar noch weniger. Nur drei Betriebe hatten damals schon zwischen 10 und 20 ha Nutzfläche. Von den 449 Betrieben arbeiteten 168 viehlos.

Zur damaligen Zeit definierten sich die landwirtschaftlichen Betriebe als Haupterwerbsbetriebe, die jedoch noch einen anderen Beruf als Nebenerwerb betrieben. Heutzutage ist es eher umgekehrt.

Eine starke Zersplitterung des Grundbesitzes wurde bereits 1949 festgestellt, was sich aufgrund der Realerbteilung bis heute fortsetzt.

Die Mechanisierung war in Ofterdingen 1949 noch nicht sehr weit fortgeschritten. Obwohl der Bodenschätzer der Gemeinde für ihre Verhältnisse einen intensiven Ackerbau bescheinigte, wurde dieser hauptsächlich von Hand und mit Vieh betrieben. Auch die Getreideernte wurde zu 75% von Hand erledigt.

Die Düngung erfolgte bei allen Getreidearten hauptsächlich mit Stallmist. Als Zugtiere wurden hauptsächlich Milchkühe eingesetzt. Dadurch war die Milchleistung in Ofterdingen sehr gering.

In der Nachkriegszeit entwickelte sich Ofterdingen sehr schnell zu einer reinen Wohngemeinde mit wenigen landwirtschaftlichen Haupterwerbsbetrieben. Die Tierhaltung ging sehr stark zurück.

Aktuelle landwirtschaftliche Nutzung

Der Ackerschlag, in dem das Musterstück liegt, wird von einem modern konventionell wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieb aus Ofterdingen bewirtschaftet. Er betreibt Milchviehhaltung und Bullenmast mit insgesamt 70 Milchkühen, 120 Stück Jungvieh und 50 Mastbullen sowie eine Biogasanlage. Insgesamt bewirtschaftet er 200 ha, wovon 105 ha Ackerland und 95 ha Grünland sind. Die Fläche setzt sich aus vielen kleinen Flurstücken zusammen. Die Realerbteilung ist für die starke Zersplitterung verantwortlich.

Die Fläche, auf der sich das Musterstück befindet, wird gepflügt und mit eigener verfügbarer Gülle gedüngt. In der Fruchtfolge stand Luzerne 2022/2023 und Triticale in 2023/2024. Die Triticale konnte allerdings wegen des Luzerne-Durchwuchses nur als Ganzpflanzensilage (GPS) geerntet werden. Anschließend wurde in 2024 Kleegras als Zwischenfrucht eingesät und im Frühjahr 2025 folgte Mais.

Der Betrieb erwirtschaftet auf diesen Standorten Erträge bis zu 75 dt/ha Weizen und ca. 450 dt/ha Silomais. Diese Erträge sind vergleichbar mit den durchschnittlichen Erträgen weiterer, vermeintlich begünstigten Ackerbauregionen in Baden-Württemberg. Für den Betriebsleiter gehören die Flächen im Gewann Staudach zu den ertragssichersten bzw. ertragsreichsten seines Betriebs.

3.2 Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)



Abb. 10: Profilansicht Nehren

Tab. 11: Standortbeschreibung Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)

Substrat bzw. Bodenausgangsgesteinsfolge:	Tonfließerde (Basislage) über Zersatzton des Mittleren Unterjuras (Amaltheenton-Formation) [pf.T/cc.T-juAMT]
Relief:	stark mittel geneigter (15%), gestreckter Oberhang, SW-Exposition; 8 m oberhalb folgt eine ca. 2 m hohe ehem. Ackerterrasse
Landnutzung:	Streuobstwiese
Höhenlage:	421 m ü. NHN
N[1]:	755 mm
JMT[1]:	9,5 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

Bodenkundliche Profilbeschreibung

Das auf einer Streuobstwiese ca. 300 m nördlich des Ortsrandes von Nehren (Lkr. Tübingen) gelegene Bodenprofil (Abb. 10 und Tabellen 11 bis 16) zeigt einen typischen Standort im Unterjura-Hügelland des Mittleren Albvorlands. In den heute oft mit Streuobstwiesen bestandenen Hanglagen bilden meist Ton- und Mergelsteine den Untergrund. Grobbodenkomponenten aus härteren karbonatischen Bänken sind örtlich den tonreichen periglazialen Fließerden beigemischt, die den Mergelsteinzersatz oft überlagern. Früher wurde in diesen Bereichen Ackerbau, lokal auch Weinbau betrieben, was Bodenerosion und somit eine Verkürzung der ursprünglich ausgebildeten Bodenprofile zur Folge hatte. Die früheren Ackerterrassen sind direkt neben Profil 3 noch deutlich zu sehen. Der reliktische Ap-Horizont bis 3,3 dm u. Fl. mit enthaltenen kleinen Ziegelbrocken und Holzkohlestückchen zeigt eine frühere tiefere Bodenbearbeitung an.

Der karbonatreiche Pv-elCv-Horizont, in dem ansatzweise ein polyedrisches Gefüge zu erkennen ist, enthält mürben Tonmergelsteingrus und, wie die Horizonte darüber, einzelne harte Kalksteine. Im gesamten Profil fanden sich auch mehrere, bis fingerdicke Belemniten. Dabei handelt es sich um das versteinerte Hartteil des kalkigen Innengehäuses einer ausgestorbenen Ordnung der Cephalopoden (Kopffüßer), die im Jurameer weit verbreitet war (volkstümlich: Donnerkeile). Den tieferen Untergrund, unterhalb 5,6 dm u. Fl., bildet ein mächtiger grabbarer Tonmergelsteinzersatz mit schluffig-tonigem Zwischenmittel, in dem die ursprüngliche Gesteinsschichtung noch zu erkennen ist.

Tab. 12: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation, Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)

Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Ant.-klasse Grobb.-fraktion	Farbe	Gefügeform	Humus [Stufe]	Durchwurzelungsintensität	Carbonat [Stufe]	Ausgangsgestein	Stratigrafie
Pelosol-Pararendzina										
0–14	Ah	Tu2	mGr2+fX1	2.5Y 3/3	kru,gro4 +sub,gro4	h4	Wf5,gl+Wg2	c3.4	pf	qp
–33	rAp	Tu2	mGr2+fX1	2.5Y 4/3	pol,gro4	h3	Wf3,gl+Wg2	c4	pf	qp
–56	Pv-elCv	Tu2	mGr3+fX1	2.5Y 5/3	pol,gro5 +koh	h2	Wf3,ugl+Wg1	c4	pf	qp
–124+	II elCv	Tu3	mGr6	2.5Y 5/3	-	h1	-	c4	cc	ju
Deutsche Klassifikation: Pelosol-Pararendzina WRB: Pantocalcaric Vertic Cambisol (Pantoclayic, Humic)										

Bodenanalysen

Bodenphysik

Tab. 13: Bodenphysikalische Eigenschaften I, Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)

Tiefe [cm]	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Bodenart
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0–14	Ah	1,5	2,1	2,7	6,7	12,9	15,2	58,9	34,8	6,3	Tu2
–33	rAp	3,5	2,6	2,9	5,9	13,8	15,8	55,5	35,5	9,0	Tu2
–56	Pv-elCv	0,9	1,4	2,9	8,3	17,9	21,1	47,7	47,2	5,1	Tu2
–124+	II elCv	1,0	1,7	6,5	11,1	20,5	23,6	35,7	55,2	9,1	Tu3

Tab. 14: Bodenphysikalische Eigenschaften II, Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0–14	Ah	1,02	61,4	8,3	53,1	17,2	35,9
–33	rAp	1,29	51,4	6,1	45,3	10,4	34,9
–56	Pv-elCv	1,50	43,4	0	43,4	-	-
–124+	II elCv	1,60	39,5	0	41,4	-	-

Bodenchemie

Tab. 15: Bodenchemische Eigenschaften I, Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0–14	Ah	7,0	7,4	9,2	48,7	4,5	10,8	4,4	249
–33	rAp	7,2	7,2	11,4	19,3	1,9	10,2	2,1	125
–56	Pv-elCv	7,4	7,3	11,3	8,3	0,9	9,2	0,2	66
–124+	II elCv	7,7	7,4	15,7	4,7	0,5	9,4	0,9	50

Tab. 16: Bodenchemische Eigenschaften II, Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{pot} [$mmol_c\ kg^{-1}$]	BS [%]	pot. austauschbare Kationen [$mmol_c\ kg^{-1}$]			
				Na	K	Ca	Mg
0–14	Ah	304,9	100	<1,0	4,7	293,5	6,7
–33	rAp	239,6	100	<1,0	2,1	234,3	3,2
–56	Pv-elCv	236,2	100	<1,0	<0,5	232,2	4,0
–124+	II elCv	205,3	100	<1,0	1,0	200,1	4,2

Musterstückbogen der Bodenschätzung

Die nachfolgenden Tabellen 17 und 18 sowie die Abbildung 11 stellen für das Profil 2 als Musterstück der Bodenschätzung die bestandskräftigen Daten dar.

Abbildung 12 berücksichtigt darüber hinaus moderne feldbodenkundliche Aspekte bei der Profilansprache des Musterstücks, wie sie sich im Rahmen der Vorbesichtigung zur Exkursion am 19.09.2024 im Gelände gezeigt haben. In dem nachfolgenden Abschnitt „Hinweise zum Profil aus Sicht der Bodenschätzung“ werden diese dann teils aufgegriffen.

Tab. 17: Kopfdaten der Bodenschätzung, Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)

besichtigt am **23.09.1974**

B e s c h r e i b u n g des Musterstückes für Ackerland Nr. **2886.51**

1	OFD	**Karlsruhe**		2	Finanzamt	**Tübingen**					
3	Gemeinde	**Nehren**		4	Gemarkung	**Nehren**		5	Flur	6	Flurstück (e) **4460**
7	Höhe NN	**418** m	8	Jahreswärme	**8** °C	9	Jahresniederschlag	**760** mm			
10	Größe	**450** m²	11	Geologische Entstehung	**Lias Verw.**						
12	Bodenbeschreibung	**h2-h3 ka2 L,kr-t3 2,0 – 3,0** **h2 ka3 L,t3-T,l3 2,0 – 3,0** **ka3 r3 T,l2/TStV, schi**		13	Klasse: Bodenart **T** Bodenstufe **II** Klimastufe **a** Wasserstufe **3-**						
14	Grünlandgrundzahl	**51**	15	Besonderheiten / Abrechnung in v.H.	**Gel S -2**	16	Ab- und Zurechnungen für allgemeines Klima in v.H.		17	Grünlandzahl	**50**
18	Bemerkungen:										

Tab. 18: Analysedaten der Bodenschätzung, Profil 2 (Nehren, MSt-Nr. 2886.51)

		Korngrößengruppen (in mm) nach KOPECKY in % vom Feinboden					Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Abschlämmbare Teile <0,01		Staubsand 0,01 - 0,05	Feinsand 0,05 - 0,1	Grobsand 0,1 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KOPECKY
		Analyse *	berechnet	berechnet	berechnet	berechnet	Analyse		
1	-2,5								
2	2,5-5,0								
3	5,0+								
4									
5									
6									

		Korngrößengruppen (in mm) nach KÖHN in % vom Feinboden							Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Ton <0,002	fU 0,002 - 0,0063	mU 0,0063 -0,02	gU 0,02 - 0,063	fS 0,063 - 0,2	mS 0,2 - 0,63	gS 0,63 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KÖHN
1	-2,5	83,0								A	T
2	2,5-5,0	84,0								B	T
3	5,0+	91,0								C	T
4											
5											
6											

	Tiefe unter Flur [dm]	pH (KCl)	Carbonat %	C org. %	Humus %	N_t %	C/N - Verhältnis	KAK mmol/z/100g	Basensättigung %	K_2O mg/100g	P_2O_5 mg/100g
1	-2,5	7,1	2,30	3,90	7,80						
2	2,5-5,0	7,3	2,50	1,23	2,46						
3	5,0+	7,4	4,20	1,58	3,16						
4											
5											
6											

Abb. 11: Lageplan Rahmenkarte und Flurkarte; Profil 2°(Nehren, MSt 2889.51)
Meßtischblatt 7520 Rechtswert 350490 Hochwert 5366850 (Gauß-Krüger-Koordinaten)

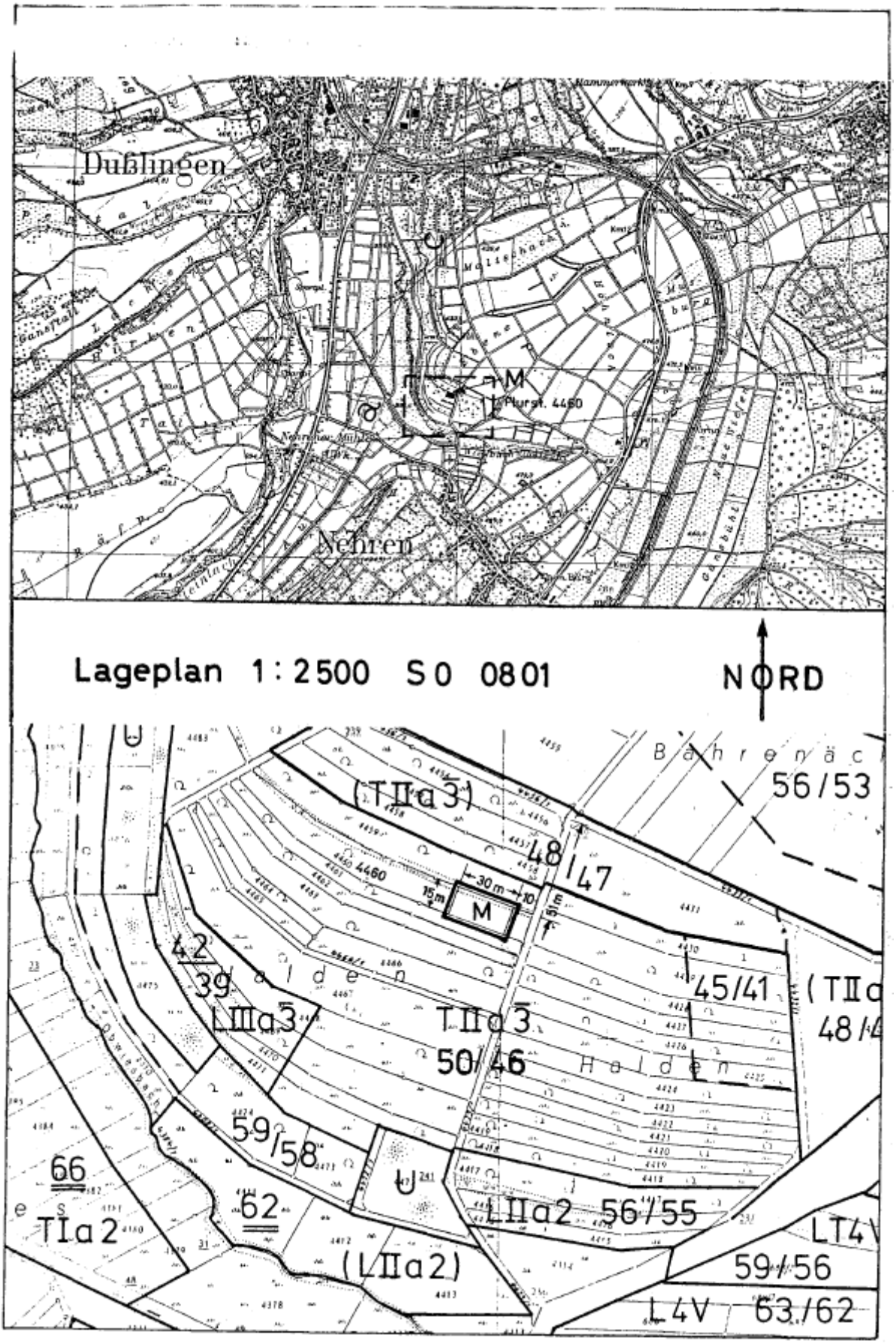
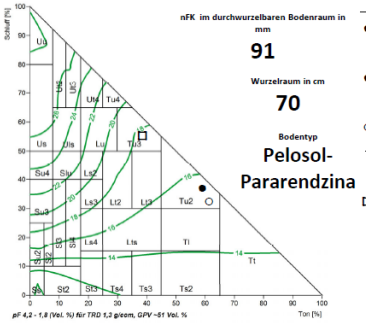


Abb. 12: Profilbeschreibung zur Bodenschätzung unter Berücksichtigung moderner feldbodenkundlicher Aspekte für das Profil 2 (Nehren, MSt 2886.51)

Standort **Nehren** Bewertung **T II a 3- – 51/50** Gel S -2 **19.09.2024**

Lfd.Nr./VSt-Nr./Profil-Nr. **MSt 2886.51 (Profil 2)**



Symbol	Lage Substrat	Tiefe in cm	Horizont	Humus h	Kalk ka	Farbe/reduktiv gb	Eisen/oxydativ ei	Feuchte/ Sonstige	Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Feinboden KA 5/6	Feinboden BodSchätz	Tiefe in cm
●	LB	10	eAh	h4	ka2				st1	gru2		Tu2	L,t3-T,l3	10
		20												20
●	LB	30	reAp	h3	ka3				st1-2	gru2		Tu2	L,t3-T,l3	30
		40												40
○		50	Pv-elCv		ka3				st 2	gru3		Tu2	L,t3-T,l3	50
		60												60
	Saprolith (?)	70												70
		80	II ejlCv		ka4				st2	gru4		Tt	L,t3-T,l3	80
		90												90
		100												100
		110												110
		120												120

Bodenskelett Vol.% Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Skelett Summe	Faktor (Boden - Skelett)	Profil Tiefe in cm	Horizont	Packung Pd	Hydro-morphie rezent/relikt.	Feinboden nFK 4,2-2,5 mm	Feinboden nFK 4,2-1,8 mm	Packungsdichte Pd, Wurzeln Faktor	Packungsdichte Pd, Nässe Faktor	Faktor (Boden - Skelett)	Mächtigkeit Horizont Faktor	pF 4,2 bis 2,5 nFK Horizont	pF 4,2 bis 1,8 nFK Horizont
1	4		5	0,95	10	eAh	3		13	16			0,95	1,5	19	23
2	8		10	0,9	30	erAp	3		13	16			0,9	2	23	29
5	15		20	0,8	50	Pv-elCv	3		13	16			0,8	2	21	26
5	45		50	0,5	80	II ejlCv	3-4 4		15	18			0,5	1,5	11	14
															Summe 74	Summe 91

Hinweise zum Profil aus Sicht der Bodenschätzung

Die tonreiche Pelosol-Pararendzina ist hinsichtlich der Bodenart des Klassenzeichens als Ton (T) anzusprechen. Der bis 70 cm durchwurzelbare Boden ist mittelgründig und im Grünland somit eindeutig der Bodenstufe II zuzuordnen. Tone zeichnen sich durch eher geringe Trockenrohdichten zwischen 1,1 bis 1,3 g/cm³ aus, weshalb bei der Ermittlung der nFK eine Trockenrohdichte von 1,3 g/cm³ zugrunde gelegt wird. Dies wirkt sich günstig auf die nFK im durchwurzelbaren Bodenraum aus, welche für den Porenbereich pF 4,2 bis 1,8 mit 91 mm und für den Porenbereich pF 4,2 bis 2,5 mit 74 mm feldbodenkundlich mittels der dazugehörigen Isolinien ermittelt wurde. Die entsprechenden Werte würden bei einer TRD von 1,5 g/cm³ bei 64 bzw. 56 mm liegen. Damit wäre die Bewertung mit der Bodenklasse T II a 3– 51/50 eigentlich zu hoch. Selbst bei einer nFK von 91 mm ist die Bewertung „stramm“. Es muss auch bedacht werden, dass die Angabe von 8 °C für das Musterstück in Nehren gerade so in die Klimastufe a (mittlere Jahrestemperatur ≥ 8 °C) fällt. Laut Gemeindebeschreibung von 1950 liegt die mittlere Jahrestemperatur bei 8 °C und der mittlere Jahresniederschlag bei 760 mm.

Das Profil weist bei der Bewertung durch den Schätzungsbeirat des BMF die Besonderheit auf, dass die Wasserstufe „3–“ (drei minus; minus steht für trocken) vergeben wurde. Dies ist durch das heutige Regelwerk der Bodenschätzung nicht abgedeckt, wenngleich durchaus sinnvoll. In der österreichischen Bodenschätzung ist diese Regelung ausdrücklich auch für die Wasserstufe 3 und nicht nur für die Wasserstufen 4 und 5 vorgesehen. Bei der Bereisung vom 22. bis 27. September 1974 im damaligen Oberfinanzbezirk Stuttgart wurden drei Musterstücke so bewertet: Nehren T II a 3– 51/50, Ringingen L III c 3– 31/31 und Warthausen (IS II b 3–) 35/35. In der Niederschrift heißt es: „*Diese Kennzeichnung der trockenen Variante der Wasserstufe 3 bei Grünlandflachen erfolgt analog zu den Vorschriften über die Wasserstufen 4 und 5 in den Erläuterungen zum Grünlandschätzungsrahmen Ziff. 3 Abs. 3 (Rosch-Kurandt, 2. Aufl., S. 56) Sie geht auf einen besonderen RdF-Erlass zurück, der in den Kommentar von Rösch-Kurandt*

nicht aufgenommen worden ist, aber in Baden-Württemberg bei der Bodenschatzung allgemein angewendet wird. Die Kennzeichnung der Wasserstufen der oben bezeichneten Musterstücke mit 3– erfolgt vorbehaltlich des Vorhandenseins einer entsprechenden gültigen Vorschrift."

Die Wasserstufe 3– bestätigt sich auch im Pflanzenbestand. Während das Wiesenlabkraut mäßig frische Standorte anzeigt, also den Ökologischen Feuchtegrad 5, steht die Schafgarbe für eher mäßig trockene Standorte, die durch den ökologischen Feuchtegrad 4 repräsentiert werden. Bei gegebener negativer klimatischer Wasserbilanz von -57 mm für den Zeitraum Mai bis September kann also im Mittel der Jahre im Sommer bereits Trockenstress für den extensiv geführten Grünlandbestand auftreten. Der Standort neigt im Sommer also zur Trockenheit, was sich im Pflanzenbestand zeigt.

Der Einfluss des Tongehaltes und der Höhenlage auf den Humusgehalt des Bodens ist signifikant. Stattdessen ist der Einfluss der Bewirtschaftung auf den Humusgehalt gering, wenn nicht sogar zu vernachlässigen. Dies ist allgemein zu wenig bekannt, aber zu beachten.

Auf die Farbe von Tonböden haben hohe Humusgehalte kaum einen Einfluss, während bereits geringe Humusgehalte Sandböden deutlich dunkler färben. Bei der Ansprache der Bodenart führen hohe Humusgehalte in Tonböden zur Unterschätzung des Tongehaltes, da sich der Boden lehmiger und weniger tonig in der Fingerprobe zeigt. So auch im vorliegenden Fall mit der Beschreibung der Bodenart „L,kr-t3" (kräftiger bis toniger Lehm) für den Oberboden bei dem Musterstück in Nehren.

Der Begriff „roh" (r3) wird bei der Beschreibung des Musterstücks für den dritten Horizont gebraucht. Typischerweise werden damit Horizonte des Untergrunds gekennzeichnet, die mehr oder weniger verwittert (und insofern noch „roh") sind. Bei der feldbodenkundlichen Ansprache des Profils zeigt der Untergrund noch das geogene Schichtgefüge. Entsprechend hoch ist die Packungsdichte (Pd 4), die anzeigt, dass der Horizont nicht durchwurzelbar ist.

Historische Entwicklung der Landwirtschaft anhand der Gemeindebeschreibung

Das Musterstück T II a 3– 51/50 (MSt 2886.51) in der Gemarkung Nehren ist das einzige Musterstück der Exkursion, das durch den Schätzungsbeirat ursprünglich als Grünlandmusterstück bewertet wurde. Es liegt in einem Streuobstgürtel und wird als Streuobstwiese genutzt. Topografisch liegt es am Hang zwischen dem Wiesbach und einer Hochfläche. Der Eigentümer bewirtschaftet die Fläche selbst.

Die Gemarkung liegt auf einem Höhenrücken zwischen dem Steinlachtal und der Schwäbisch Alb. Die Steinlach liegt westlich der Ortschaft und die Schwäbische Alb östlich. Die Landwirtschaftliche Nutzung war bis in die 1950er Jahre vor allem durch die Bodenverhältnisse geprägt. In einem Teil der Gemarkung, im Bereich nördlich und östlich des Musterstücks, gibt es ein kleines Ölschiefervorkommen (Gewann Höhnisch). Dieses wurde gegen Ende des 2. Weltkriegs durch Zwangsarbeiter ausgebeutet. Die Hochfläche oberhalb des Musterstücks wurde schon immer ackerbaulich genutzt und die Flächen des Ölschieferwerkes rekultiviert.

Die Bodenarten des Klassenzeichens auf der Gemarkung Nehren wechseln von leicht sandigem Lehm sL bis zum Ton T. Die häufigsten Bodenklassen sind L 4 V und LT 4 V. Das Klima wurde in der Gemeindebeschreibung 1950 mit 8 °C Jahrestemperatur und 760 mm Jahresniederschlagsmenge angegeben. Nehren liegt tendenziell eher in einer trockeneren Teillandschaft zwischen Neckar (Westen), Schönbuch (Norden) und Alb (Osten und Süden).

Wie Ofterdingen wurde Nehren schon nach dem 2. Weltkrieg eher rasch zu einem Arbeiterdorf. Diese Dynamik hatte sich schon in den frühen 1800er Jahren abgezeichnet. Es gab damals einen enormen Bevölkerungsanstieg von 700 Einwohner auf über 1000 Einwohner. Eine Selbstversorgung des Ortes mit Nahrungsmitteln war nicht mehr möglich. So mussten viele einem Kleingewerbe nachgehen und die Armut stieg vorerst an. Der Strukturwandel wurde dann ab 1950 durch die neuen Industriebetriebe in Nehren selbst sowie durch

Betriebe im Umland begünstigt. Die verbliebenen landwirtschaftlichen Betriebe mussten keine Fremdarbeitskräfte einstellen, sondern arbeiteten nur mit Familienangehörigen. Einige Landwirte gingen einem Nebengewerbe, z. B. im Handwerk nach, um finanziell über die Runden zu kommen. Im Jahr 1900 hatte der Ort schon ca. 1300 Einwohner und 1949 ca. 1600 Einwohner.

1950, als die Gemeindebeschreibung verfasst wurde, gab es insgesamt 331 landwirtschaftliche Betriebe in Nehren. Jeweils 1/3 davon mit Eigentum zwischen 0–0,5 ha, 0,5–2 ha und 2–5 ha. Dies verdeutlicht die extrem kleinbäuerliche Struktur. Bei allen Betrieben war Zupachtung nötig, entweder von Verwandten oder weichenden Landwirten, die altersbedingt ihre Flächen nicht mehr selbst bewirtschafteten. Obwohl ein recht intensiver Ackerbau betrieben wurde, erfolgte bei 80% der Ackerfrüchte die Mahd mit der Hand. Die Wiesen wurden nur im Frühjahr geeggt und der Stallmist dabei eingearbeitet. Laut Gemeindebeschreibung gab es 271 Milchkühe, von denen 239 auch als Zugtiere gebraucht wurden. Dementsprechend litt die Milchleistung. Es gab jeweils 10 Betriebe, die in kleinem Umfang Kühe bzw. Schweine züchteten. Der damalige Bodenschätzer bemängelte den Zustand der Ställe und Hofstellen. Sowohl die Ställe als auch die Dunglegen und Güllegruben seien viel zu klein. Ein Teil der Gemarkung war damals flurbereinigt. Angemahnt wurde aber auch hier eine weitere Flurbereinigung der restlichen zersplitterten Gemarkung.

Obstanbau, v. a. zur Branntweinherstellung hat in Nehren schon eine gewisse Tradition. Die Lage, wo sich das MSt befindet, nämlich am nordwestlichen Ortsrand gegenüber dem Friedhof, ist jedoch nicht die historische Obstanbaulage in Nehren. Diese liegt im Steinlachtal und an den Hängen der Schwäbischen Alb im Südosten der Gemarkung. Schon 1867 hatte Nehren im Vergleich zu anderen Ortschaften im Raum Tübingen einen hohen Anteil an Obstbäumen im Außenbereich zu verzeichnen; 6% der unbewaldeten Flächen war von Obstbaumwiesen geprägt. Den Einwohnern von Nehren standen somit ca. 3,5 Ar Obstbaumwiesen je Person zur Verfügung; in anderen Ortschaften waren es nur 1 Ar. Beim Kernobst dominierten Mostobstsorten und beim Steinobst Zwetschgen und Kirschen. Allerdings gab es 1950 nur noch eine Brennerei im Ort. Heutzutage lässt man im Lohn brennen.

Aktuelle landwirtschaftliche Nutzung

Die Streuobstwiese, auf der sich das Musterstück befindet, wird ausschließlich für den privaten Verbrauch genutzt. Das Mähgut verbleibt auf der Fläche und das Streuobst selbst wird privat verwertet. Die Standortbewirtschaftung ist extensiv und es erfolgt keine Düngung.

3.3 Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

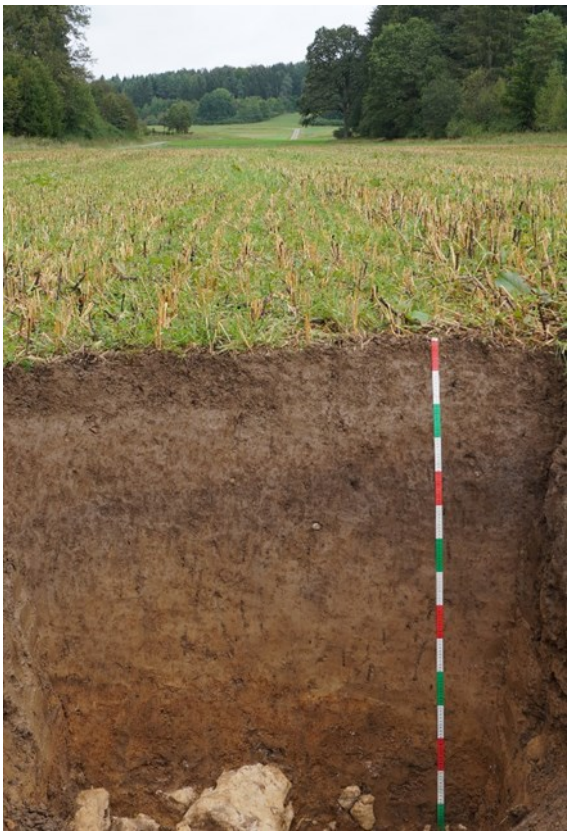


Abb. 13: Profilansicht Bernloch

Tab. 19 Standortbeschreibung Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

Substrat bzw. Bodenausgangsgesteinsfolge:	Kolluvialschluff über Schwemmschluff über tiefer Tonfließerde (Basislage) auf sehr tiefem Residualton und Kalkstein des Oberjuras (Unterer Massenkalk) [uk.U/us.U//pf.T///Ck-joMKu+cr.T]
Relief:	2% geneigter Tiefenbereich eines ca. 50 m breiten ebenen bis schwach muldenförmigen Trockentals, unterhalb in flache geschlossene Hohlform übergehend
Landnutzung:	Acker (Sept. 2024: abgeerntete Ackerbohnen)
Höhenlage:	733 m ü. NHN
N[1]:	904 mm
JMT[1]:	7,7 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

Bodenkundliche Profilbeschreibung

Das Bodenprofil (Abb. 13 und Tabellen 19 bis 25) befindet sich in einem schmalen Trockentalabschnitt auf der Mittleren Kuppenalb, 1,5 km südöstlich von Hohenstein-Bernloch. Unter einem 4,2 dm mächtigen Kolluvisol (Ap über Dj-Horizont) folgt ein dunkler fossiler Ah-Horizont, unterlagert von verbrauntem und schwach lessiviertem Bodenmaterial bis 9,7 dm u. Fl. (II Kt-Bv über II Bv-Kt). Wie beim überlagernden Kolluvisol, handelt es sich hierbei vermutlich auch um verschwemmtes, aber sehr viel älteres Bodenmaterial. Inwieweit hier ebenso anthropogener Einfluss eine Rolle spielte, konnte noch nicht geklärt werden (Horizontfolge wäre dann II Dj°Kt-Bv über II Dj°Bv-Kt).

Die Abfolge ist insgesamt schwach grusig (Feuersteine und Kalksteine) und durch zahlreiche Regenwurmgänge geprägt. In einem schmalen Saum oberhalb und unterhalb der scharf ausgeprägten Grenze zum unterlagernden III Kt-Tv-Horizont sind in wechselndem Maße hydromorphe Merkmale zu erkennen. Besonders im obersten Bereich des III Kt-Tv finden sich zahlreiche kleine Mangankonkretionen; örtlich ist nesterweise Feuersteingrus angereichert.

Unterhalb dieser vermutlich als periglaziale Fließerde entstandenen Schicht folgt ab 12,7 dm u. Fl. der in Auflösung begriffene anstehende Kalkstein mit viel Residualton in den Zwischenräumen (IV cmCv+Tv). Auf der rechten Seite ist eine Tasche ausgebildet, in der in 20,5 dm u. Fl. ein karbonathaltiger Tv-clCv-Horizont erbohrt wurde. Außerdem ist rechts über dem abtauchenden III Kt-T-Horizont noch ein geringmächtiger, nicht durchgängiger Sw-Kt-Bv-Horizont aus umgelagertem schluffreichem Lösslehm ausgebildet.

Tab. 20: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation, Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

Tiefe [cm]	Horizont	Bo-den-art	Ant.-klasse Grobb.-fraktion	Farbe	Gefüge-form	Humus [Stufe]	Durchwurze-lungsintensität	Car-bonat [Stufe]	Aus-gangs-gestein	Strati-grafie
Kolluvisol über Terra fusca-Braunerde										
0–29	Ap	Tu3	Gr2	10YR 3/3	bro,gro5 +klu,gro6	h3	Wf4,gl+Wg1	c0	uk	qh
–42	Dj	Tu3	Gr2	10YR 3/3	sub,gro4 +koh	h3	Wf3,gl+Wg1	c0	uk	qh
–53	II fAh	Tu3	Gr2+fX1	10YR 3/2	sub,gro4 +pol,gro4	h3	Wf3,gl	c0	us	q
–75	II Kt-Bv	Tu4	Gr2	10YR 4/3	sub,gro5 +koh	h2	Wf2,gl	c0	us	q
–97	II Bv-Kt	Tu4	Gr2	10YR 4/4	sub,gro5+koh	h1	-	c0	us	q
–127	III Kt-Tv	Tl	Gr3	10YR 4/6	pol,gro4 +koh	h1	-	c0	pf	qp
–150+	IV cmCv+Tv	Tt	X6+Gr3	10YR 4/6	pol,gro4 +koh	h1	-	c1	Ck+cr	joMKu +q

Deutsche Klassifikation: Kolluvisol über lessivierter Terra fusca-Braunerde
WRB: Cambic Luvic Phaeozem (Aric, Siltic, Humic)

Bodenanalysen

Bodenphysik

Tab. 21: Bodenphysikalische Eigenschaften I, Bernloch (Profil 3)

Tiefe [cm]	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-art
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0–29	Ap	1,8	1,3	1,7	25,0	27,9	10,4	31,9	63,3	4,8	Tu3
–42	Dj	1,7	1,0	1,4	24,6	28,3	10,6	32,4	63,5	4,1	Tu3
–53	II fAh	2,9	0,9	1,5	23,5	27,9	11,4	31,9	62,7	5,3	Tu3
–75	II Kt-Bv	1,9	0,9	1,4	25,4	32,8	11,4	26,2	69,6	4,2	Tu4
–97	II Bv-Kt	0,9	0,7	1,0	24,5	32,3	11,1	29,6	67,9	2,6	Tu4
–127	III Kt-Tv	3,9	2,4	2,3	8,3	11,9	7,0	64,2	27,3	8,5	Tl
–150+	IV cmCv+Tv	1,1	0,5	0,8	5,7	8,0	7,9	76,2	21,5	2,3	Tt

Tab. 22: Bodenphysikalische Eigenschaften II, Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0–29	Ap	1,44	45,8	7,8	38,0	8,0	30,0
–42	Dj	1,50	43,3	6,7	36,6	9,6	27,0
–53	II fAh	1,42	46,4	10,8	35,6	8,7	26,9
–75	II Kt-Bv	1,49	43,6	7,5	36,1	11,7	24,4
–97	II Bv-Kt	1,50	43,3	6,7	36,6	9,7	26,9
–127	III Kt-Tv	1,41	46,7	3,5	-	-	-
–150+	IV cmCv+Tv	-	-	-	-	-	-

Bodenchemie

Tab. 23: Bodenchemische Eigenschaften I, Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0–29	Ap	5,2	5,7	0	19,6	1,8	10,9	26,2	133
–42	Dj	6,1	5,9	0	9,8	0,9	10,9	3,4	25
–53	II fAh	5,5	5,9	0	11,7	1,0	11,7	2,7	25
–75	II Kt-Bv	5,7	5,9	0	6,1	0,6	10,2	4,3	25
–97	II Bv-Kt	5,8	6,0	0	4,3	<0,5	-	3,4	33
–127	III Kt-Tv	6,2	6,3	0	3,3	0,5	6,6	3,2	50
–150+	IV cmCv+Tv	7,0	7,0	0,3	4,3	0,6	7,2	8,7	50

Tab. 24: Bodenchemische Eigenschaften II, Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{eff} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	eff. austauschbare Kationen [$mmol_c$ kg^{-1}]							
				Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–29	Ap	152,8	100	0,3	4,5	137,2	10,4	<0,02	<0,01	0,5	<0,24
–42	Dj	141,3	100	0,3	1,7	131,1	8,1	<0,02	<0,01	0,1	<0,24
–53	II fAh	119,9	100	0,6	1,5	109,7	8,0	<0,02	<0,01	0,1	<0,24
–75	II Kt-Bv	116,2	100	0,6	1,3	106,9	7,4	<0,02	<0,01	0,1	<0,24
–97	II Bv-Kt	132,2	100	0,6	1,7	121,8	8,1	<0,02	<0,01	0,1	<0,24
–127	III Kt-Tv	264,7	100	0,5	2,9	253,5	7,8	<0,02	<0,01	<0,01	<0,24
–150+	IV cmCv+Tv	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 25: Bodenchemische Eigenschaften III, Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{pot} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	pot. austauschbare Kationen [$mmol_c$ kg^{-1}]			
				Na	K	Ca	Mg
–29	Ap	192,5	74,3	<1,0	3,5	130,3	9,3
–42	Dj	173,0	80,3	<1,0	0,8	130,4	7,7
–53	II fAh	183,8	74,9	<1,0	0,7	129,6	7,3
–75	II Kt-Bv	132,8	81,6	<1,0	0,6	101,8	6,0
–97	II Bv-Kt	145,3	85,7	<1,0	0,9	116,7	6,9
–127	III Kt-Tv	282,8	83,9	<1,0	1,5	228,3	7,4
–150+	IV cmCv+Tv	320,6	97,8	<1,0	1,4	307,8	4,4

Musterstückbogen der Bodenschätzung

Die nachfolgenden Tabellen 26 und 27 sowie die Abbildung 14 stellen für das Profil 3 als Musterstück der Bodenschätzung die bestandskräftigen Daten dar. Das Profil wurde fast genau zwei Jahre nach Verabschiedung des ursprünglichen Bodenschätzungsgesetzes (25.10.1934) durch den Reichsschätzungsbeirat bewertet.

Die Abbildung 15 berücksichtigt wiederum moderne feldbodenkundliche Aspekte bei der Profilansprache nach Bodenschätzung.

Tab. 26: Kopfdaten der Bodenschätzung, Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

besichtigt am **28.10.1936**				Beschreibung des Musterstückes für Ackerland Nr. **2889.01**					
1	OFD **Karlsruhe**			2	Finanzamt **Bad Urach**				
3	Gemeinde **Hohenstein**			4	Gemarkung **Bernloch**		5	Flur	6	Flurstück (e) **231**
7	Höhe NN **730** m	8	Jahreswärme **6,4** °C	9	Jahresniederschlag **840** mm					
10	Größe **900** m²	11	Geologische Entstehung **Alblehm u. Weißjura delta (dickbankige Quaderkalke)**							
12	Bodenbeschreibung **h2-h3 L,fs2-kr 2,0** **(h2) L,fs2-kr 2,0** **(r2) L,kr 2,0-3,0** **r3 L,t3**			13	Klasse: Bodenart **L** Zustandsstufe **3** Entstehung **DV**					
14	Bodenzahl **69**	15	Besonderheiten / Abrechnung in v.H.	16	Ab- und Zurechnungen für allgemeines Klima in v.H. **-22**		17	Ackerzahl **54**		
18	Bemerkungen:									

Tab. 27: Analysedaten der Bodenschätzung Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

		Korngrößengruppen (in mm) nach KOPECKY in % vom Feinboden					Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Abschlämmbare Teile <0,01		Staubsand 0,01 - 0,05	Feinsand 0,05 - 0,1	Grobsand 0,1 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KOPECKY
		Analyse *	berechnet	berechnet	berechnet	berechnet	Analyse		
1	-2,0	42,8		46,0	6,8	4,4			L
2	2,0-4,0	42,8		44,0	8,0	5,6	6,0		L
3	4,0-7,0	43,0		47,8	4,8	4,4	1,0		L
4									
5									
6									

		Korngrößengruppen (in mm) nach KÖHN in % vom Feinboden							Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Ton <0,002	fU 0,002 - 0,0063	mU 0,0063 -0,02	gU 0,02 - 0,063	fS 0,063 - 0,2	mS 0,2 - 0,63	gS 0,63 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KÖHN
1	-2,5										
2	2,5-5,0										
3	5,0+										
4											
5											
6											

	Tiefe unter Flur [dm]	pH (KCl)	Carbonat %	C org. %	Humus %	N_t %	C/N - Verhältnis	KAK mmol/z/100g	Basensättigung %	K_2O mg/100g	P_2O_5 mg/100g
1	-2,0	6,5	0,00								
2	2,0-4,0	6,9	0,36								
3	4,0-7,0	6,4	0,17								
4											
5											
6											

Abb. 14: Lageplan Rahmenkarte und Flurkarte; Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)
Meßtischblatt 7622 Rechtswert 3526200 Hochwert 5357090 (Gauß-Krüger-Koordinaten)

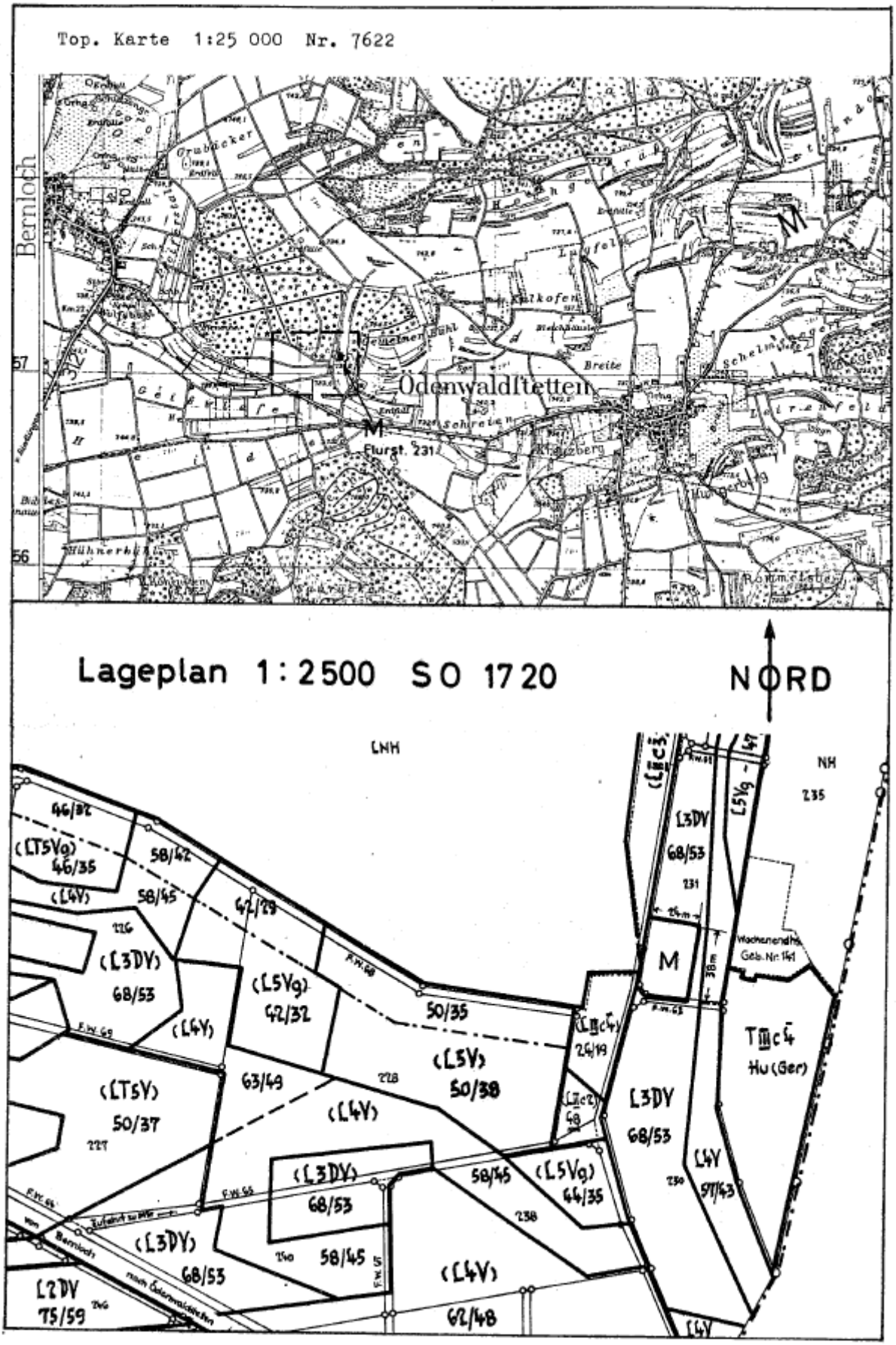
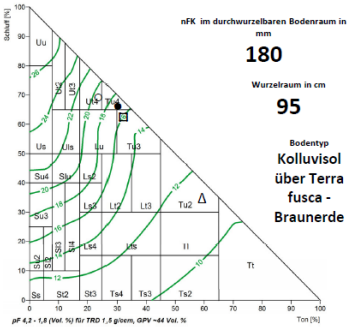


Abb. 15: Profilbeschreibung zur Bodenschätzung unter Berücksichtigung moderner feldbodenkundlicher Aspekte für das Profil 3 (Bernloch, MSt 2889.01)

Standort **Bernloch** | Bewertung **L 3 LöV 74/58** | **18.09.2024**

Kli -22 (Bewertung alt: L 3 DV 69/54, Kli -22)

Lfd.Nr./VSt-Nr./Profil-Nr. MSt 2899.07 (Profil 3)



Symbol	Lage Substrat	Tiefe in cm	Horizont	Humus h	Kalk ka	Farbe/reduktiv gb	Eisen/oxydativ ei	Feuchte/ Sonstige	Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Feinboden KA 5/6	Feinboden BodSchätz	Tiefe in cm
●	Kolluvium	10	Ap	h2-h3						gru1		Tu4	L,fs2-kr	10
		20												20
		30												30
●		40	Dj	h2						gru1		Tu4	L,fs2-kr	40
●	älteres Kolluvium oder verschwemmtes Material	50	IIfAh	h3					st1	gru1		Tu4	L,fs2-kr	50
○		60												60
		70	IIKt-Bv	h1						gru1		Ut4	L,fs3-fs2	70
□		80												80
		90	IIBv-Kt	h1		gb1-2	ei1			gru1		Tu3	L,kr	90
		100												100
Δ	LB	110	IIIKt-Tv				(ei2-3)		einz(St,gr)	gru2-3		Tu2	L,t4	110
		120												120

Bodenskelett Vol.% Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Skelett Summe	Faktor (Boden - Skelett)
	2		2	0,98
1	2		3	0,97
	2		2	0,98
	2		2	0,98
	2		1	0,99
10	10		20	0,8

Profil Tiefe in cm	Horizont	Packung Pd	Hydro-morphie rezent/relikt.	Feinboden nFK 4,2-2,5 mm	Feinboden nFK 4,2-1,8 mm	Packungsdichte Pd, Wurzeln Faktor	Nässe Faktor	Faktor (Boden - Skelett)	Mächtigkeit Horizont Faktor	pF 4,2 bis 2,5 nFK Horizont	pF 4,2 bis 1,8 nFK Horizont
10	Ap	3		14	18			0,98	2,5	34	44
20		3-4									
30											
40	Dj	3		14	18			0,97	1,5	20	26
50	IIfAh	3		14	18			0,98	1,5	21	26
60											
70	IIKt-Bv	3		17	20			0,98	2	33	39
80											
90	IIBv-Kt	3		15	16			0,99	2	30	32
100											
110	IIIKt-Tv			10	12			0,8		10	12
120										148	180

Hinweise zum Profil aus Sicht der Bodenschätzung

Der Kolluvisol weist aufgrund des deutlichen Einflusses durch den Lösslehm ein hohes Ertragspotential aus, das jedoch durch die klimatischen Bedingungen limitiert wird. Bei der feldbodenkundlichen Ansprache bleibt unklar, ob es sich unter dem jüngeren Kolluvium um ein älteres Kolluvium oder um (frühholozän) verschwemmtes Material handelt. Auf jeden Fall liegt ein begrabener fossiler Horizont vor. Die darunterliegenden Horizonte zeigen eine Tondurchschlämmung bzw. Lessivierung an. Es ist durchaus üblich, dass ältere Kolluvien nicht nur entsprechende, wenn auch geringe Gehalte an organischer Substanz, sondern auch Tontapeten und damit Lessivierung aufweisen.

Der Einfluss des Lösslehms wurde bei der Erstschätzung durch den Schätzungsbeirat in 1936 offenbar nicht erkannt, stattdessen wurde ein diluvialer Einfluss angenommen. Grundsätzlich werden der Entstehung Diluvium D bei der Bodenschätzung tertiäre und pleistozäne Lockersedimente, mit Ausnahme lössbürtiger Substrate, zugeordnet. Eine weitere Ausnahme bilden die Lockersedimente des quartären Vulkanismus, etwa der Bims der Laacher-See-Tephra, der ebenfalls der Entstehung D zugewiesen wird.

Die Basislage (LB) stellt eine deutliche Substratgrenze dar und auch die Grenze des voll durchwurzelbaren Bodenraums. Vereinzelt gibt es Bereiche, wo die Wurzeln auch etwas tiefer gehen können. Deshalb wird bei der Ermittlung der nFK mittels der Isolinien für die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser für die Basislage noch mit rund einem Dezimeter die entsprechende nFK zugeschlagen.

Mit einer nFK von 180 mm für pF 4,2 bis 1,8 bzw. 148 mm für pF 4,2 bis 2,5 wird von allen Exkursionsprofilen die höchste nFK im durchwurzelbaren Bodenraum erreicht.

Die tonreichere Basislage wirkt stauend. Entsprechend finden sich Merkmale von Hydromorphie. Wie für die Erstschätzung durchaus üblich werden oxidative und reduktive Nässemerkmale nicht durch die

Begriffe „eisenschüssig“ bzw. „gebleicht“ erfasst, sondern durch die Bezeichnung „roh“. Das Substrat unterhalb des fossilen Oberbodens wurde im unteren Bereich als „stellenweise schwach roh (r2)“ angesprochen, während die Basislage als „roh (r3)“ bezeichnet wird. Es handelt sich um eine Pseudovergleyung (Staunässe) und keine Vergleyung (Grundnässe).

Neben „roh (r3)“ für Hydromorphie kann aber auch davon ausgegangen werden, dass dadurch der Untergrund gekennzeichnet werden soll. Im vorliegenden Fall handelt es sich um das Terra fusca-Material der Basislage.

Bei der feldbodenkundlichen Ansprache des aufgegrabenen Bodenprofils im September 2024 ergibt sich die Bodenklasse L 3 LöV mit den Wertzahlen 74/58.

Historische Entwicklung der Landwirtschaft anhand der Gemeindebeschreibung

Die Gemeindebeschreibung der Bodenschätzung des Jahres 1950 führt aus, dass sich der L 3 DV-Boden von Süden in einem Band nach Norden durch das Trockental erstreckt. Die Gemarkung selbst ist sehr wellig und von starken Bodenwechseln geprägt. Am meisten kommen Lehmböden vor. Diese sind in den Mulden und Trockentälern feinsandig. Die Krume ist entkalkt. Auf den Kuppen dominieren schwere und im Untergrund tonige (L 5 V, LT 5 V) sowie sehr flachgründige Böden. Das Klima mit Niederschlägen im Mittel um 840 mm und einer Mitteltemperatur von 6,4 °C entspricht den durchschnittlichen Werten der Mittleren Alb. Die Mulden sind eher frost- bzw. spätfrostgefährdet und die Kuppen neigen zur Austrocknung.

Beim Kulturartenverhältnis gab es schon 1950 interessante Entwicklungen. Von der gesamten Gemarkungsfläche waren 25% bewaldet. Bei Acker- und Grünlandschätzungen überwog die Ackerschätzung mit 66%. Auf den Acker- und den Ackergrünlandstandorten wurde schon damals viel Ackerfutterbau betrieben. Dies ist auf einen Mangel an natürlichen Grünlandstandorten zurückzuführen.

In Bernloch waren 1950 fast alle Einwohner in der Landwirtschaft tätig (1949 insgesamt 583 Einwohner). Gerade einmal 50 Personen pendelten in die Industriegebiete von Reutlingen. 1949 wurden 90 landwirtschaftliche Betriebe mit über 2 ha Nutzfläche gezählt. Geprägt war Bernloch hauptsächlich von kleinbäuerlichen Betrieben, für die gepachtete Flächen, überwiegend von der Gemeinde, wichtig waren. Auch in Bernloch hatten die kleinbäuerlichen Betriebe oft einen Nebenerwerb, um über die Runden zu kommen. Die winterliche Waldarbeit für die Gemeinde oder den Staat bot hierzu gute Gelegenheiten.

Als negativ gesehen wurde damals schon die sehr kleinteilige Parzellierung, die historisch bedingt ist. Die Lehen des Klosters Weißenau, dem Bernloch früher angehörte, wurden immer weiter geteilt. Dies führte zu kleinen Flurstücken. Trotzdem wurde Bernloch ein hoher Grad an Mechanisierung durch den Bodenschätzer bescheinigt. Dies führte er auf die „Aufgeschlossenheit und Betriebsamkeit der örtlichen Landwirte“ zurück. Es wurde hauptsächlich Dinkel, Hafer, Sommergerste sowie Ackerfutter angebaut. In Bernloch war schon zur damaligen Zeit die Luzerne als Ackerfutterpflanze stark verbreitet. Aussaat, Ernte und Drusch erfolgten in Bernloch schon größtenteils mechanisch. Es gab eine örtliche Druschmaschine, die von den allermeisten Betrieben genutzt wurde.

An Vieh wurde vor allem Milchvieh gehalten. Die meisten Betriebe hatten ihre Tiere in reiner Stallhaltung. Es wird jedoch ein größerer Betrieb mit Weide-Wirtschaft erwähnt, der für damalige Verhältnisse eine überdurchschnittliche Milchleistung erzielte und noch Pferdezucht betrieb. Die Milchleistung wurde dennoch bei allen Betrieben gelobt, obwohl die meisten Kühe auch als Gespanntiere dienten. Auch die Zuchtstierhaltung (Farrenhaltung) der Gemeinde war vorbildlich und war von guten Zuchtstieren geprägt.

Eine Flurbereinigung wurde durch den damaligen Bodenschätzer vorgeschlagen, um die kleinteilige Parzellierung aufzuheben. Schwierigkeiten wurden in den starken Bodenwechseln gesehen, die eine gute Zusammenarbeit und auch Einsicht der beteiligten Landwirte erforderten. Die Flurbereinigung und die vorgeschlagenen

Grenzangleichungen mit dem benachbarten Meidelstetten fanden zwischen 1950 und 1963 statt.

Aktuelle landwirtschaftliche Nutzung

Das Flurstück, auf dem sich das Musterstück befindet, liegt in dem oben erwähnten Band des L 3 DV-Bodens. Es gehört zu einem Bioland-Betrieb, der insgesamt 210 ha in den Gemeinden Hohenstein und Hettingen bewirtschaftet. Davon sind 90 ha Grünland und 120 ha Ackerland.

Im Anbaujahr 2023/24 waren Ackerbohnen auf dem Ackerschlag eingesät. Sonst sieht die Fruchtfolge den Anbau von Kleegras, Weizen, Triticale und Erbsen vor. Da das Flurstück in einem Nitrat-Problemgebiet liegt, musste der Betrieb über den Winter 2024/25 die Fläche brachliegen lassen. Sommerhafer ist in 2025 vorgesehen. Ob nach der Saat gepflügt wird oder nicht, ist auf der Fläche sehr unterschiedlich. Alle zwei Jahre wird immer gepflügt, damit die Verbreitung des Ampfers eingedämmt wird. Durch die ökologische Bewirtschaftung erfolgt die Unkrautbekämpfung rein mechanisch. Der Landwirt berichtet, dass er auf der Fläche keine Probleme mit der Befahrbarkeit hat, auch nicht im Frühjahr.

Trotz teils extrem wechselhaften Bodenverhältnissen auf seinen bewirtschafteten Flächen hat der Betrieb Getreideerträge zwischen 40–60 dt/ha. Diese Erträge spiegeln auch allgemein die durchschnittlichen Erträge des Ökologischen Landbaus wider. Die Fruchtfolge ist vielfältig und auf Ackerfutterbau ausgerichtet.

Das angebaute Getreide wird vollständig an die eigenen 120 Milchkühe inkl. Nachzucht verfüttert. Gedüngt wird mit hofeigener Gülle und Festmist.

3.4 Profil 4 (Ödenwaldstetten, MSt 2889.07)



Abb. 16: Profilansicht Ödenwaldstetten 1

Tab. 28: Standortbeschreibung Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)

Substrat bzw. Bodenausgangsgesteinsfolge:	Residualton über angewittertem Dolomitstein des Oberjuras (Unterer Massenkalk) mit Rückstandston und Zersatzsand in Zwischenräumen [cr.T/Cd-joMKu+cr+cc.S]
Relief:	2% nach Süden geneigter Randbereich einer Sattellage zwischen zwei Massenkalkkuppen
Landnutzung:	Acker, Sept. 2024: Kleegrasmischung
Höhenlage:	742 m ü. NHN
N[1]:	910 mm
JMT[1]:	7,7 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

Bodenkundliche Profilbeschreibung

Das Bodenprofil (Abb. 16 und Tabellen 28 bis 33) befindet sich im Randbereich einer Einsattelung zwischen zwei Massenkalkkuppen ca. 900 m westnordwestlich von Hohenstein-Ödenwaldstetten. Der Untere Massenkalk des Oberjuras ist hier dolomitisch ausgebildet. In kleinräumigem Wechsel treten auch bereits wieder recalcitisierte Bereiche auf. Die Gesteinsverwitterung tritt im Bereich der Profilgrube sehr unterschiedlich in Erscheinung.

Im dargestellten Profilabschnitt wechselt in den Zwischenräumen des Dolomitsteinzersatzes (cmCv, unterhalb 3,1 dm) tonig-sandiges mit tonigem Feinmaterial. Darüber folgt ein 1,0 bis 1,3 dm mächtiger cCv-Tv-Horizont aus rötlichbraunem Residualton. An anderen Stellen geht der Dolomit an der Oberfläche aber auch in einen steinig-sandigen Zerfallsbereich über.

Der bis 2,2 dm u. Fl. reichende Ap-Horizont weist einen deutlich höheren Schluffgehalt als der cCv-Tv-Horizont auf und ist evtl. als ein Rest der Hauptlage zu deuten. Im Gelände wurde mittels HCl-Test in den Bodenhorizonten nur ein sehr geringer Restcarbonatgehalt festgestellt, und das Profil als Normterra fusca angesprochen (Ap/Tv/ cmCv).

Erklären lässt sich der Unterschied zu den hohen analysierten Carbonatwerten mit der trägen Reaktion des Dolomitsands beim HCl-Test sowie evtl. durch das versehentliche Zerkleinern von mürbem Dolomitgrus bei der Probenaufbereitung im Labor.

Tab. 29: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation, Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)

Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Ant.-klasse Grobb.-fraktion	Farbe	Gefügeform	Humus [Stufe]	Durchwurzelungsintensität	Carbonat [Stufe]	Ausgangsgestein	Stratigrafie
Rendzina-Terra fusca										
0–22	Ap	Lt3	Gr3+fX2	10YR 3/3	bro,gro6 +kru,gro4	h4	Wf4,gl+Wg1	c4	cr	q
–31	cCv-Tv	Tt	Gr2+fX1	7.5YR 4/4	pol,gro4	h3	Wf3,lok	c4	cr	q
–70+	cmCv	Ts3 (St3–Ts2)	X6+Gr3	-	-	-	-	c6	Cd+cr	joMKu+q
Deutsche Klassifikation: mittel tief entwickelte Rendzina-Terra fusca										
WRB: Calcaric Leptic Phaeozem (Loamic, Aric, Humic)										

Bodenanalysen

Bodenphysik

Tab. 30: Bodenphysikalische Eigenschaften I, Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)

Tiefe [cm]	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Bodenart
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0–22	Ap	1,1	6,8	13,4	14,9	14,8	6,7	42,2	36,4	21,3	Lt3
–31	cCv-Tv	0,2	2,7	5,9	8,3	10,5	4,6	67,8	23,4	8,9	Tt
–70+	cmCv	2,1	23,3	19,3	6,3	4,9	2,1	42,1	13,3	44,6	Ts3

Tab. 31: Bodenphysikalische Eigenschaften II, Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0–22	Ap	1,29	51,2	11,2	40,0	-	-
–31	cCv-Tv	1,35	49,0	14,6	34,4	-	-
–70+	cmCv	-	-	-	-	-	-

Bodenchemie

Tab. 32: Bodenchemische Eigenschaften I, Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0–22	Ap	7,3	7,2	24,2	28,3	2,5	11,3	91,6	365
–31	cCv-Tv	7,4	7,2	10,5	12,7	1,1	11,6	0	141
–70+	cmCv	7,5	7,3	52,7	9,6	0,7	13,7	-	-

Tab. 33: Bodenchemische Eigenschaften II, Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{pot} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	pot. austauschbare Kationen [$mmol_c$ kg^{-1}]			
				Na	K	Ca	Mg
0–22	Ap	275,1	100	<1,0	9,8	214,7	50,6
–31	cCv-Tv	308,6	100	<1,0	4,5	238,2	65,9
–70+	cmCv	207,0	100	<1,0	2,7	158,8	45,5

Musterstückbogen der Bodenschätzung

In den Tabellen 34 und 35 sowie der Abbildung 17 sind für das Profil 4 als Musterstück der Bodenschätzung die bestandskräftigen Daten dargestellt. Abbildung 18 berücksichtigt moderne feldbodenkundliche Aspekte zur Ansprache des Profils nach Bodenschätzung.

Tab. 34: Kopfdaten der Bodenschätzung, Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)

besichtigt am **24.09.1974**

B e s c h r e i b u n g des Musterstückes für Ackerland Nr. **2889.07**

1	OFD	**Karlsruhe**		2	Finanzamt	**Bad Urach**					
3	Gemeinde	**Hohenstein**		4	Gemarkung	**Ödenwaldstetten**		5	Flur	6	Flurstück (e) **231**
7	Höhe NN	**742** m	8	Jahreswärme	**6,5** °C	9	Jahresniederschlag	**800** mm			
10	Größe	**500** m²	11	Geologische Entstehung	**Weißjura gamma, delta**						
12	Bodenbeschreibung	**h2-h3 ka3 L,kr,gru3,st1 1,0** **ka3 L,kr,gru3,st5 0,5-1,0** **KaStV,pl3**		13	Klasse:	Bodenart **L**	Zustandsstufe **5**	Entstehung **V**			
14	Bodenzahl	15	Besonderheiten / Abrechnung in v.H.	16	Ab- und Zurechnungen für allgemeines Klima in v.H.	17	Ackerzahl				
47				**-20**		**38**					
18	Bemerkungen:	**Wechselland AGr**									

Tab. 35: Analysedaten der Bodenschätzung Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)

		Korngrößengruppen (in mm) nach KOPECKY in % vom Feinboden					Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Abschlämmbare Teile <0,01		Staubsand 0,01 - 0,05	Feinsand 0,05 - 0,1	Grobsand 0,1 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KOPECKY
		Analyse *	berechnet	berechnet	berechnet	berechnet	Analyse		
1									
2									
3									
4									
5									
6									

		Korngrößengruppen (in mm) nach KÖHN in % vom Feinboden							Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Ton <0,002	fU 0,002 - 0,0063	mU 0,0063 -0,02	gU 0,02 - 0,063	fS 0,063 - 0,2	mS 0,2 - 0,63	gS 0,63 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KÖHN
1		29,0									
2		76,0									
3		35,0									
4											
5											
6											

	Tiefe unter Flur [dm]	pH (KCl)	Carbonat %	C org. %	Humus %	N_t %	C/N - Verhältnis	KAK mmol/z/100g	Basensättigung %	K_2O mg/100g	P_2O_5 mg/100g
1		7,3	18,20	1,97	3,94						
2		7,3	14,30	1,62	3,24						
3		7,4	74,80	0,79	1,58						
4											
5											
6											

Abb. 17: Lageplan Rahmenkarte und Flurkarte; Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)
Messtischblatt 7622 Rechtswert 3527780 Hochwert 5356220 (Gauß-Krüger-Koordinaten)

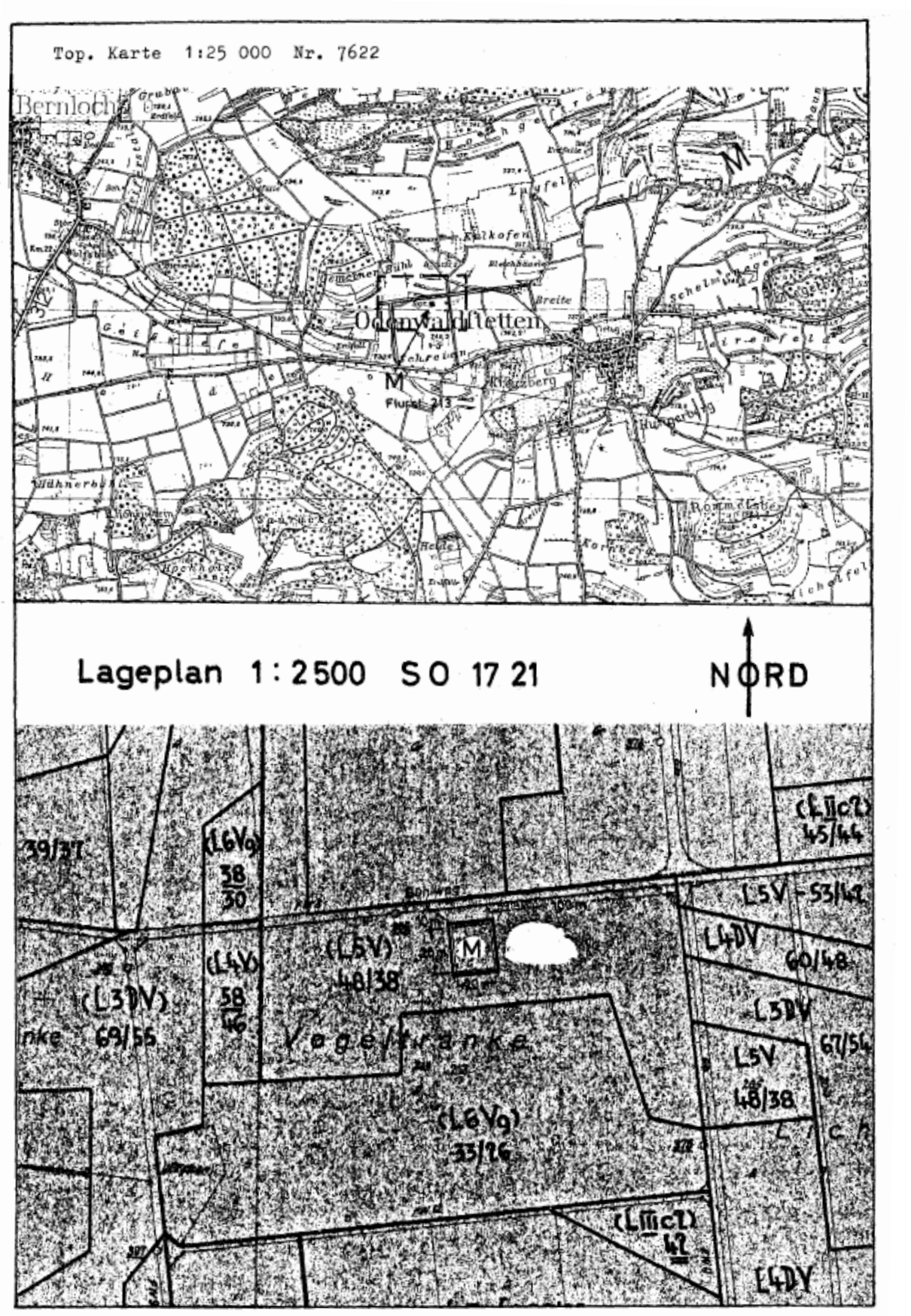
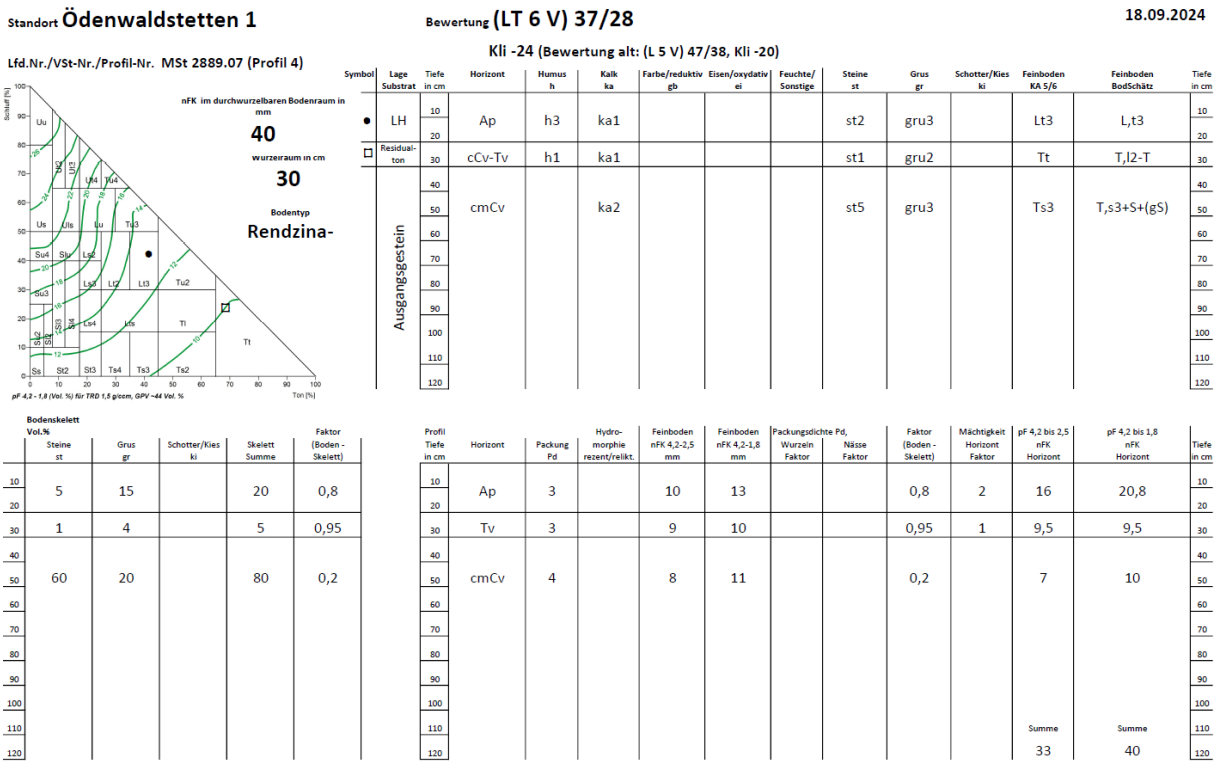


Abb. 18: Profilbeschreibung zur Bodenschätzung unter Berücksichtigung moderner feldbodenkundlicher Aspekte für das Profil 4 (Ödenwaldstetten 1, MSt 2889.07)



Standort **Ödenwaldstetten 1** Bewertung **(LT 6 V) 37/28** 18.09.2024

Lfd.Nr./VSt-Nr./Profil-Nr. MSt 2889.07 (Profil 4)

nFK im durchwurzelbaren Bodenraum in mm: **40**

wurzelraum in cm: **30**

Bodentyp: **Rendzina-**

Kli -24 (Bewertung alt: (L 5 V) 47/38, Kli -20)

Symbol	Lage Substrat	Tiefe in cm	Horizont	Humus h	Kalk ka	Farbe/reduktiv gb	Eisen/oxydativ ei	Feuchte/ Sonstige	Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Feinboden KA 5/6	Feinboden BodSchätz	Tiefe in cm
●	LH	10–20	Ap	h3	ka1				st2	gru3		Lt3	L,t3	10–20
□	Residual-ton	30	cCv-Tv	h1	ka1				st1	gru2		Tt	T,l2-T	30
	Ausgangsgestein	40–120	cmCv		ka2				st5	gru3		Ts3	T,s3+S+(gS)	40–120

Bodenskelett Vol.% Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Skelett Summe	Faktor (Boden - Skelett)	Profil Tiefe in cm	Horizont	Packung Pd	Hydro-morphie rezent/relikt.	Feinboden nFK 4,2-2,5 mm	Feinboden nFK 4,2-1,8 mm	Packungsdichte Pd, Wurzeln Faktor	Nässe Faktor	Faktor (Boden - Skelett)	Mächtigkeit Horizont Faktor	pF 4,2 bis 2,5 nFK Horizont	pF 4,2 bis 1,8 nFK Horizont
5	15		20	0,8	Ap	3		10	13			0,8	2	16	20,8
1	4		5	0,95	Tv	3		9	10			0,95	1	9,5	9,5
60	20		80	0,2	cmCv	4		8	11			0,2		7	10
														Summe	Summe
														33	40

Hinweise zum Profil aus Sicht der Bodenschätzung

In der Gemarkung Ödenwaldstetten existieren zwei Musterstücke der Bodenschätzung, die beide als Wechselland und zwar als Acker-Grünland (AGr) vom Schätzungsbeirat des BMF eingestuft wurden. Zum einen das Musterstück 2889.07 mit der Bewertung (L 5 V) 47/38 (Profil 4) und zum anderen das Musterstück 2889.08 mit der Bewertung (L 7 Vg) 24/20 (Profil 5).

Das Musterstück 2889.07 liegt an der westlichen Gemarkungsgrenze zu Bernloch im Gewann Vogeltränke. Das Gewann liegt im östlichen Schatten der Kuppe Gemeiner Bühl.

Ebenso wie die Gemarkungen Bernloch (Profil 3) und Eglingen (Profil 6) ist auch Ödenwaldstetten mit seinen beiden Profilen (Profil 4 und Profil 5) stark wellig geprägt. Die Bodenverhältnisse wechseln kleinräumig. Die allgemeinen Klimaverhältnisse werden mit einer mittleren Jahrestemperatur von 6,4 °C für Bernloch und 6,5 °C für Ödenwaldstetten sowie Eglingen angegeben. Die mittleren Jahresniederschläge betragen 800 mm. Die Angaben der Bodenschätzung sind typisch für die mittlere Albhochfläche. Die örtliche Landnutzung profitiert durch das unruhige Relief. Das wechselhafte und wellige Gelände schafft eine hohe Rauigkeit, die windgeschützte Lagen schafft bzw. fördert.

Das Musterstück (L 5 V) 47/38 zeigte sich im September 2024 als flachgründig. Die Durchwurzelung bzw. Durchwurzelbarkeit endet bereits in einer Tiefe von 30 cm. Der Untergrund nimmt an der Ertragsbildung praktisch nicht teil; die Packungsdichte ist mit 4 anzusprechen. Nur einzelne Taschen bzw. Bereiche sind etwas mürbe, werden aber praktisch nicht durchwurzelt, deshalb wurde bei der feldbodenkundlichen Ansprache die Zustandsstufe 6 angehalten.

Der nach den Aufzeichnungen der Bodenschätzung seinerzeit als braune Mergelrendzina angesprochene Boden weist Dolomit auf, der zur Unterschätzung des Carbonatgehaltes führen kann; siehe dazu die entsprechenden Ausführungen zum Profil bei dem Abschnitt „Bodenkundlichen Profilbeschreibung“. Bereits der Oberboden zeigt bei der Fingerprobe beachtliche Tongehalte von rund 40%. Im

Unterboden folgt der für die Terra fusca typische sehr tonreiche Tv-Horizont, der für sich allein betrachtet die Bodenart T im Klassenzeichen erhalten würde. Da zur Beurteilung des Gesamtcharakters vor allem der durchwurzelbare Bodenraum (hier ca. 30 cm) herangezogen werden muss, wurde für das aufgegrabene Profil die Bodenart LT für das Klassenzeichen gewählt. Auch der Untergrund, der sehr heterogen ist, zeigt eher tonige und sandige Partien, die eine Einstufung als Bodenart L im Klassenzeichen als problematisch erscheinen lassen.

Die ermittelte nutzbare Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum von 40 (bis 45) mm ist sehr gering und erlaubt eine Bewertung als Wechselland (LT 6 V) 37/28. Es wurde auch die Nachschätzung als Bodenklasse (L 6 V) in Betracht gezogen, was jedoch mit der Wertzahlenspanne für die Bodenzahl von 46 bis 39 zu einer Überbewertung angesichts der niedrigen nFK führt.

In unmittelbarer Nähe des Musterstückes findet sich auch die Bodenklasse (L 6 V). Die Bodenklasse (L 5 V), für die das Musterstück bestimmend ist, wird umrahmt von den Bodenklassen L 5 V, L 4 DV, L 3 DV, (L 6 Vg) und (L 4 V). Diese unterschiedlichen Schätzungsergebnisse widerspiegeln die wechselnden Boden- und Bewirtschaftungsbedingungen nicht nur in Ödenwaldstetten, sondern auf der gesamten mittleren Kuppenalb.

Historische Entwicklung der Landwirtschaft anhand der Gemeindebeschreibung

Die Gemarkung Ödenwaldstetten weist die Besonderheit einer Teilgemarkung namens Maßhalderbuch auf. Diese unterscheidet sich unter anderem in den kleinklimatischen Bedingungen von der Restgemarkung. Die Teilgemarkung liegt zwar höher, weist aber dennoch tendenziell etwas höhere Temperaturen aus. Sie ist von Westen, Norden und Osten von bewaldeten Kuppen umgeben und nach Süden offen, was offenbar die Temperaturen begünstigt.

In Ödenwaldstetten dominiert natürliches Ackerland. Beide Musterstücke sind als Wechselland Acker-Grünland (AGr) geschätzt. Bei Wechselland wird das zugehörige Klassenzeichen in Klammer gesetzt.

Durch den Mangel an natürlichen Grünlandflächen wurden in Ödenwaldstetten, wie auch in Bernloch, ortsnahe Grundstücke mit günstigen Wasserverhältnissen oder weit abseits gelegene und ertragsschwache Flächen als Grünland genutzt.

Die traditionelle Nutzung ertragsschwacher Standorte als Ackerland mag zunächst überraschen. Sicherlich sind, auch historisch gesehen, unterschiedliche Gründe dafür verantwortlich. Eine Ursache könnte darin liegen, dass der Transpirationskoeffizient von Grünland deutlich höher ausfällt als bei Ackerland. Das Verhältnis von „verbrauchtem“ Wasser zu produzierter Trockenmasse wird im deutschen Sprachraum mit dem Transpirationskoeffizienten (TK) umschrieben. Bei knappen Ressourcen und unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besitzt für die Landwirte die Ackernutzung eine relativ höhere Vorzüglichkeit als die Grünlandnutzung. Die Nutzung von Ackerfutter ist darüber hinaus geeignet, das für Wiederkäuer notwendige Raufutter zur Verfügung zu stellen. Die Fläche wird so besser verwertet als über Grünland.

Auch heutzutage fehlt es den landwirtschaftlichen Betrieben in Hohenstein nach wie vor an natürlichem Grünland.

Dies entspricht den typischen Verhältnissen der mittleren Alb. In der Teilgemarkung Maßhalderbuch herrscht allerdings natürliches Grünland vor. Das ist eine weitere Besonderheit dieser Teilgemarkung. Diese natürlichen Grünlandstandorte wurden schon früh durch den Württembergischen Warmblutzuchtverband mit einer Fohlenaufzuchtstation optimal genutzt.

Die Landwirtschaft war zur Zeit der Gemeindebeschreibung (1950) wirtschaftlich für die Bewohner die Haupteinnahmequelle. Wie in den anderen heutigen Ortsteilen von Hohenstein, nämlich Bernloch und Eglingen, gab es ein paar Handwerker, die jedoch noch eine Nebenerwerbstätigkeit in der Landwirtschaft hatten. Auch die Fohlenaufzuchtstation des Württembergischen Warmblutzuchtverbandes gab saisonbedingt vor allem für kleinere Landwirte einen Nebenerwerb.

Der größte Teil der landwirtschaftlichen Betriebe bewirtschaftete eine Fläche von 7 bis 8 ha.

In Ödenwaldstetten spielten Pachtungen für die Landwirte eine untergeordnete Rolle. Die bewirtschaftete Fläche war vorwiegend im Eigenbesitz. Zusätzlich bewirtschafteten viele Ödenwaldstetter Landwirte Flächen in den umliegenden Gemarkungen.

In Ödenwaldstetten wurde eine verbesserte Dreifelderwirtschaft praktiziert. Die Hauptkulturen waren Dinkel, Sommergerste und Hafer sowie ein hoher Anteil an Ackerfutter. Das Ackerfutter wurde im Wechsel hauptsächlich an den ertragsschwächeren Ackerstandorten angebaut.

In 1950 wurde zu 50% mit der Maschine und zu 50% noch von Hand ausgesät. Es gab insgesamt fünfzehn Sämaschinen im Ort. Auch die Bodenpflege wurde in der Gemeindebeschreibung positiv hervorgehoben. Eggen, Unkrautstriegel und Hackmaschinen wurden unter meist noch tierischer Anspannung eingesetzt. 1950 gab es bereits einen Traktor. Die Getreideernte erfolgte überwiegend mechanisiert, allerdings mit Zugtieren.

Bei der Tierhaltung überwog die Nutztierhaltung. Eine Ausnahme bildete die Teilgemarkung Maßhalderbuch, da hier die Pferdezucht im Vordergrund stand. Einige Betriebe legten ihr Augenmerk auf die Milchleistung, obwohl viele Kühe auch als Zugtiere eingesetzt wurden. Über die Höhe der Milchleistung liegen keine Angaben vor und die Landwirte wurden diesbezüglich nicht so gelobt, wie dies in der Gemeindebeschreibung für Bernloch der Fall ist.

Die Fütterung der Nutztiere erfolgte ausschließlich im Stall. Ein Weidebetrieb wird nicht erwähnt. Die Schafhaltung spielte keine Rolle. Es wurde sogar empfohlen, die als absolute Schafweiden ausgegebenen Flächen aufzuforsten. Dies verbessere den Boden und das Klima.

Eine Flurbereinigung wurde dringend empfohlen. Kritisch sah der damalige Bodenschätzer die stark wechselnden Bodenverhältnisse, wie sie in den unterschiedlichen Bodenklassen zum Ausdruck kam. Eine Flurbereinigung sei nur mit der Einsicht der Landwirte durchführbar. Er schlug vor, das Allmendegut Heide, das gleichmäßige Bodenverhältnisse aufwies, aber sehr stark klein-parzelliert war, neu aufzuteilen und zusammenzulegen. Dadurch würden die Vorteile einer Flurbereinigung für die restliche Gemarkung demonstriert.

1964 drehte Peter Nestler einen sehenswerten Dokumentarfilm über das Leben in Ödenwaldstetten, der heute unter nachfolgendem YouTube-Link https://www.youtube.com/watch?v=wj81lSMTbCM verfügbar ist. Der Film verdeutlicht den Druck, der durch den Strukturwandel und den Wirtschaftsaufschwung auf dem landwirtschaftlich geprägten Ort lastete.

Dennoch hat Ödenwaldstetten seinen landwirtschaftlichen Charakter in den letzten 50 Jahren nicht ganz verloren. Auch heute noch gibt es in Ödenwaldstetten einige Vollerwerbsbetriebe. In der Gesamtgemeinde Hohenstein gibt es mehrere Betriebe, die auf Ökologischen Landbau umgestellt haben. Einer dieser Betriebe ist Eigentümer des Flurstücks, auf dem das Musterstück 2889.07 (Profil 4) liegt. Zudem gibt es ein Bauernhausmuseum. Das Museum zeigt anhand zweier Bauernhäuser das bäuerliche Leben im 19. und frühen 20. Jahrhundert.

Aktuelle landwirtschaftliche Nutzung

Das Musterstück wird von einem Bioland-Betrieb aus Hohenstein bewirtschaftet. Die Besonderheit dieses Betriebes ist die Haltung von Wasserbüffeln zur Käsegewinnung. Die gemischte Milchviehherde besteht aus weiblichen Wasserbüffeln und Milchkühen der Rasse Braunvieh, die als robuste Rasse auch in der Schweiz weit verbreitet ist. In der eigenen Käserei werden verschiedene Käsesorten hergestellt. Insgesamt bewirtschaftet der Betrieb 100 ha.

Die angebauten Kulturen werden im eigenen Betrieb verwendet. Auf der Fläche des Musterstücks wechselt sich in der Fruchtfolge zweijähriges Kleegras mit Getreide als Dinkel, Triticale oder Hafer ab. Da der Betrieb sein Futter selbst anbaut, variiert die Ackerkultur je nach betrieblicher Situation. Insgesamt werden durchschnittlich 35 dt/ha Dinkel bzw. Hafer geerntet. Die Fütterung der Milchviehherde basiert auf dem eigenen Grünland und zwar sowohl in Form von Weidehaltung ab dem Frühjahr bis in

den späten Sommer, aber auch auf Heu während der Zeit der Stallhaltung im Herbst bzw. Winter. Der Betrieb hat dafür eine Heu-Bergehalle mit Trocknung errichtet und würde daher auch gerne mehr Dauergrünlandflächen bewirtschaften. Es zeigt sich, dass auch heutzutage in Ödenwaldstetten viele Ackerflächen durch Ackerfutterbau bewirtschaftet werden.

Viele Grenzertragsstandorte werden in Baden-Württemberg immer häufiger als Ackerland genutzt. Die agrarpolitischen Vorgaben für Ackerland sehen vor, dass maximal vier Jahre Ackerfutter (Kleegras, Luzerne, Grasmischungen) auf Ackerland angebaut werden darf. Danach ist ein Umbruch nötig und es muss der Anbau einer einjährigen Kulturart folgen, da ansonsten der Status als Ackerfläche verloren geht und eine Umwandlung in Dauergrünland erfolgt. Um in der Anbauplanung und bei der Agrarförderung der EU flexibel zu sein, verbleiben die Flächen meist unter Ackernutzung mit dem dargestellten hohen Anteil an Ackerfutter.

3.5 Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)



Abb.19: Profilansicht Ödenwaldstetten 2

Tab. 36 Standortbeschreibung Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

Substrat bzw. Bodenausgangsgesteinsfolge:	flache Tonfließerde (Hauptlage) über Kalkstein des Oberjuras (Unterer Massenkalk) mit wenig humosem Zersatzton in Spalten [pf.T(LH)\Ck-joMKu]
Relief:	sehr schwach geneigter (3%), gerundeter hängiger Kulminationsbereich (SW-Exposition)
Landnutzung:	Intensivgrünland
Höhenlage:	748 m ü. NHN
N[1]:	915 mm
JMT[1]:	7,7 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

Bodenkundliche Profilbeschreibung

Das ca. 200 m südlich des Ortsrands von Hohenstein-Ödenwaldstetten gelegene Profil (Abb. 19 und Tabellen 36 bis 42) befindet sich auf einem schmalen, flachen Rücken in einem Zwischenniveau zwischen höheren Kuppen und einem tiefer gelegenen verzweigten Trockentalsystem. Unter dem geringmächtigen humosen Oberboden folgt direkt der massive zu dicken unregelmäßigen Platten verwitternde Kalkstein.

In wenigen Spalten und Zwischenräumen sind hier noch vereinzelt Regenwürmer und humoses, toniges Bodenmaterial zu finden. Ein deutlicher Schluffanteil im Oberboden deutet darauf hin, dass hier noch ein Rest der Hauptlage erhalten ist. Solche, flachgründigen Profile, bei denen über dem anstehenden Felsen nur 1–2 dm Feinboden vorhanden ist, sind in der ausgewiesenen Kartiereinheit der Bodenkarte (q14) eher untergeordnet vorhanden. Entsprechend nimmt auch das Klassenzeichen L 7 Vg der Bodenschätzung hier nur eine sehr kleine Fläche ein.

Tab. 37: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation, Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

Tiefe [cm]	Horizont	Boden-art	Ant.-klasse Grobb.-fraktion	Gefüge-form	Humus	Durchwurze-lungsintensität	Carbonat [%]	Ausgangs-gestein	Strati-grafie
					Rendzina				
0–12	Ah	Tu2	Gr3+fX3	10YR 3/2	sub,gro3 +kru,gro3	h4	Wf5,gl+Wg1	c1	pf
–20	rAp°Ah	Tu2	Gr4+fX3	10YR 4/3	sub,gro4 +kru,gro4	h3	Wf3,gl+Wg1	c2	pf
– 40+	II cmCv			10YR 4/4			Wf1,kl		Ck

Deutsche Klassifikation: Felsrendzina

WRB: Calcaric Somerirendzic Leptosol (Siltic, Humic)

Bodenanalysen

Bodenphysik

Tab. 38: Bodenphysikalische Eigenschaften I, Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

Tiefe [cm]	Hori-zont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-art
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0–12	Ah	1,3	1,7	1,8	16,0	20,4	10,6	48,3	47,0	4,8	Tu2
–20	rAp°Ah	3,4	1,9	1,9	17,1	19,2	9,3	47,2	45,6	7,2	Tu2
–40+	II cmCv	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 39: Bodenphysikalische Eigenschaften II, Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0–12	Ah	0,89	66,5	21,7	44,8	10,1	34,7
–20	rAp°Ah	-	-	-	-	-	-
–40+	II cmCv	-	-	-	-	-	-

Bodenchemie

Tab. 40: Bodenchemische Eigenschaften I, Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0–12	Ah	6,7	6,6	0	73,3	6,9	10,6	126,4	125
–20	rAp°Ah	7,1	7,2	4,0	46,2	4,6	10,0	82,8	83
–40+	II cmCv	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 41: Bodenchemische Eigenschaften II, Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{eff} [$mmol_c\ kg^{-1}$]	BS [%]	eff. austauschbare Kationen [$mmol_c\ kg^{-1}$]							
				Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–12	Ah	449,2	100	<0,17	6,1	401,8	40,8	<0,02	<0,01	0,1	<0,24
–20	rAp°Ah	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
–40+	II cmCv	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 42: Bodenchemische Eigenschaften III, Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{pot} [$mmol_c\ kg^{-1}$]	BS [%]	pot. austauschbare Kationen [$mmol_c\ kg^{-1}$]			
				Na	K	Ca	Mg
0–12	Ah	455,1	91,5	<1,0	4,0	374,0	38,8
–20	rAp°Ah	375,4	100	<1,0	3,0	349,2	23,2
–40+	II cmCv	-	-	-	-	-	-

Musterstückbogen der Bodenschätzung

Die nachfolgenden Tabellen 43 und 44 sowie die Abbildung 20 zeigen für das Profil 5 die bestandskräftigen Daten der Bodenschätzung. Abbildung 21 berücksichtigt darüber hinaus moderne feldbodenkundliche Aspekte bei der Ansprache nach Bodenschätzung.

Tab. 43: Kopfdaten der Bodenschätzung, Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

besichtigt am **24.09.1974**

Beschreibung des Musterstückes für Ackerland Nr. **2889.08**

1	OFD	**Karlsruhe**		2	Finanzamt	**Bad Urach**					
3	Gemeinde	**Hohenstein**		4	Gemarkung	**Ödenwaldstetten**		5	Flur	6	Flurstück (e) **617**
7	Höhe NN	**748** m	8	Jahreswärme	**6,5** °C	9	Jahresniederschlag	**800** mm			
10	Größe	**400** m²	11	Geologische Entstehung Bodentyp	**Weißjura epsilon Rendzina**						
12	Bodenbeschreibung	**h2-h3 ka3 L,kr,gru3,st3 1,0** **ka3 L,kr,gru3,st5 0,5-1,0** **KaStV, pl3**		13	Klasse:	Bodenart **L** Zustandsstufe **7** Entstehung **Vg**					
14	Bodenzahl	**24**	15	Besonderheiten / Abrechnung in v.H.		16	Ab- und Zurechnungen für allgemeines Klima in v.H. **-18**	17	Ackerzahl **20**		
18	Bemerkungen:	**Wechselland AGr**									

Tab. 44: Analysedaten der Bodenschätzung Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

		Korngrößengruppen (in mm) nach KOPECKY in % vom Feinboden					Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Abschlämmbare Teile <0,01		Staubsand 0,01 - 0,05	Feinsand 0,05 - 0,1	Grobsand 0,1 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KOPECKY
		Analyse *	berechnet	berechnet	berechnet	berechnet	Analyse		
1	-1,0								
2	1,0-2,0								
3									
4									
5									
6									

		Korngrößengruppen (in mm) nach KÖHN in % vom Feinboden							Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Ton <0,002	fU 0,002 - 0,0063	mU 0,0063 -0,02	gU 0,02 - 0,063	fS 0,063 - 0,2	mS 0,2 - 0,63	gS 0,63 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KÖHN
1	-1,0	28,4	22,5	23,1	12,6	7,1	3,2	3,1		A	Lu
2	1,0-2,0	32,4	20,1	20,1	12,8	5,9	3,4	4,9		B	Tu3
3											
4											
5											
6											

	Tiefe unter Flur [dm]	pH (KCl)	Carbonat %	C org. %	Humus %	N_t %	C/N - Verhältnis	KAK mmol/z/100g	Basensättigung %	K_2O mg/100g	P_2O_5 mg/100g
1	-1,0	6,7	3,22	4,75				4,52			
2	1,0-2,0										
3											
4											
5											
6											

Abb. 20: Lageplan Rahmenkarte und Flurkarte; Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)
Messtischblatt 7622 Rechtswert 3527780 Hochwert 5356220 (Gauß-Krüger-Koordinaten)

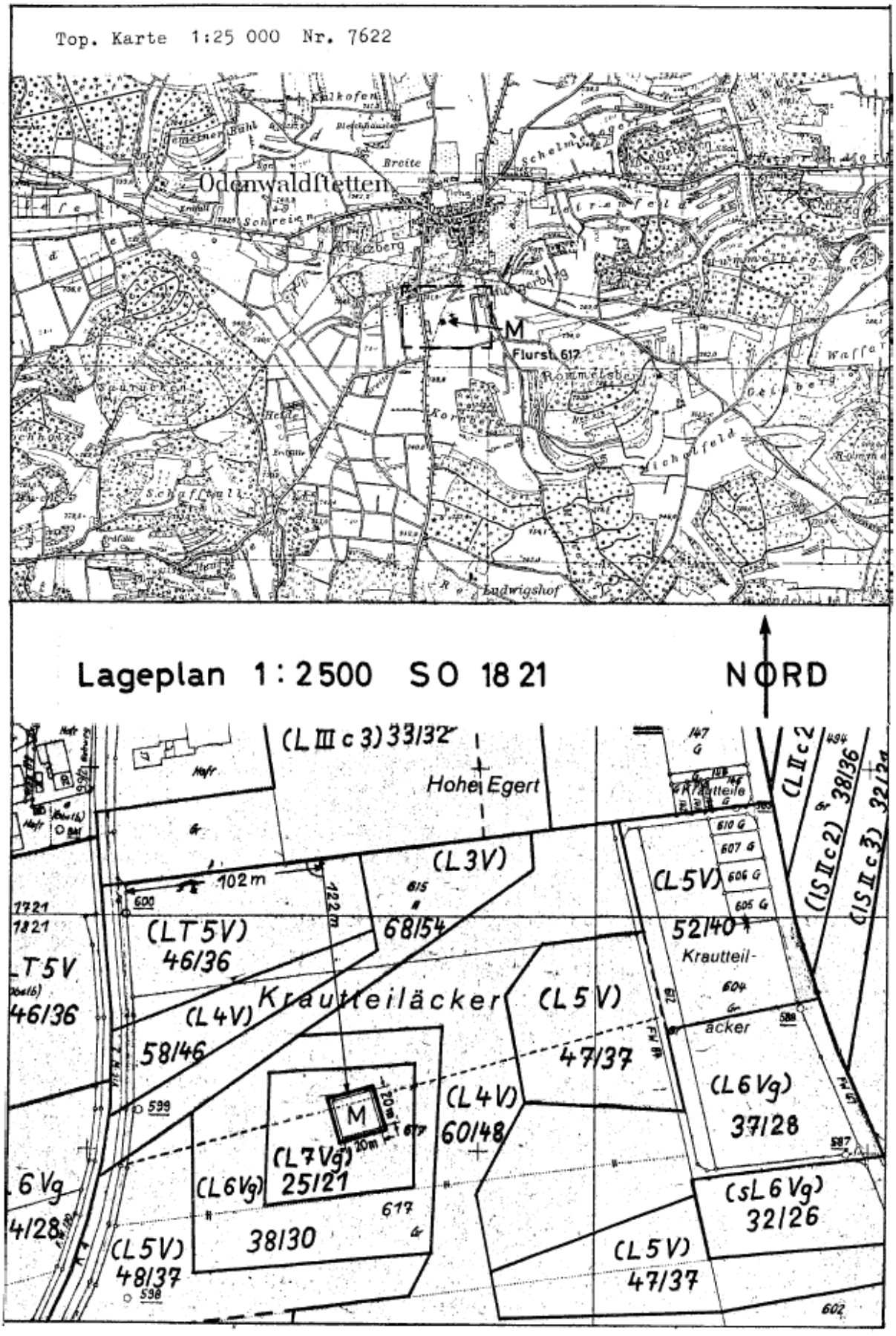
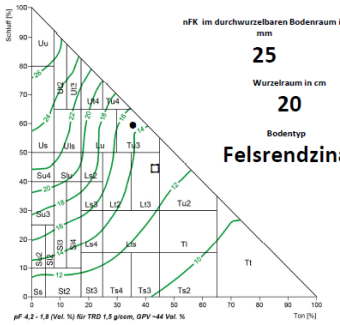


Abb. 21: Profilbeschreibung zur Bodenschätzung unter Berücksichtigung moderner feldbodenkundlicher Aspekte für das Profil 5 (Ödenwaldstetten 2, MSt 2889.08)

Standort **Ödenwaldstetten 2** Bewertung **(L 7 Vg) 24/20** 18.09.2024

Lfd.Nr./VSt-Nr./Profil-Nr. MSt 2889.08 (Profil 5)



	Symbol	Lage Substrat	Tiefe in cm	Horizont	Humus h	Kalk ka	Farbe/reduktiv gb	Eisen/oxydativ ei	Feuchte/ Sonstige	Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Feinboden KA 5/6	Feinboden BodSchätz	Tiefe in cm
10	●	LH	10	Ah	h4	ka1				st3	gru3		Tu3	L,kr-t2	10
20	●		20	rAp°Ah	h3	ka2				st3	gru3		Tu3	L,kr-t2	20
30	□	Ausgangsgestein	30	II cmCv						st5			Lt3	KaStV,pl3	30
40			40												40
50			50												50
60			60												60
70			70												70
80			80												80
90			90												90
100			100												100
110			110												110
120			120												120

	Bodenskelett Vol.% Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Skelett Summe	Faktor (Boden - Skelett)	Profil Tiefe in cm	Horizont	Packung Pd	Hydro-morphie rezent/relikt.	Feinboden nFK 4,2-2,5 mm	Feinboden nFK 4,2-1,8 mm	Packungsdichte Pd, Wurzeln Faktor	Nässe Faktor	Faktor (Boden - Skelett)	Mächtigkeit Horizont Faktor	pF 4,2 bis 2,5 nFK Horizont	pF 4,2 bis 1,8 nFK Horizont	Tiefe in cm
10	15	20		35	0,65	10	Ah	3		13	16			0,65	1	8,5	10,4	10
20	15	20		35	0,65	20	rAp°Ah	3		13	16			0,65	1	8,5	10,4	20
30	95			95	0,05	30	II cmCv			10	13			0,05	5	3	4	30
40						40												40
50						50												50
60						60												60
70						70												70
80						80												80
90						90												90
100						100												100
110						110										Summe	Summe	110
120						120										20	25	120

Hinweise zum Profil aus Sicht der Bodenschätzung

Das Musterstück 2889.08 (Profil 5) liegt südlich des Ortes Ödenwaldstetten ortsnah im Gewann Krautteiläcker. Wie das Musterstück 2889.07 (Profil 4) ist der Boden flachgründig. Es ist ebenfalls als Wechselland Acker-Grünland (AGr) eingestuft.

Innerhalb des Schlages mit Ackerfutter repräsentiert das Musterstück 2889.08 nur eine kleine Klassenfläche, die offenbar den flachgründigsten Bereich darstellt.

Bei der Felsrendzina nimmt der Untergrund praktisch nicht an der Ertragsbildung teil, auch wenn in Spalten und Klüften einzelne Wurzeln tiefer gehen können.

Der hohe Humusgehalt führt dazu, dass der Tongehalt unterschätzt wird. Humus fördert ganz allgemein die Bearbeitbarkeit des Bodens. Der Boden weist für eine Rendzina einen günstigen Regenwurmbesatz auf, der durch die Ausbringung von Gärresten aus der Biogasanlage gefördert wird.

Die Spalten und Klüften nehmen geschätzt nur 5% des Porenvolumens im plattig verwitternden Kalkstein ein und werden bis in eine Tiefe von 70 cm als durchwurzelbar angesehen. Rechnerisch ergibt sich somit nur ein geringer Beitrag mit einigen wenigen mm (3 bis 4 mm je nach pF-Bereich) dieser Spalten und Klüfte zur nFK.

Die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser im durchwurzelbaren Bodenraum (nFKdB) erreicht mit insgesamt 25 mm für pF 4,2 bis 1,8 bzw. 20 mm für pF 4,2 bis 2,5 nur sehr geringe Werte.

Die Bewertung als Wechselland AGr nach dem Ackerschätzungsrahmen ist auch aus heutiger Sicht im Hinblick auf die gesamte Grünlandfläche noch haltbar, wenngleich auch eine Bewertung nach dem Grünlandschätzungsrahmen möglich wäre. In diesem Fall käme ein L III c 4– in Betracht. Die Wasserstufe 3 würde in Verbindung mit der Bodenstufe III zu einer zu hohen Bewertung der Teilfläche mit Grünlandgrundzahlen von 30 bis 36 für die Bodenklasse L III c 3 führen. Die Spanne der Grünlandgrundzahlen von 23 bis 29 für die Bodenklasse L III c 4– sind für den Standort sachgerechter.

Böden der Zustandsstufe 7 sind unter heutigen Bedingungen meist nur noch selten

unter ackerbaulicher Nutzung. Der Gesteinsbodencharakter, der durch die Entstehung Vg zutreffend charakterisiert wird, könnte bei ackerbaulicher Nutzung zu Schäden am Maschinenbestand führen. Die Wertzahlen der Bodenklasse L 7 Vg des Musterstücks mit 24/20 korrelieren mit der niedrigen nFK im durchwurzelbaren Bodenraum.

Eine Wechselnutzung findet seit den 1990er Jahren nicht mehr statt, sondern die Fläche wird als Dauergrünland genutzt. Das intensiv geführte Grünland wird reichlich mit Nährstoffen aus betriebseigener Biogasanlage versorgt. Aufgrund der Flachgründigkeit besteht deshalb allerdings die Gefahr der Nährstoffverlagerung von Nitrat mit dem Sickerwasser.

Das sehr geringe Ertragspotential, bedingt durch die niedrige nFK im durchwurzelbaren Bodenraum, führt in Trockenjahren zu Wasserstress des Grünlandbestandes, der dann Dürreerscheinungen zeigt.

Historische Entwicklung der Landwirtschaft anhand der Gemeindebeschreibung

Es wird auf die Ausführungen zum Profil 4 verwiesen, das in der gleichen Gemarkung Ödenwaldstetten wie das Profil 5 liegt.

Aktuelle landwirtschaftliche Nutzung

Das Musterstück 2889.08 liegt südlich der Ortschaft im Gewann Krautteiläcker. Es wurde bei der Schätzungsbeiratsreise 1974 als Acker-Grünland mit L 7 Vg 24/20 vorgeschlagen und durch den Schätzungsbeirat bestätigt. Obwohl das Musterstück sehr flachgründig ist und der Kalkstein schon oberflächennah ansteht, wurde es als ein Wechselland Acker-Grünland AGr geschätzt. Schon 20 Jahre nach der Beiratsreise wurde nach Auskunft des Landwirts die Fläche in Dauergrünland umgewandelt. Der jetzige Ackerbaubetrieb bewirtschaftet 200 ha mit einer Biogasanlage. Es wird Mais, Winterweizen, Kleegras und Wintergerste angebaut. Die Düngung erfolgt mit den Gärresten der Biogasanlage.

Um das mittig im Flurstück liegende Musterstück sind sehr wechselhafte Bodenverhältnisse vorzufinden. Vom Musterstück ausgehend sind fast in gleichmäßigen Quadraten zu den Rändern des Flurstücks Schätzungen mit den Bodenklassen L 6 Vg, L 5 V und L 4 V anzutreffen.

Westlich erstreckt sich in einer Mulde bzw. Senke sogar ein Band der Bodenklasse L 3 V zum nördlich verlaufenden Ortsrand hin. Diese Bodenklasse zieht in einen Ackerschlag, womit der Boden dort nicht als Grün-, sondern als Ackerland genutzt wird. Um das Musterstück sind Zeigerpflanzen zu finden, die den Standort und die Schätzung widerspiegeln. Das Knaulgras (Dactylis glomerata) als Mäßig-Frischezeiger (Ökologischer Feuchtegrad 5), die Schafgarbe (Achillea millefolium) als Mäßig-Trocknis-Zeiger (Ökologischer Feuchtegrad 4), und die wilde Möhre (Daucus carota) als Trockniszeiger (Ökologischer Feuchtegrad 3) zeigen in dieser Reihenfolge zunehmend trockenere Verhältnisse an. Der Grünlandbestand wird im Bereich des Musterstücks als mäßig trocken und damit dem Ökologischen Feuchtegrad 4 (mäßig trocken) zugeordnet.

Obwohl die Wurzeln bis in Karstspalten reichen, können sie daraus kaum Wasser für den Grünlandbestand gewinnen. Der Standort reagiert sehr empfindlich auf Trockenheit. Dies bestätigt der Landwirt.

In den meisten Jahren mäht der Betrieb die Fläche zweimal. In günstigen Jahren mit ausreichend Niederschlag wird sogar dreimal gemäht. Bei der Profilaufnahme im September 2024 war der Bestand im Allgemeinen nicht auffällig.

Das Vorhandensein von Wiesenlabkraut (Galium album), das mäßig frische Standorte kennzeichnet, kann dadurch erklärt werden, dass bei gegebenem Ökologischen Feuchtegrad durch eine intensive Nutzung und Bestandsführung der Pflanzenbestand mehr in Richtung Optimum verschoben wird. Optimal sind frische Standorte des Ökologischen Feuchtegrades 6 (frisch). Das Vorhandensein von Wiesenlabkraut kann einerseits durch die günstigste Niederschlagsverteilung in 2024 erklärt werden. Aber anderseits dürfte vor allem die hohe Intensität der Nutzung durch entsprechende N-Gaben dafür verantwortlich sein.

3.6 Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)



Abb. 22: Profilansicht Eglingen

Tab. 45: Standortbeschreibung Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

Substrat bzw. Bodenausgangsgesteinsfolge:	Dolomit und „Zuckerkornkalk“ (recalcitisierter Dolomitstein, Dedolomit) im Unteren Massenkalk des Oberjuras mit periglaziärer Überprägung an der Oberfläche (Zerfall) [Ck-joMKu])
Relief:	mittelschwach geneigter (6%), gestreckter Mittelhang, SE-Exposition
Landnutzung:	extensives Grünland
Höhenlage:	760 m ü. NHN
N[1]:	926 mm
JMT[1]:	7,6 °C

[1]N: mittlere Jahresniederschlagssumme, JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

Bodenkundliche Profilbeschreibung

Das ca. 2,9 km westsüdwestlich von Hohenstein-Eglingen gelegene Profil (Abb. 22 und Tabellen 45 bis 50) befindet sich am schwach geneigten Hang einer Einsattelung zwischen zwei höheren Massenkalkkuppen. Solche sehr flach bis flach entwickelten Rendzinen sind typisch für stärker erodierte, exponierte Lagen der Kuppenalb. Der Dolomitstein (vgl. Profil 3) ist hier zum Teil recalcitisiert und als sogenannter Zuckerkornkalk ausgebildet. Im Gegensatz zu den auf primärem Oberjura-Kalkstein ausgebildeten Rendzinen besitzen die A/C-Böden auf Dolomit und Zuckerkornkalk i. d. R. einen deutlich spürbaren Sandanteil im Oberboden.

Tab. 46: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation, Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Ant.-klasse Grobb.-fraktion	Farbe	Gefügeform	Humus [Stufe]	Durchwurzelungsintensität	Carbonat [Stufe]	Ausgangsgestein	Stratigrafie
Rendzina										
0–8	Ax	Lt2	Gr2+fX1	10YR 3/3	kru,gro3	h5	Wf6,gl+Wg2	c5	Ck	joMKu
–19	rAp°Ax	Lts	Gr3+fX2	10YR 3/4	kru,gro4 +sub,gro4	h4	Wf5,gl+Wg3	c6	Ck	joMKu
–40+	cmCv	-	-	-	-	-	Wf1,kl+Wg1,kl	-	Ck	joMKu

Deutsche Klassifikation: Felsrendzina
WRB: Calcaric Somerirendzic Leptosol (Siltic, Humic)

Bodenanalysen

Bodenphysik

Tab. 47: Bodenphysikalische Eigenschaften I, Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

Tiefe [cm]	Horizont	Korngrößenverteilung [Masse-%]									Boden-art
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
0–8	Ax	0,7	16,5	22,3	14,8	11,2	5,6	28,9	31,5	39,5	Lt2
–19	rAp°Ax	1,7	18,7	23,4	15,0	10,3	4,5	26,5	29,8	43,8	Lts
–40+	cmCv	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 48: Bodenphysikalische Eigenschaften II, Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

Tiefe [cm]	Horizont	ρt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
0–8	Ax	0,9	65,9	19,6	46,3	23,0	23,3
–19	rAp°Ax	-	-	-	-	-	-
–40+	cmCv	-	-	-	-	-	-

Bodenchemie

Tab. 49: Bodenchemische Eigenschaften I, Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

Tiefe [cm]	Horizont	pH [H_2O]	pH [$CaCl_2$]	Carbonat [%]	C_{org} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N	P (CAL) [µg g^{-1}]	K (CAL) [µg g^{-1}]
0–8	Ax	7,1	7,0	42,1	69,4	06,3	11,0	170,0	382
–19	rAp°Ax	7,3	7,2	50,3	35,9	3,1	11,6	78,5	108
–40+	cmCv	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab.50: Bodenchemische Eigenschaften II, Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

Tiefe [cm]	Horizont	KAK_{pot} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	pot. austauschbare Kationen [$mmol_c$ kg^{-1}]			
				Na	K	Ca	Mg
0–8	Ax	353,6	98,6	<1,0	7,0	259,1	82,7
–19	rAp°Ax	241,9	100	<1,0	2,3	178,1	61,5
–40+	cmCv	-	-	-	-	-	-

Musterstückbogen der Bodenschätzung

Die nachfolgenden Tabellen 51 und 52 zeigen für das Profil 5 als Musterstück die bestandskräftigen Daten der Bodenschätzung. Abbildung 23 zeigt die Lage des Profils und die Schätzungskarte. Abbildung 24 berücksichtigt bei der Profilbeschreibung nach Bodenschätzung moderne feldbodenkundliche Aspekte. Dabei geht es nicht darum, die Bodenschätzung zu verändern, sondern zu präzisieren.

Tab. 51: Kopfdaten der Bodenschätzung, Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

besichtigt am	Beschreibung des Musterstückes für Ackerland Nr.
24.09.1974	**2889.06**

1	OFD **Karlsruhe**		2	Finanzamt **Bad Urach**			
3	Gemeinde **Hohenstein**		4	Gemarkung **Eglingen**	5	Flur	6 Flurstück (e) **1465**

7	Höhe NN **758** m	8	Jahreswärme **6,5** °C	9	Jahresniederschlag **800** mm			
10	Größe **560** m²	11	Geologische Entstehung Bodentyp	**Weißjura (dolom. Sandstein), zeta, delta Rendzina**				
12	Bodenbeschreibung	**h2-h3 ka 3 L,s4, st3 2,0-,5**			13	Klasse:	Bodenart **SL**	
		Scho, gs3					Zustandsstufe **6**	
							Entstehung **Vg**	

14	Bodenzahl **24**	15	Besonderheiten /	Abrechnung in v.H. **Gel S -4**	16	Ab- und Zurechnungen für allgemeines Klima in v.H. **-14**	17	Ackerzahl **20**	
18	Bemerkungen: **AGr, 2. Schicht Weißjuraschotter**								

Tab. 52: Analysedaten der Bodenschätzung Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

		Korngrößengruppen (in mm) nach KOPECKY in % vom Feinboden					Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Abschlämmbare Teile <0,01		Staubsand 0,01 - 0,05	Feinsand 0,05 - 0,1	Grobsand 0,1 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KOPECKY
		Analyse *	berechnet	berechnet	berechnet	berechnet	Analyse		
1	-2,5								
2	2,5-4,0								
3									
4									
5									
6									

		Korngrößengruppen (in mm) nach KÖHN in % vom Feinboden							Gesamtboden		
	Tiefe unter Flur [dm]	Ton <0,002	fU 0,002 - 0,0063	mU 0,0063 -0,02	gU 0,02 - 0,063	fS 0,063 - 0,2	mS 0,2 - 0,63	gS 0,63 - 2,0	Skelett >2,0	Horizont	Bodenart KÖHN
1	-2,5	16,4	11,7	11,0	13,3	23,2	22,7	1,6		A	Sl4
2	2,5-4,0	15,6	10,7	10,7	13,7	23,6	23,1	2,6		B	Sl4
3											
4											
5											
6											

	Tiefe unter Flur [dm]	pH (KCl)	Carbonat %	C org. %	Humus %	N_t %	C/N - Verhältnis	KAK mmol/z/100g	Basensättigung %	K_2O mg/100g	P_2O_5 mg/100g
1	-2,5	7,0									
2	2,5-4,0	6,9	64,81	2,17				3,34			
3											
4											
5											
6											

Abb. 23: Lageplan Rahmenkarte und Flurkarte; Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)
Messtischblatt 7622 Rechtswert 3529030 Hochwert 5355910 (Gauß-Krüger-Koordinaten)

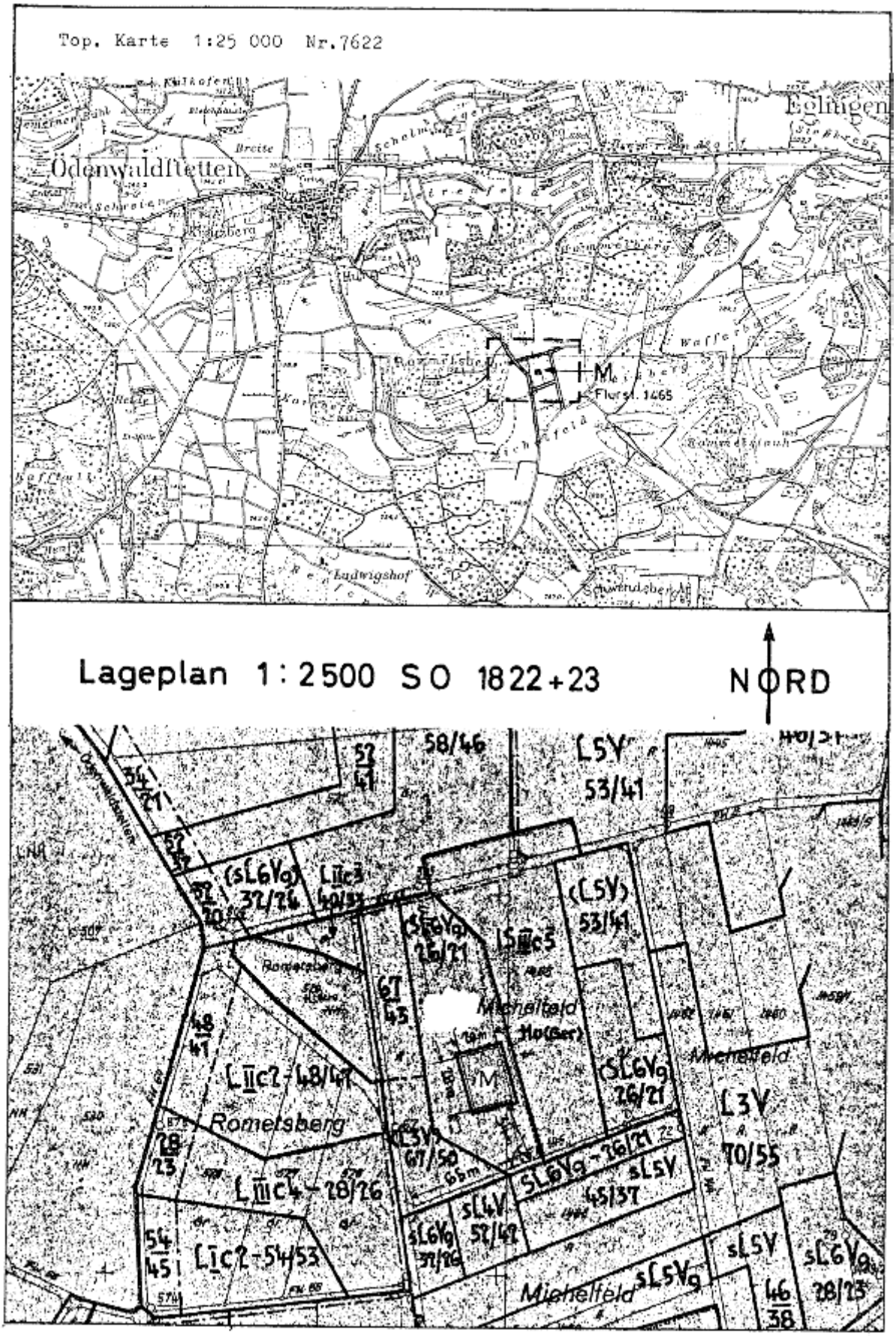
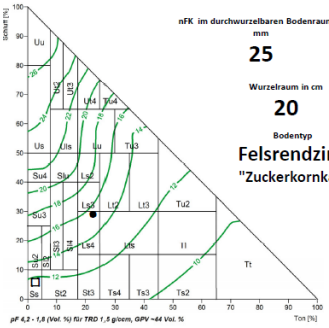


Abb. 24: Profilbeschreibung zur Bodenschätzung unter Berücksichtigung moderner feldbodenkundlicher Aspekte für das Profil 6 (Eglingen, MSt 2889.06)

Standort **Eglingen** Bewertung **IS III c4- - 22/22** 18.09.2024

Lfd.Nr./VSt-Nr./Profil-Nr. MSt 2889.06 (Profil 6)

Bewertung Musterstück: (SL 6 Vg) 24/20, Gel S -4, Kli -14



Symbol	Lage Substrat	Tiefe in cm	Horizont	Humus h	Kalk ka	Farbe/reduktiv gb	Eisen/oxydativ ei	Feuchte/ Sonstige	Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Feinboden KA 5/6	Feinboden BodSchätz	Tiefe in cm
●	LH	10	Ax	h4	ka1				st1	gru2		Ls4	L,s4	10
●		20	rAp°Ax	h3	ka2				st2	gru3		Ls4	L,s4	20
□	Ausgangsgestein	30	cmCv						st5			Ss	DolomitV,gs3	30
		40												40
		50												50
		60												60
		70												70
		80												80
		90												90
		100												100
		110												110
		120												120

Bodenskelett Vol.% Steine st	Grus gr	Schotter/Kies ki	Skelett Summe	Faktor (Boden - Skelett)	Tiefe in cm
2	8		10	0,9	10
8	17		25	0,75	20
95			95	0,05	30

Profil Tiefe in cm	Horizont	Packung Pd	Hydro-morphie rezent/relikt	Feinboden nFK 4,2-2,5 mm	Feinboden nFK 4,2-1,8 mm	Packungsdichte Pd, Wurzeln Faktor	Nässe Faktor	Faktor (Boden - Skelett)	Mächtigkeit Horizont Faktor	pF 2,5 bis 4,2 nFK Horizont	pF 1,8 bis 4,2 nFK Horizont	Tiefe in cm
10	Ax	3		11	15			0,9	1	10	14	10
20	rAp°Ax	3		11	15			0,75	1	8	11	20
30	cmCv			6	12			0,05				30
40												40
50												50
60												60
70												70
80												80
90												90
100												100
110										Summe	Summe	110
										18	25	
120												120

Nährstoffversorgung bzw. Trophie: eher gering (mesotroph bis oligotroph); noch keine Feld-Hainsimse ("Hasenbrot") (Luzula campestris) zum Besichtigungszeitpunkt zu sehen
Ökologischer Feuchtegrad 4 (mäßig trocken): etwa viel Schafgarbe (Achiella millefolium); etwa südlich auch Gewöhnlicher Odermennig (Agrimonia eupatoria) zu sehen, welcher als Trockniszeiger (Ökologischer Feuchtegrad 3) gilt

Hinweise zum Profil aus Sicht der Bodenschätzung

Die ehemals als Wechselland AGr (Acker-Grünland) genutzte Felsrendzina ist durch besondere Flachgründigkeit gekennzeichnet. Der durchwurzelbare Wurzelraum reicht bis 20 cm, nur vereinzelt finden sich einzelne Wurzeln tiefer. Es handelt sich um einen Grenzertragsstandort, der seit längerem nicht mehr ackerbaulich genutzt wird. Dies zeigt sich in der Differenzierung des ehemaligen geringmächtigen Pflughorizontes.

Bei der feldbodenkundlichen Ansprache fällt der erhöhte Humusgehalt des Ax-Horizontes auf. Er weist, ebenso wie der darunterliegende rAp°Ax-Horizont, ein günstiges Bodengefüge auf. Die Durchwurzelbarkeit beider Horizonte ist gegeben, was durch die Packungsdichte Pd3 zum Ausdruck gebracht wird. Der Untergrund nimmt praktisch nicht an der Ertragsbildung teil.

Die Ansprache des Feinbodens nach Bodenschätzung wurde sowohl beim Musterstück als auch der feldbodenkundlichen Ansprache im September 2024 jeweils als stark sandiger Lehm (L,s4) vorgenommen. Die Analyse im Labor zeigt für den oberen Bereich des Oberbodens die Bodenart Lt2 und den unteren Bereich Lts; siehe Tabelle 47. Tatsächlich liegen im Bodendreieck die feldbodenkundliche Ansprache und die Laborwerte nur unwesentlich auseinander, wenngleich die verbale Beschreibung der Bodenart dies nicht erwarten lässt. Der hohe Humusgehalt „unterstützt“ im Gelände die feldbodenkundliche Ansprache als stark sandiger Lehm (L,s4). Hinzu kommt die äolische (schluffige) Komponente des Restes der Hauptlage (LH) im Oberboden, die nicht eine Nebenbodenart „tonig“ erwarten lässt.

Der Untergrund wurde feldbodenkundlich nicht als „grobsandiger Schotter“ (Scho, gs3), wie bei der Beschreibung des Musterstücks geschehen, sondern als „grobsandige Dolomitverwitterung“ (DolomitV, gs3) angesprochen.

Die Nutzung des Standortes wird als extensiv eingestuft; siehe dazu auch die

Hinweise im Formblatt der feldbodenkundlichen Aufnahme.

Eine Ansprache als Wechselland kommt aus heutiger Sicht nicht mehr in Frage. Bei der Grünlandschätzung ergibt sich hinsichtlich der Bodenart des Klassenzeichens ein lehmiger Sand (lS). Die Bodenstufe III kennzeichnet die Flachgründigkeit. Bei der österreichischen Bodenschätzung wurde für solche Fälle sogar die Bodenstufe IV eingeführt.

Die klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperiode gemäß Internationaler Klimaperiode 1991 bis 2020 ist von Mai bis September mit 14 mm und von April bis Oktober mit 56 mm nach den Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zwar positiv. Aber aufgrund der geringen nFK im durchwurzelbaren Bodenraum von 25 mm für pF 4,2 bis 1,8 und 18 mm für pF 4,2 bis 2,5 kann rasch Trockenheit auf dem Standort auftreten. Deshalb wurde die Wasserstufe 4– für trockene Verhältnisse vergeben.

Der den Boden prägende lehmige Sand des Dolomitgesteins („Zuckerkornkalk“) zusammen mit der extremen Flachgründigkeit bedingt das sehr geringe Speichervermögen des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser im durchwurzelbaren Bodenraum und deshalb auch eine rasche Austrocknung des Bodens.

In der Bodenstufe 3 bzw. 3– müsste mindestens die Ausgangszahl bzw. Grünlandgrundzahl 30 nach dem Grünlandschätzungsrahmen vergeben werden, was nicht sachgerecht erscheint. Die Bodenklasse lS III c 3 umfasst die Wertzahlenspanne 30 bis 36). Die nunmehr vergebene Endzahl bzw. Grünlandzahl von 22 liegt höher als die Endzahl bzw. Ackerzahl 20 der Bewertung des Musterstücks als Wechselland mit (SL 6 Vg) 24/20. Wenn bei der Grünlandschätzung eine höhere Endzahl erreicht wird als bei der Ackerschätzung, zeigt die praktische Erfahrung, dass es sich in der Regel auch um einen Standort handelt, der dem Grünland zuzuordnen ist.

Historische Entwicklung der Landwirtschaft anhand der Gemeindebeschreibung

In der Gemeindebeschreibung der Bodenschätzung aus dem Jahr 1950 hat der damalige Bodenschätzer zahlreiche Informationen über die Gemarkung Eglingen zusammengetragen. Diese geben einen Überblick über den Zusammenhang zwischen Bodenverhältnissen und Lebensverhältnissen zur damaligen Zeit. Sie stellen auch heute noch wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung der Landwirtschaft in der Umgebung dar.

Die Bodenarten in Eglingen schwanken zwischen grusigen, stark sandigen Lehmböden und stark steinigen kräftigen schweren Lehmböden. Das Musterstück 2889.06 ist von der erstgenannten Bodenart geprägt. Dieser leichte und flachgründige Boden findet sich hauptsächlich an der westlichen Gemarkungsgrenze zu Ödenwaldstetten. Die ertragreicheren Böden (L 2 und L 3 V) der Gemarkung befinden sich südlich des Ortes zwischen einigen Kuppen. Diese Böden sind tiefgründig und teilweise feinsandig im Sinne der Bodenschätzung. Im Sinne der heutigen Kartieranleitung handelt es sich um Schluffe. Eine Erklärung für diese tiefgründigen Böden liegt vermutlich in Abschwemmungen von den Kuppen bzw. möglicherweise auch am Eintrag äolischen Lössmaterials, der heute als Lösslehm die Gründigkeit positiv beeinflusst.

Durch Eglingen verläuft die 800 mm-Niederschlagsgrenze der Klimakarten. Die Niederschlagsmenge liegt zwischen 800–820 mm. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 6,4 °C. Die allgemeine Klimaabrechnung beträgt 22% für L-Böden.

Kuppen und Mulden prägen das örtliche Klima in Eglingen. Geschütze Mulden mit wenig Nachtfrostgefahr erhalten sogar einen Zuschlag von 4%. Vor allem das Gewann Michelfeld, in dem sich das Musterstück befindet, ist durch die weite Muldenlage sehr kalt. Die Kuppen sind eher von Austrocknung betroffen, was durch die sandig wirkenden Böden noch verstärkt wird.

Die Gemeindebeschreibung aus 1950 zeigt für Eglingen keine ausgeprägten Flächenanteile des Dauergrünlands. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen wurden zu 91% als Acker geschätzt und nur zu 9% als Grünland. Die Ackerflächen werden aber durch Ackerfutterbau genutzt.

Die Haupteinnahmequelle in Eglingen war die Landwirtschaft. Die durchschnittliche Betriebsgröße lag bei 5 bis 20 ha. Diese klein-mittelbäuerlichen Betriebe hatten oft noch ein Handwerk als Nebenbetrieb. Vor allem konnte im Winter durch die Waldarbeit noch ein gutes Zubrot verdient werden.

Zur damaligen Zeit war die bessere Dreifelderwirtschaft in Eglingen üblich. An Ackerfrüchten dominierten Hafer, Dinkel, Gerste und Kartoffeln (1947) sowie der Ackerfutterbau mit Rot-Klee und Esparsette.

In der Tierhaltung lag der Fokus auf Nutz- und Milchleistung in der Rinderhaltung. Durch die Nähe zum Landesgestüt Marbach engagierten sich 8 bis 10 Betriebe recht erfolgreich aktiv in der Pferdezucht. Der Maschineneinsatz war bei den wechselnden Böden und den wechselhaften Bedingungen nur mäßig.

Der damalige Bodenschätzer sah in einer Aufforstung von ehemaligen Wacholderheiden eine Möglichkeit, um die Böden vor Degradierung zu schützen und die kleinklimatischen Verhältnisse zu verbessern. Auch eine Flurbereinigung sei von Vorteil. Diese wurde aber in der Gemeindebeschreibung aufgrund der wechselnden Boden- und Standorteigenschaften als schwierig angesehen.

Auch in Eglingen setzte der Strukturwandel in den 50er und 60er Jahren ein. Es gab keine Knechte und Mägde mehr auf den landwirtschaftlichen Betrieben. Immer mehr Personen verdienten ihr Geld außerhalb der Landwirtschaft. Eine Flurbereinigung fand erst in den 1970er Jahren statt.

Die Landwirtschaft wurde mehrheitlich nur noch im Nebenerwerb betrieben. Der Festschrift zur Feier des 1100-jährigen Bestehens von Eglingen ist zu entnehmen, dass es 2003 noch sechzehn Nebenerwerbs- und zwei Haupterwerbsbetriebe in Eglingen gab.

Aktuelle landwirtschaftliche Nutzung

Das Gesamtflurstück, auf dem sich das Musterstück befindet, ist insgesamt 11 ha groß. Die Teilfläche des Musterstücks wurde im Jahr 1974 als Wechselland Acker-Grünland (SL 6 Vg) 24/20 geschätzt. Anders als umgangssprachlich üblich, liegt dabei die Betonung auf der Ackernutzung. Genutzt wird diese Teilfläche, die zwischen einer Ackerfläche und einem Waldstück liegt, schon seit sehr langer Zeit als Dauergrünland.

Der Bewirtschafter ist ein Landwirt aus Hayingen. Er bewirtschaftet das gesamte 11 ha große Flurstück mit seinen unterschiedlichen Nutzungen. Auf einem Teil werden z. B. Kartoffeln angebaut. Das Grünland wird zweimal im Jahr gemäht und mit eigener Gülle gedüngt.

Im Jahr 2024 waren die Erträge aus Sicht des Landwirtes ordentlich, was auf eine günstige Niederschlagsverteilung während der Vegetationsperiode zurückzuführen ist. Für den Landwirt sind vor allem die häufig auftretenden Hitzeperioden ein Problem.

4 Zustands- bzw. Bodenstufe, Durchwurzelbarkeit und Packungsdichte sowie deren Bestimmung

Die Zustandsstufe bzw. Bodenstufe der Bodenschätzung hängt maßgeblich von der Durchwurzelbarkeit des Bodens ab. Die tatsächliche Durchwurzelung, der Wurzeltiefgang und die Wurzelverteilung liefern wichtige Hinweise, wobei die Wurzel als Indikator dient. Die Packungsdichte steht als einfache reproduzierbare Feldmethode zur Verfügung.

Die Zustands- bzw. Bodenstufe der Bodenschätzung steht für den durchwurzelbaren Bodenraum und dessen Ausprägung. Sie kann nicht als eine Entwicklungs- bzw. Alterungsstufe einer in situ gedachten Bodenentwicklung gesehen werden. Die Ertragsfähigkeit hängt maßgeblich von der Tiefe des durchwurzelbaren Bodenraums ab. Insofern hängt die Zustandsstufe bzw. Bodenstufe von dem durchwurzelbaren Bodenraum und dessen Ausprägung ab.

Den genannten Gesichtspunkten ist bei der praktischen Bodenschätzung Rechnung zu tragen.

Tab. 53: Zusammenhang zwischen Zustandsstufe (ZS) der Bodenschätzung und der Mächtigkeit des durchwurzelbaren Bodenraumes sowie dessen Ausprägung.

ZS	Beschreibung	Bemerkungen
7	Unterboden/-grund nimmt nicht an der Ertragsbildung teil; Durchwurzelbarkeit bis ca. 15 cm gegeben; sehr flachgründiges Bodenprofil	Entscheidend für die Zuordnung sind der durchwurzelbare Bodenraum und dessen Ausprägung, dazu gehören etwa Wurzelverteilung, Packungsdichte, Bioporen und Nässe (rezent oder reliktisch?)
6	Unterboden/-grund nimmt nicht an der Ertragsbildung teil; Durchwurzelbarkeit bis ca. 35 cm gegeben; flachgründiges Bodenprofil	
5	Unterboden/-grund nimmt an der Ertragsbildung teil, aber noch nicht der tiefere Unterboden/-grund; Durchwurzelbarkeit bis ca. 55 cm (50 bis 60 cm) gegeben; flach- bis mittelgründiges Bodenprofil	
4	tieferer Unterboden/-grund nimmt an der Ertragsbildung teil, aber der durchwurzelbare Bodenraum erreicht in der Regel noch keine Tiefe von 1 m; mittelgründiges Bodenprofil	
3	tieferer Unterboden/-grund nimmt mit mindestens 1 m durchwurzelbarem Bodenraum an der Ertragsbildung teil; tiefgründiges bis sehr tiefgründiges Bodenprofil	
2	wie 3	Humusstatus beachten
1	wie 3	Humusstatus beachten

Kurzfassung der Methodik in Anlehnung an DIN 19 682 -10, Ausgabe November 2007 bzw. Ausgabe 2013

Mit dem Begriff Packungsdichte (effektive Lagerungsdichte) wird eine Bodeneigenschaft bezeichnet, die Gefügeeigenschaften in Abhängigkeit vom Grad der Kompaktheit bzw. Lockerheit zusammenfasst und im Feld sensorisch ermittelt wird. Die Packungsdichte spiegelt die Wasser- und Luftdurchlässigkeit, die Durchwurzelbarkeit und weitere Funktionen des Bodens wider.

Bei der Ermittlung der Packungsdichte werden vor allem folgende makroskopische Gefügemerkmale in den einzelnen Horizonten des Bodens in fünf Stufen erfasst (siehe dazu auch Tabelle 54):

- der mechanische Bodenwiderstand beim Graben und beim Einstechen mit einem Taschenmesser
- die Größe der Aggregate
- der Zusammenhalt des Bodenverbandes bzw. der Verfestigungsgrad mit der Fallprobe (Grad des Zerfalles eines Bodenblockes beim Fallen aus ca. 1 m Höhe auf eine harte Oberfläche)

- die Lagerungsart der Aggregate zur Kennzeichnung der Beschaffenheit der Aggregatzwischenräume im Quellungszustand. Sie ist visuell erkennbar an der Formausprägung der Aggregate (Grad der Scharfkantigkeit) und an der Entsprechung benachbarter Aggregatoberflächen. Bei geschlossener Lagerung besteht im Quellungszustand nahezu kein Zwischenraum, während die anderen Lagerungsarten einen abgestuft größeren Aggregatzwischenraum anzeigen.
- der Anteil biogener Makroporen (Wurzelkanäle und Regenwurmröhren)
- die Wurzelverteilung in den einzelnen Bodenhorizonten, falls Wurzeln vorhanden sind; im lockeren Zustand steht das Gesamtbodenvolumen für die Wurzeln zur Verfügung, während sich mit zunehmender Packungsdichte die Wurzeln auf die Aggregatoberflächen (Aggregatzwischenräume) konzentrieren.
- die Wurzellängendichte in einem Bodenhorizont, die von vielen Faktoren abhängt, unter anderem von der Tiefenlage. Eine überproportionale Abnahme der Wurzellängendichte mit der Tiefe kann u. U. die Folge einer Bodenverdichtung sein.

Einstufung und Bewertung der Packungsdichte:

- bei Pd 1 und Pd 2 ist der Boden locker, die Wasser- und Luftdurchlässigkeit sind hoch bzw. sehr hoch, die Durchwurzelbarkeit sehr gut;
- bei Pd 3 ist der Boden nicht ausgesprochen locker und nicht ausgesprochen dicht, die ökologischen Funktionen sind nicht oder kaum beeinträchtigt;
- bei Pd 4 und Pd 5 ist der Boden verdichtet (schadverdichtet), die ökologischen Bodenfunktionen werden stark bzw. sehr stark beeinträchtigt.

Beispiele:

Pd 1 unlängst bearbeitete Ackerkrume: sehr locker

Pd 2 abgesetzte Ackerkrume: locker

Pd 3 gut abgesetzte Ackerkrume: nicht direkt locker, aber auch nicht dicht; normaler Unterboden von Braunerden (Bv-Horizont) oder Parabraunerden (Kt-Horizont, alt Bt-Horizont): nicht direkt locker, aber auch nicht dicht; bei Pd 3 ist der Boden nicht lockerungsbedürftig, eine Notwendigkeit zur mechanischen Lockerung besteht nicht

Pd 3–4 suboptimaler Gefügezustand, etwas schadverdichtet, aber eine mechanische Auflockerung ist nicht unbedingt notwendig

Pd 4 stark verdichteter Boden, eindeutig schadverdichtet, mechanische Auflockerung notwendig; häufig an Baustellen oder in unzulänglich rekultivierten Böden

Pd 5 sehr stark verdichteter Boden

Sonderfall Direktsaat bzw. „verlassene Krumenschicht“

Der mechanische Widerstand tendiert in der nicht mehr bearbeiteten Ackerkrume nach langjähriger Direktsaat bzw. in der Unterkrume nach pflugloser Bewirtschaftung in Richtung Stufe 4 (hoch). Zugleich entspricht der Anteil an biogenen Makroporen eher der Stufe 2 oder 2–3. Wenn auch die Wurzelverteilung eher gleichmäßig ist, kann davon ausgegangen werden, dass die ökologischen Bodenfunktionen keinerlei Beeinträchtigung aufweisen. Selbst der erhöhte mechanische Bodenwiderstand kann positiv bewertet werden, da er als Zeichen für eine hohe Tragfähigkeit und geringer Verdichtungsempfindlichkeit gedeutet werden kann. Die Packungsdichte ist daher als Pd 3 einzustufen.

Tab. 54: Bestimmung der Packungsdichte aufgrund von Gefügemerkmalen und Wurzelverteilung

Gefügemerkmale mittlerer Gewichtung			Gefügemerkmale hoher Gewichtung		Gefügeindikator sehr hoher Gewichtung	Packungsdichte (Pd)
Mechanischer Bodenwiderstand	Aggregat-größe	Zusammenhalt des Bodengefüges (Verfestigungsgrad)	Lagerungsart der Aggregate	Anteil biogener Makroporen	Wurzelverteilung	
sehr gering (Wm 1)	sehr fein bis fein (Ag 1-2)	sehr lose (nicht verfestigt) (Zh 1)	sperrig (La 1)	sehr hoch (Mb 1)	gleichmäßig (Wv 1)	Pd 1 sehr gering
gering (Wm 2)	sehr fein bis mittel (Ag 1-3)	lose (nicht verfestigt) (Zh 2)	offen (La 2)	hoch (Mb 2)	gleichmäßig (Wv 1)	Pd 2 gering
mittel (Wm 3)	fein bis grob (Ag 2-4)	mittel (schwach verfestigt) (Zh 3)	halboffen (La 3)	mittel (Mb 3)	fast gleichmäßig (Wv 3)	Pd 3 mittel
hoch (Wm 4)	mittel bis sehr grob (Ag 3-5)	fest (mittel bis stark verfestigt) (Zh 4)	fast geschlossen (La 4)	gering (Mb 4)	starke Häufung in Rissen (Wv 4)	Pd 4 hoch
sehr hoch (Wm 5)	grob bis sehr grob (Ag 4-5)	sehr fest (stark bis sehr stark verfestigt) (Zh 5)	geschlossen (La 5)	sehr gering bis Null (Mb 5)	sehr starke Häufung in Rissen (Wv 5)	Pd 5 sehr hoch

5 Nutzbare Feldkapazität (pflanzenverfügbares Wasser) und Bodenschätzung

Es besteht ein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen der Menge an pflanzenverfügbarem Wasser bzw. der nutzbaren Feldkapazität (nFK) im durchwurzelbaren Bodenraum und der Bodenzahl bzw. Grünlandgrundzahl der Bodenschätzung.

Nicht nur für die Ertragsfähigkeit von Böden nach dem Bodenschätzungsgesetz, sondern auch die Ertragsfunktion und weitere wesentliche Bodenfunktionen nach dem Bundesbodenschutzgesetz korrelieren ebenfalls eng mit der Menge an pflanzenverfügbarem Wasser bzw. der nutzbaren Feldkapazität (nFK) im durchwurzelbaren Bodenraum.

Zum pflanzenverfügbaren Wasser werden nach Festlegung in der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA3 (AG Bodenkunde 1982) meist nicht nur der Saugspannungsbereich pF 4,2 bis 2,5 zugeordnet, was den Mittelporen mit einem Durchmesser von 10 bis > 0,2 µm entspricht, sondern auch der Bereich pF 2,5 bis 1,8, der die engen Grobporen von 50 bis > 10 µm mit einschließt. Die nutzbare Feldkapazität (nFK), die für den Bereich der Wasserspannung von pF 4,2 bis 1,8 auch die engen Grobporen miteinschließt, wird dadurch bei Lehm- und Tonböden verhältnismäßig gering und bei Sandböden stark erhöht.

Die Beziehung zwischen nFK und Bodenzahl bzw. Grünlandgrundzahl wurde bei der Bodenschätzung mehr intuitiv erfasst. So korrelieren hohe Bodenzahlen bzw. Grünlandgrundzahlen mit hohen nFK-Werten im durchwurzelbaren Bodenraum. Entsprechend niedrige Wertzahlen korrelieren signifikant mit niedrigen nFK-Werten.

Tatsächlich wird zu Vegetationsbeginn auf grundwasserfernen Standorten häufig nur eine Wasserspannung von pF 2,0 oder auch nur 2,5 erreicht. Lysimeteruntersuchungen zeigen, etwa in Buttelstedt im Thüringer Becken, dass die dortigen Lössböden (Braunerde-Tschernosem) meist nur mit einer Wasserspannung von pF 2,5 in die Vegetationsperiode starten. Die engen Grobporen können, müssen aber nicht zur Wasserversorgung der Pflanzen beitragen. Sie stellen insofern „Niemandsland“ dar. In Trockenperioden kommt es dagegen entscheidend auf den Anteil der Mittelporen an.

Sandböden erreichen bei Berücksichtigung der nFK für pF 4,2 bis 1,8 vergleichsweise hohe Werte. Die Werte spiegeln aber, wie die Erfahrungen der landwirtschaftlichen Praxis einschließlich der Beregnungspraxis

zeigen, häufig nicht die tatsächlichen Verhältnisse wider. Auch hinsichtlich der Einstufung nach der Bodenschätzung erscheint die nFK für pF 4,2 bis 2,5 bei Sandböden meist besser geeignet.

Tiefgründig durchwurzelbare Standorte werden praktisch von allen Kulturpflanzen entsprechend tief durchwurzelt. Dagegen sind flachgründige Standorte, die entweder aufgrund von Festgestein oder physiologischen Wurzelbarrieren (Packungsdichte 4) flachgründig sind, auch nur flach durchwurzelt. Während der Wurzeltiefgang der Kulturpflanzen in der Regel vergleichbar ist, kann die Durchwurzelungsintensität sich unterscheiden. So erreichen monokotyle Pflanzen wie Getreide höhere Wurzellängendichten in cm/cm³ als dikotyle Pflanzen wie etwa Raps. Entscheidend für die Ertragsbildung ist nicht der Oberboden, sondern der Unterboden bzw. der Untergrund wie zahlreiche Untersuchungen zeigen.

Die feldbodenkundlichen Ergebnisse sind Grundlage der Abbildung 27. Es wurden dazu keine Messergebnisse von Stechzylinderproben ausgewertet, sondern diese nur auf der Grundlage der im Gelände ermittelten Bodenarten nach Bodenschätzung und nach Bodenkundlicher Kartieranleitung herangezogen.

Dabei wurde vorgegangen, wie es in den einschlägigen Verwaltungsrichtlinien der Bodenschätzung – VR BodSchätzG – unter Punkt 3.1.5.1 Bodenbeschaffenheit und Wasserspeicherfähigkeit unter Absatz 2 vorgesehen ist: „*[1]Die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser hängt einerseits von der Bodenart des Feinbodens und andererseits von der Mächtigkeit des durchwurzelbaren Bodenraumes ab. [2]Zur Abschätzung dieser Größe ist es notwendig, horizontweise – ausgehend von der Bodenart und der Lagerungsdichte – das Speichervermögen an pflanzenverfügbarem Wasser in mm bzw. Vol.-% zu bestimmen. [3]Der Anteil des Grobbodens, z. B. an Steinen und Grus, verringert diese Größe. [4]Die entsprechenden Werte der einzelnen Horizonte sind dann bis zur Durchwurzelungstiefe aufzusummieren.“* (In der ursprünglichen Version des Textes war statt „Lagerungsdichte“ die „Packungsdichte“ vorgesehen und auch gemeint!)

Die sich daraus ergebenden nFK-Werte sind bei den einzelnen Exkursionsprofilen mit dem entsprechenden Geländeformblatt dargestellt und den vergebenen Bodenzahlen bzw. Grünlandgrundzahlen gegenübergestellt.

Es zeigt sich, dass die Standorte Ofterdingen (Profil 1) und Bernloch (Profil 3) fast genau auf der Geraden der Trendlinie liegen. Nehren (Profil 2) und Ödenwaldstetten (Profil 4) liegen über der Geraden. Bei der feldbodenkundlichen Ansprache wurde die ursprüngliche Bewertung des Profils 2 als Musterstück in Nehren beibehalten, aber diskutiert, dass die Bewertung des sehr tonreichen Bodens möglicherweise doch etwas zu „stramm“, also tendenziell etwas zu hoch ist. Das gleiche gilt für das Profil 4, Ödenwaldstetten 1. Das Musterstück hat sogar die Bewertung (L 5 V) 47/38; bei der feldbodenkundlichen Ansprache im September 2024 wurde dagegen ein LT 6 Vg 37/28 festgestellt. Selbst die Bodenzahl 37 erscheint bei nachträglicher Betrachtung (möglicherweise) noch als zu hoch.

Profil 5 (Ödenwaldstetten 2) und Profil 6 (Eglingen) sind mit der niedrigen Bewertung offenbar korrekt beurteilt. Die Berechnung der nFK wurde bei der feldbodenkundlichen Bewertung in Eglingen dazu herangezogen, um die Wasserstufe 4– trotz ausgeglichener bzw. schwach positiver Wasserbilanz bei der Grünlandschätzung zu vergeben.

Die Berücksichtigung moderner feldbodenkundlicher Aspekte verändert nicht das Instrumentarium der Bodenschätzung, sondern unterstützt die zutreffende Bewertung. Es ist die Überzeugung der Autoren, dass der so eingeschlagene Weg, nämlich bei der Schätzung etwa auch die nFK im durchwurzelbaren Bodenraum heranzuziehen, der (deutlichen) Qualitätssicherung der Bodenschätzung dient.

Prof. Dr. Tamás Harrach, ehemaliges Mitglied des Schätzungsbeirates beim BMF hat in diesem Zusammenhang den Begriff der „behutsamen Reform der Bodenschätzung“ geprägt. Dazu gehört auch die Anpassung der Zu- und Abrechnungen, um die veränderten klimatischen Bedingungen zu berücksichtigen. Hier kann die österreichische Bodenschätzung wertvolle Hin-

weise und Anregungen liefern. Die Erörterung dieser Thematik würde aber den Rahmen des Exkursionsführers sprengen.

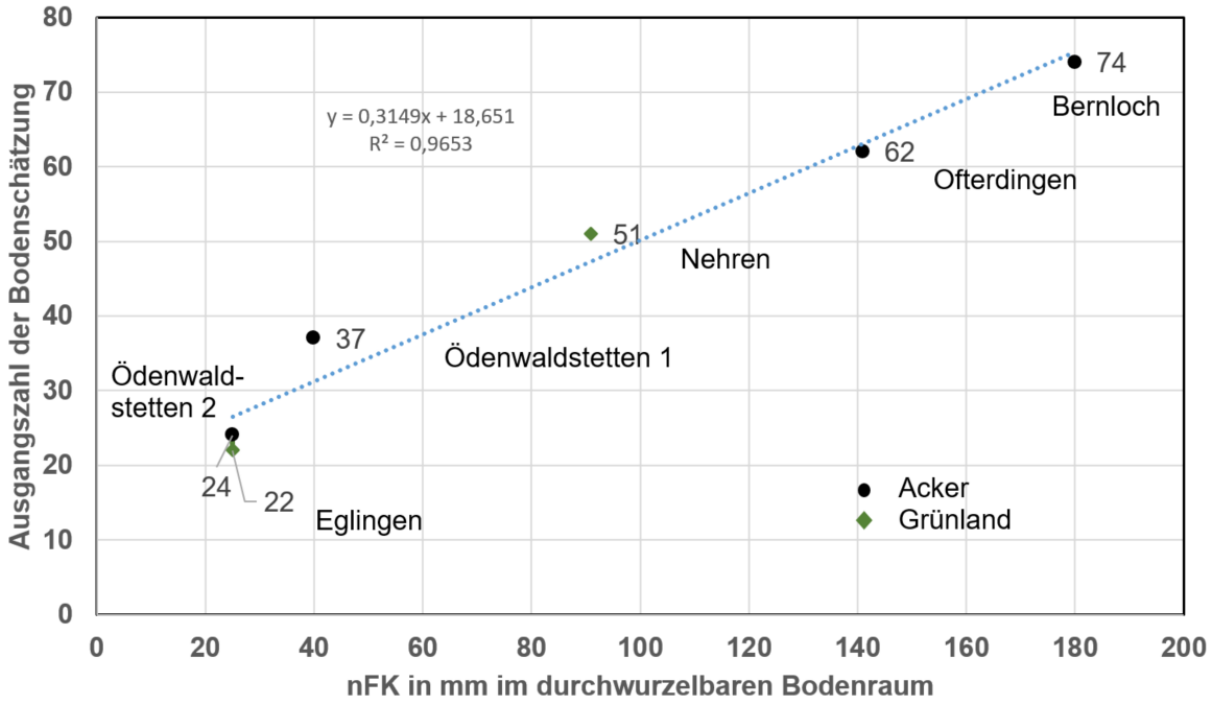


Abb. 25: Menge an pflanzenverfügbarem Wasser bzw. nutzbarer Feldkapazität (nFK) im durchwurzelbaren Bodenraum und Bodenzahl bzw. Grünlandgrundzahl (Ausgangszahl) der Bodenschätzung für die Exkursionsprofile; nFK ermittelt im Gelände nach feldbodenkundlicher Ansprache im September 2024

Bei der feldbodenkundlichen Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität im Gelände liefern Raster- und Isoliniendiagramme für Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes eine wichtige Hilfe. Diese Nomogramme liegen nicht nur für die nutzbare Feldkapazität (nFK), sondern auch für Luft- (LK) und, Feldkapazität (FK) sowie für das Totwasser vor.

Über die Bodenart und die Trockenrohdichte können die Werte hinreichend genau ermittelt bzw. abgeschätzt werden.

Abbildung 26 zeigt ein Nomogramm für die Linien gleichen pflanzenverfügbaren Wasserspeichervermögens (Isolinien) für pF 4,2 bis 1,8 bei einer Trockenrohdichte (TRD) von 1,4 bis 1,6 g/cm³ (Dehner et al. 2009), wie es bei der feldbodenkundlichen Ansprache im September 2024 in leicht abgewandelter Form verwendet wurde.

Bei der feldbodenkundlichen Ansprache von Profilen der Bodenschätzung wird die Bodenart des Feinbodens nach der Nomenklatur der Bodenschätzung erfasst und gleichzeitig in dem Formblatt die Bodenart nach Bodenkundlicher Kartieranleitung mittels eines Symbols im Nomogramm für den jeweiligen Horizont gekennzeichnet. Die dazugehörige nFK kann so bereits im Gelände abgeschätzt werden. Die Nomogramme wurden in leicht veränderter Form in die sechste Ausgabe der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 6) übernommen.



Abb. 26: Nomogramm: Linien gleichen pflanzenverfügbaren Wasserspeichervermögens (Isolinien) für pF 4,2 bis 1,8 bei einer Trockenrohdichte (TRD) von 1,4-1,6 g/cm³; Mittelwerte für Bodenarten (n ≥ 3)
aus: Dehner et al. 2009

6 Beurteilung der Wasserverhältnisse bei der Grünlandschätzung

Bei der Grünlandschätzung kommt der Beurteilung der Wasserverhältnisse eine herausragende Bedeutung zu. Dabei ist nicht nur der Einfluss des Bodens selbst, sondern der Standort in seiner Gesamtheit zu berücksichtigen.

Der Einfluss der Wasserverhältnisse auf die Ertragsfähigkeit des Grünlandes wird durch die nutzbare Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum, den Niederschlag und die Verdunstung sowie durch reliefbedingten Wasserzu- und -abfluss bestimmt. Die klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperiode charakterisiert die Niederschlags- und Verdunstungsverhältnisse.

Bei Grünlandstandorten sind zwei weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Es ist zu klären, ob einerseits in der Vegetationszeit, vor allem im Frühjahr, eine schädliche Vernässung (Luftmangel) vorkommt und / oder ob andererseits die Pflanzen im Sommer von einem Grundwasseranschluss bzw. seitlichem Hangwasser profitieren. Sofern diese Fragen anhand des Bodenprofils nicht geklärt werden können, kann der standorttypische Pflanzenbestand des Grünlands wichtige Informationen liefern. In Zweifelsfällen kann eine Begehung im Frühjahr und / oder im Sommer bzw. eine

Befragung des Landwirts, der das Grünland bewirtschaftet, hilfreich sein.

Die pflanzensoziologische Zusammensetzung der Vegetation und der daraus ableitbare ökologische Feuchtegrad sind darüber hinaus geeignet, die nachhaltigen Wasserverhältnisse zu beurteilen. Pflanzen sind nicht nur durch die aus landwirtschaftlicher Sicht wichtigen Futterwertzahlen (FWZ) charakterisiert, sondern auch durch ökologische Kennzahlen. Dazu gehören die Feuchtezahlen (FZ). Die Ansprache der Wasserverhältnisse durch Pflanzenbestand und ökologischen Feuchtegrad gelingt umso eher, je weniger intensiv das Grünland genutzt wird. Tabelle 55 zeigt die Ausprägungsgrade des Ökologischen Feuchtegrades.

Die Ableitung von Bodenfunktionen aus der Grünlandschätzung bereitet – so zumindest in Hessen und Rheinland-Pfalz – Probleme. Die Ursachen liegen zum einen darin, dass im Gegensatz zur Ackerschätzung die einzelnen Parameter, wie die Bodenart oder die Bodenstufe, weniger differenziert werden. Zum anderen wird bei der Beurteilung der Wasserverhältnisse die Wasserstufe 1 praktisch nicht vergeben.

Tab. 55: Bezeichnung des Ökologischen Feuchtegrades

Kurzbezeichnung	Ausprägung
1	äußerst trocken
2	sehr trocken
3	trocken
4	mäßig trocken
4w	wechseltrocken
5	mäßig frisch
6	frisch
6w	wechselfrisch
7	feucht
7w	wechselfeucht
8	nass
8w	wechselnass
9	sehr nass
9ü	sehr nass mit zeitweiligem Wasserüberstau

Hinzu kommt, dass zwar in den Verwaltungsvorschriften zum Gesetz zur Schätzung des landwirtschaftlichen Kulturbodens (Bodenschätzungsgesetz – BodSchätzG) – VR BodSchätzG – (BStBl I 2021, 1767) ausgeführt wird: „*Die pflanzensoziologische Zusammensetzung der Vegetation und der daraus ableitbare ökologische Feuchtegrad sind darüber hinaus geeignet, die nachhaltigen Wasserverhältnisse zu beurteilen*.“, aber tatsächlich ein hoher Schulungsbedarf für eine entsprechend zutreffende Ansprache bei der praktischen Bodenschätzung besteht. Es zeigt sich, dass die richtige Ansprache der Wasserverhältnisse insofern eine anspruchsvolle Aufgabe darstellt.

In 2015 wurde an der Justus-Liebig-Universität Gießen eine Master-Arbeit zur Beurteilung und Erfassung der Wasserverhältnisse durch die Bodenschätzung bzw. den Ökologischen Feuchtegrad gefertigt. Der Vegetationsaufnahme zur Bestimmung des Ökologischen Feuchtegrades nach der Methode von Josias Braun-Blanquet (pflanzensoziologische Aufnahme in einem Raster 5 m x 5 m) wurde die Zeigerpflanzen-Methode nach Gunther Kunzmann gegenübergestellt. Kunzmann verwendet Zeigerpflanzen, um den Wasserhaushalt von Grünlandstandorten zu kennzeichnen. Wichtig dabei ist, auch die Zeigerpflanzen zu kennen, die den Nährstoffversorgungsgrad der Grünlandbestände anzeigen.

Pflanzen können bei einer schlechten Nährstoffversorgung in feuchtere Bereiche eindringen, bei einem guten Nährstoffangebot dagegen auch trockenere Standorte besiedeln (Kunzmann1989, S. 237).

Der ökologische Feuchtegrad ermöglicht es, den Gesamteinfluss des Wasserhaushaltes eines Standortes aus dem Pflanzenbestand zu erfassen. Er kann definiert werden als der „an der Vegetation erkennbare und pflanzensoziologisch definierbare, langfristige Gesamteffekt aller hydroökologischen Faktoren eines Standortes, einschließlich des Einflusses von Boden, Klima und Relief“. Insofern ist es zu erwarten, dass der Ökologische Feuchtegrad wichtige Informationen liefern kann, die bei der Bodenschätzung verwendet werden können, um die Wasserverhältnisse eines Standortes zutreffend zu charakterisieren.

Dabei ist die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser (Wpfl) entscheidend.

Abbildung 27 gibt einen schematischen Überblick über den Zusammenhang zwischen den Wasserverhältnissen und der Grünlandgrundzahl der Bodenschätzung. Dabei handelt es sich nicht nur um eine Boden-, sondern um eine Standortbewertung.

Hinsichtlich der Wasserverhältnisse werden beim Grünland grundsätzlich die Ausprägungen trocken, frisch, feucht und nass unterschieden. Bei der Beurteilung der Wasserverhältnisse muss zusätzlich zu den Zeigerarten auch die Nutzungsintensität berücksichtigt werden.

Die Zeigerpflanzenlisten nach G. Kunzmann können bei Bedarf nach Region ergänzt werden. Die Tabelle 56 listet Zeigerpflanzen für den Wasserhaushalt von Grünlandstandorten zur Kennzeichnung des ökologischen Feuchtegrades. Die Tabelle 57 listet Zeigerpflanzen, die den Nährstoffversorgungsgrad von Grünlandbeständen charakterisieren. Die Listen sind nicht nur für die Amtlichen Landwirtschaftlichen Sachverständigen (ALS) hilfreich, sondern auch für die Ehrenamtlichen Bodenschätzer interessant, die aktiv Grünland bewirtschaften, aber darüber hinaus auch für jeden Feldbodenkundler.

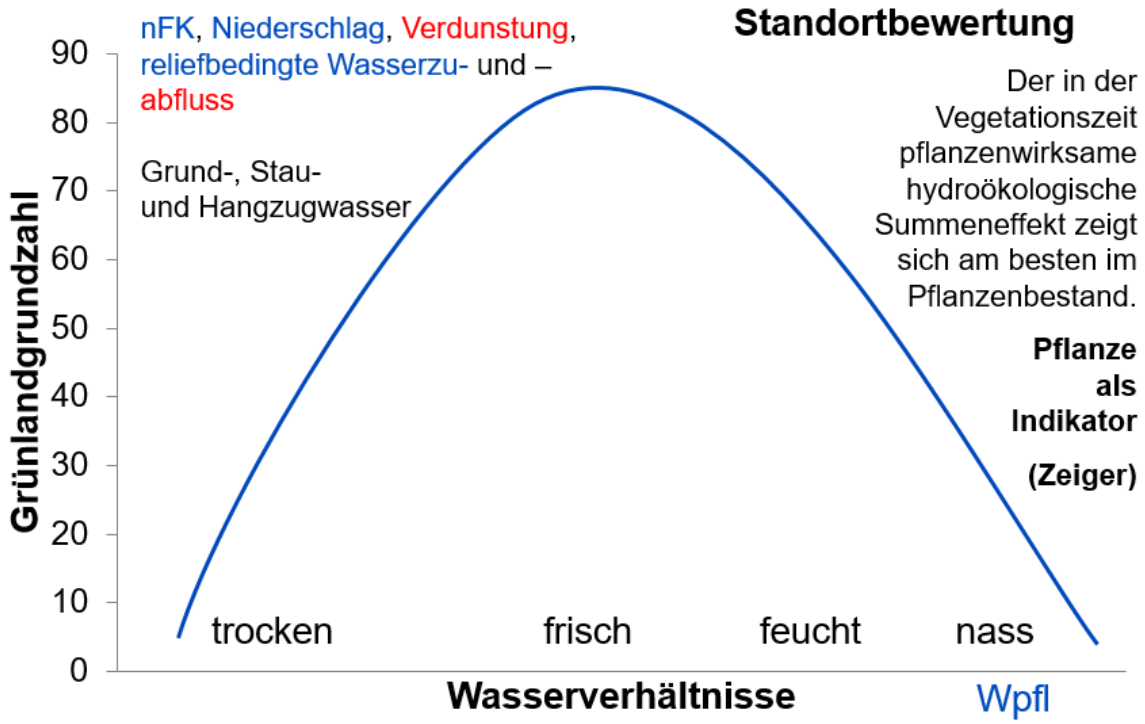


Abb. 27: Schematische Darstellung zur Kennzeichnung der Wasserverhältnisse bei der Bodenschätzung mittels der Ansprache von Zeigerpflanzen (Ökologischer Feuchtegrad), Fortbildungsunterlagen Bernhard Keil, OFD Frankfurt am Main

Tab. 56: Zeigerpflanzen für den Wasserhaushalt von Grünlandstandorten *)

a) Trockniszeiger	*Agrimonia eupatoria* *Bromus erectus* *Campanula glomerata* *Campanula rapunculus* *Daucus carota* *Festuca ovina* agg. *Hieracium pilosella* *Koeleria gracilis* *Myosotis ramosissima* *Phleum phleoides* *Plantago media* *Potentilla verna* agg. *Salvia pratensis* *Sanguisorba minor* *Trifolium medium* *Viola hirta*	Gewöhnlicher Odermennig Aufrechte Trespe Knäuel-Glockenblume Rapunzel-Glockenblume Wilde Möhre Schaf-Schwingel Mausohr-Habichtskraut Zierliche Kammschmiele Hügel-Vergissmeinnicht Glanz-Lieschgras Mittlerer Wegerich Frühlings-Fingerkraut Wiesen-Salbei Kleiner Wiesenknopf Mittlerer Klee Rauhaariges Veilchen
b) Mäßig-Trocknis-Zeiger	*Achillea millefolium* *Knautia arvensis* *Ranunculus bulbosus* *Saxifraga granulata* *Vicia sepium*	Schafgarbe Acker-Witwenblume Knollen-Hahnenfuß Knöllchen-Steinbrech Zaun-Wicke
c) Mäßig-Frischezeiger	*Anthriscus sylvestris* *Arrhenatherum elatius* *Crepis biennis* *Pimpinella major* *Dactylis glomerata* *Galium album* *Heracleum sphondylium* *Poa pratensis* (s.str.)	Wiesen-Kerbel Glatt-Hafer Wiesen-Pippau Große Bibernelle Knäuel-Gras Wiesen-Labkraut Wiesen-Bärenklau Wiesen-Rispe
d) Frischezeiger	*Ajuga reptans* *Alopecurus pratensis* *Festuca pratensis* *Glechoma hederacea* *Holcus lanatus* *Phleum pratense* *Ranunculus acris* *Ranunculus auricomus* agg.	Kriechender Günsel Wiesen-Fuchsschwanz Wiesen-Schwingel Gundermann, Gundelrebe Wolliges Honiggras Wiesen-Lieschgras Scharfer Hahnenfuß Gold-Hahnenfuß
e) Wechsel-Frischezeiger	*Cardamine pratensis* *Colchicum autumnale* *Lysimachia nummularia* *Sanguisorba officinalis*	Wiesen-Schaumkraut Herbst-Zeitlose Pfennigkraut Großer Wiesenknopf

f) Feuchte Zeiger	*Agrostis gigantea* *Bromus racemosus* *Poa trivialis* *Rumex crispus* *Trifolium hybridum*	Riesen-Straußgras Trauben-Trespe Gemeine Rispe Krauser Ampfer Schweden-Klee
g) Wechsel-Feuchtezeiger	*Deschampsia cespitosa* *Lychnis flos-cuculi* *Ranunculus repens* *Silaum silaus*	Rasen-Schmiele Kuckucks-Lichtnelke Kriechender Hahnenfuß Wiesen-Silge
h) Nässezeiger	*Achillea ptarmica* *Carex panicea* *Carex fusca* *Filipendula ulmaria* *Lotus uliginosus* *Lythrum salicaria* *Myosotis palustris agg.* *Phalaris arundinacea* *Poa palustris* *Senecio aquaticus*	Sumpf-Schafgarbe Hirsen-Segge Braun-Segge Großes Mädesüß Sumpf-Hornklee Blut-Weiderich Sumpf-Vergissmeinnicht Rohr-Glanzgras Sumpf-Rispengras Wasser-Greiskraut
i) Wechsel-Nässezeiger	*Agrostis stolonifera* *Equisetum palustre* *Juncus articulatus* *Juncus conglomeratus* *Juncus effusus*	Flecht-Straußgras Sumpf-Schachtelhalm Glieder-Binse Knäuel-Binse Flatter-Binse
k) Stark-Nässezeiger	*Caltha palustris* *Galium palustre* agg. *Juncus acutiflorus* *Ranunculus flammula* *Scirpus sylvaticus* *Stellaria alsine*	Sumpf-Dotterblume Sumpf-Labkraut Spitzblütige Binse, Wald-Binse Brennender Hahnenfuß Wald-Simse Quell-Sternmiere
l) Zeiger für zeitweiligen Wasserüberstau	*Alopecurus geniculatus* *Carex disticha* *Carex gracilis* *Carex vulpina* *Eleocharis palustris* *Eleocharis uniglumis* *Glyceria maxima* *Phalaris arundinacea*	Knick-Fuchsschwanz Kamm-Segge Schlank-Segge Fuchs-Segge Gewöhnliche Sumpfbinse Einspelzige Sumpfbinse Großes Süßgras Rohr-Glanzgras

*) aus: Kunzmann (1989)

Tab. 57: Zeigerpflanzen für den Nährstoffversorgungsgrad der Grünlandbestände *)

I. Magerkeitszeiger allgemein	*Agrostis capillaris*	Rotes Straußgras
	Avenochloa pubescens	Flaum-Hafer
	Campanula rotundifolia	Rundblättrige Glockenblume
	Carex pilulifera	Pillen-Segge
	Festuca rubra agg.	Rot-Schwingel
	Hieracium pilosella	Mausohr-Habichtskraut
	Hypochaeris radicata	Gewöhnliches Ferkelkraut
	Leontodon hispidus	Rauhaariger Löwenzahn
	Luzula campestris	Feld-Hainsimse, Hasenbrot
	Pimpinella saxifraga	Stein-Bibernelle
	Rhinanthus minor	Kleiner Klappertopf
	Stellaria graminea	Gras-Sternmiere
	Trifolium dubium	Faden-Klee
II. Magerkeitszeiger der feuchten und nassen Standorte	*Agrostis canina*	Hunds-Straußgras
	Betonica officinalis	Heil-Ziest
	Carex fusca	Braun-Segge
	Carex leporina	Hasenfuß-Segge
	Carex panicea	Hirsen-Segge
	Molinia caerulea	Pfeifen-Gras
	Succisa pratensis	Teufelsabbiss
	Luzula multiflora	Vielblütige Simse
	Hypericum maculatum	Geflecktes Johanniskraut
III. Magerkeitszeiger auf feuchten Flächen, auf anderen Standorten aber Trockniszeiger	*Daucus carota*	Wilde Möhre
	Festuca ovina agg.	Schaf-Schwingel
	Knautia arvensis	Acker-Witwenblume
	Lotus corniculatus	Gewöhnlicher Hornklee
	Plantago media	Mittlerer Wegerich
	Ranunculus bulbosus	Knollen-Hahnenfuß

*) aus: Kunzmann (1989)

Im Rösch-Kurandt (1950), dem Standardwerk der Bodenschätzung, wird zur Beurteilung der Wasserverhältnisse auf Seite 55 ausgeführt: „*Die weitere Gliederung des Schätzungsrahmens ist vorgenommen auf Grund der Wasserverhältnisse, die für das Grünland eine erheblich größere Bedeutung haben als für das Ackerland. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Grundwasser und Niederschläge zusammen den Feuchtigkeitsgrad des Grünlandes bestimmen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass je nach den Bodenverhältnissen (z. B. Sand, Ton) die gleiche Wassermenge einen ganz verschiedenen Feuchtigkeitszustand bewirkt. Diese Umstände erschweren natürlich eine unmittelbare Kennzeichnung und Beurteilung der Wasserverhältnisse. Daher ist im Allgemeinen nur eine mittelbare Beurteilung der Wasserverhältnisse auf Grund des nachhaltigen und durchschnittlichen Feuchtigkeitszustandes des Bodens möglich, dieser aber kommt in der Regel am besten zum Ausdruck in dem Pflanzenbestand*.“

7 Nutzung der Bodenschätzung für die Bodenfunktionsbewertung nach dem Bundesbodenschutzgesetz BBodSchG

Die Muster- (MSt) und Vergleichsstücke (VSt) bieten die Möglichkeit, am Objekt und vor Ort die Ansprache der Böden durch die Bodenschätzung kennenzulernen. Umgekehrt können die Bodenschätzer vom Wissen der bodenkundlichen Dienste profitieren. Darüber hinaus eigenen sich MSt und VSt zur Analyse und Interpretation von Acker- und Grünlandschätzungsrahmen.

Die Muster- und Vergleichsstücke liefern insofern wichtige Informationen, um Bodenschätzungsdaten auszuwerten und Bodenfunktionen und -eigenschaften für nichtsteuerliche Anwendungen gemäß § 1 Bodenschätzungsgesetz (BodSchätzG) abzuleiten Sie dienen außerdem dazu, Methoden zur Auswertung der Bodenschätzung und deren nichtsteuerlichen Verwendung zu erstellen und zu prüfen (Validierung). Die große Anzahl der Vergleichstücke im Vergleich zu den Musterstücken ermöglicht statistisch abgesicherte Ergebnisse.

In Baden-Württemberg wird derzeit die Bodenschätzung flächendeckend digitalisiert. Damit kann nun vom LGRB parzellenscharf die Bodenfunktionsbewertung abgeleitet und den Nutzerinnen und Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Bislang ist dies lediglich basierend auf den Flurstücksgrenzen der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) und den Angaben zur Bodenschätzung aus dem automatisierten Liegenschaftsbuch (ALB) flurstückbezogen möglich.

Bei der Bodenfunktionsbewertung kommt der nutzbaren Feldkapazität im Bodenprofil eine herausragende Bedeutung zu (Abb. 28). Viele Bodenfunktionen werden von dieser Größe maßgeblich beeinflusst, wie die nachfolgende Darstellung zeigt. Neben allgemeinen Beispielen von Böden sind auch die Exkursionsprofile den einzelnen Spannen der nFK zugeordnet.

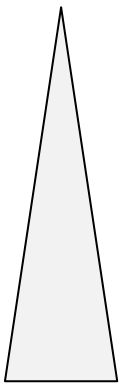
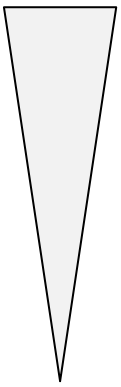
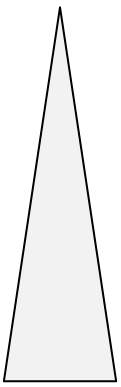
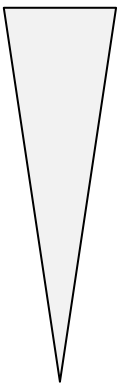
nFK in mm	Allgemeine Beispiele // Einordnung Exkursionsprofile	Ertragsfähigkeit	Sickerwassermenge	Nitratrückhaltefähigkeit	Bedeutung für Naturschutz
< 50 sehr gering	flachgründige Böden (Felsrendzina, Rendzina) // *Profile 4, 5 und 6*	sehr gering	sehr hoch	sehr gering	sehr groß
50-90 gering	Podsol aus Grobsand bzw. Hangschutt, flache Braunerde // *Profil 2*				
90-150 mittel	Braunerden aus lehmigen Sand // *Profil 1*				
150-200 hoch	Braunerden aus tonigem Lehm, mittel steinig // *Profil 3*				
200 sehr hoch	tiefgründige Lössböden (Parabraunerde, Kolluvisol)	sehr hoch	sehr gering	sehr hoch	sehr gering

Abb. 28: Nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum von Böden (nFKdB bzw. nFKWe) und deren Einfluss auf einzelne Bodenfunktionen sowie Einordnung der Exkursionsprofile; leicht verändert nach Harrach & Sauer (2002)

8 Methoden

Die Bodenansprache wurde gemäß IUSS (2022) und AG Boden (2024) sowie Regelwerk der Bodenschätzung durchgeführt.

Die Bodenklassifikation erfolgte ebenfalls nach AG Boden (2024) und IUSS (2022) sowie Regelwerk der Bodenschätzung.

Bodenphysikalische Methoden

Die Korngrößenbestimmung erfolgte gemäß der kombinierten Sieb- und Pipettmethode nach Köhn (ISO 11277), die Trockenrohdichte (TRD, g/cm³) wurde durch Trocknen von ungestörten Stechzylinderproben nach DIN 19683-12 bestimmt. Die Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen wurden bis pF 2,8 durch Druckentwässerung von Stechzylinderproben (100 cm³) und für pF 4,2 an gestörten Teilproben bestimmt (DIN 19683-5, modifiziert).

Bodenchemische Methoden

Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtkohlenstoff (C_t) und Gesamtstickstoff (N_t) wurde durch Verbrennung im Elementaranalysator bestimmt, die Berechnung des Karbonatgehalts erfolgte durch Abzug des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) vom Gesamtkohlenstoff (C_t).

Pflanzenverfügbares Phosphat (P_2O_5) und Kalium (K_2O) wurde im Calciumlactat-Auszug, pflanzenverfügbares Magnesium (Mg) im Calciumchlorid-Auszug analysiert (VDLUFA 1991). Die Bestimmung der potentiellen Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) erfolgte im $BaCl_2$-Extrakt nach DIN ISO 13536 (modifiziert), die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) nach Extraktion mit NH_4Cl im Schüttelverfahren beim pH des Bodens. Die pH-Messungen in $CaCl_2$ und H_2O erfolgten durch elektrometrische Messung (DIN ISO 10930).

Literatur

AG Bodenkunde (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. 3. Aufl., 331 S., Hannover.

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung, 6. Aufl. – Band1: Grundlagen, Kennwerte und Methoden; Band 2: Geländeaufnahme und Systematik. 6. komplett überarbeitete und erweiterte Auflage., 552 S., Hannover.

Bleich, K. E. (2000): Bodenmusterbildung in mitteleuropäischen Kalksteingebieten unter dem Einfluss alter und junger Verkarstung. – Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V., 46, S. 11–14.

Bodenschätzungsgesetz vom 20. Dezember 2007 (BGBl. I S. 3150, 3176), zuletzt durch Artikel 33 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 411) geändert.

Dehner, U. & T. Vorderbrügge, T. Harrach (2009): Raster- und Isoliniendiagramme für Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes. Bonn.

Harrach, T. und S. Sauer (2002): Zeitliche und räumliche Aspekte der Beziehung von Landwirtschaft und Naturschutz aus bodenkundlicher Sicht. Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holsteins. Flintbeck.

IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

Keil, B. (1991): Das Ertragspotential des Standortes als Funktion der Speicherkapazität des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser. Dissertation, Gießener Bodenkundliche Abhandlungen, Band 7. Gießen.

Kösel, M. & Fleck, W. (2017): Periglaziäre Lagen – Ansprache und Gliederung in der feldbodenkundlichen Praxis und ihre Bedeutung für die Bodenbildung. – Beispiele aus Teilgebieten der Südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft von Baden-Württemberg. – LGRB-Fachbericht, 2017/1, S. 1–78, Freiburg i. Br. (Regierungspräsidium Freiburg – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau).

Kunzmann, G. (1989): Der Ökologische Feuchtegrad als Kriterium zur Beurteilung von Grünlandstandorten – ein Vergleich bodenkundlicher und vegetationskundlicher Standortmerkmale. Dissertationes Botanicae 134, J. Cramer, Berlin/Stuttgart

Kunzmann, G. (1990): Die Bestimmung des Ökologischen Feuchtegrades von Grünlandstandorten mit einem modifizierten Zeigerartenverfahren. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 31, 368 – 380. © 1990, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.

Pfeffer, K. H. (2004): Zur Bodengeographie der Schwäbischen Alb – Eine Bilanz aus Literatur und Geländebefunden. – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe D, 10, S. 73–93.

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2015): Bodenkarte 1 : 50 000, Geodaten der Integrierten geowissenschaftlichen Landesaufnahme (GeoLa); mit jährlicher Aktualisierung. https://www.lgrb-bw.de

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2019): Geowissenschaftliches Informationsportal LGRBwissen, https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/ [abgerufen am 27.08.2024]

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2021): LGRB-BW GÜK300: Geologische Übersichtskarte 1 : 300 000. https://www.lgrb-bw.de

Rösch, A. und Kurandt, F. (1950): Bodenschätzung und Liegenschaftskataster. 3. Auflage, Carl Heymanns Verlag, 300 S., Berlin.

Verwaltungsrichtlinien zum Gesetz zur Schätzung des landwirtschaftlichen Kulturbodens (Bodenschätzungsgesetz – BodSchätzG) VR BodSchätzG. Gleichlautende Erlasse der obersten Finanzbehörden der Länder vom 22. September 2021 (BStBl I 2021, 1767).

Werner, J. (1958): Zur Kenntnis der Braunen Karbonatböden (Terra fusca) auf der Schwäbischen Alb. – Arbeiten aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Stuttgart, N. F. 16, S. 1–94.

E14: Querschnitt durch die Böden und Landschaften des Langenauer Riedes und der württembergischen Ostalb

Karl Stahr

Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre

1 Einleitung

Bevor wir auf die Ostalb fahren, lernen wir das sehr feuchte Tiefland des Langenauer Riedes / Donaumoos mit Tschernosem und Kalkmoor kennen. Die Ostalb ist bzw. war im Tertiär vom Molassebecken überlagert und hatte einen Teil, der sich daraus erhob und sehr alte Böden erhalten hat. Im Steinheimer Becken schlug vor 15 Millionen Jahren ein kleiner Meteor ein. Danach entstand darin ein tiefer See, der inzwischen ausgelaufen ist. Auf der alten Hochfläche der Alb finden wir weit verwitterte Böden, die man in einer Kalksteinlandschaft nicht erwartet. Das sind stark staunasse und podsolierte Böden, und sie gipfeln in einem ferralitischen Boden. Jeder Punkt ist ein Höhepunkt: Der Gegensatz ist das Moor im Vergleich zu den alten Böden der Ostalb.

2 Exkursionsgebiet

Tübingen: Die Exkursion führt von Tübingen zunächst nach Norden entlang des Neckartales. Die begleitenden Hänge bestehen aus Pelosolen und Braunerden, die sich aus den Gesteinen des oberen Keupers und des Rhäts (Rhätsandstein) entwickelt haben.

Wendlingen: Im weiteren Verlauf queren wir Pelosole und staunasse Böden, die sich aus den Gesteinen des unteren Juras entwickelt haben. Im Tal des Neckars finden wir Auenböden und Gleye.

Kirchheim: Bei Wendlingen verlassen wir das Neckartal und biegen mit der Autobahn A8 nach Osten in das Albvorland ein. Die Landschaft ist weiterhin aus unterem und später mittlerem Jura aufgebaut und trägt genauso Pelosole und staunasse Böden.

Weilheim: Auf der Südseite begleitet uns der steile Albaufstieg. Mit dem Randecker Maar und der Limburg haben wir hier auch Anteil an Erscheinungen des Schwäbischen Vulkans.

Aichelberg: Die Autobahn erreicht den Anstieg auf die Schwäbische Alb, der am Aichelberg und bei Wiesensteig in zwei Stufen geschieht. Hier finden wir Rendzinen in den Formen der Fels-Locker- und Gerüstrendzinen sowie nochmals Pelosole.

Merklingen: Nach dem Aufstieg erreichen wir zunächst die Kuppenalb – ein Gebiet, das seit dem Jura an der Oberfläche liegt. Schließlich queren wir die Klifflinie und fahren damit über den Bereich, der im Miozän vom Molassemeer überflutet war.

Ulm: Die Talaue der Donau mit der Münsterstadt lassen wir rechts liegen und queren die Talaue mit ihrem Auwald erst östlich des Autobahnkreuzes Elchingen.

Günzburg: Nach der Querung der Donauniederung erreichen wir die Iller-Lech-Platte, eine Schotter-Terrassentreppe (Günz bis Holozän), die nördlich von der Donau abgeschnitten wird. Dort verlassen wir die Autobahn und queren Richtung Norden das Donaumoos.

Sontheim a. d. Brenz: Punkt 1; Profilnr. 246: auf einer lössbedeckten Terrassenfläche am Nordrand des Donaumooses (Sternmieren-Stieleichen-Hainbuchenwald).

Langenauer Ried: Stark entwässertes Niedermoor (Niederterrasse) am Albsüdrand (Landeswasserversorgung) in der Donauniederung (**Punkt 2**; Profil 250), ursprünglich Schwarzerlen-Bruchwald. In der Nähe alte Karstwasser-Aufbrüche mit Sinterkalk / Wiesenkalk.

Schwäbische Alb: Als höchste und jüngste Stufe der Schichtstufenlandschaft, Weißjura-Kalkstein; Hebung im Westen stärker als im Osten, dort ältere, hier jüngere Schichten erhalten, nach Osten zunehmend ältere Landoberflächen (Bodenrelikte aus dem Tertiär). Durch Verkarstung enges Talnetz, aber weites Gewässernetz; mehrphasig verfüllte Karsthohlformen (Dolinen). In Trockentälern Kolluvium mit starker Ackernutzung; durch Kahlschlag und Schafhut erodierte Hänge mit Trockenrassen; inselförmig mehr oder weniger urspr. Laubwald, starke Fichtenaufforstung.

Holzkirch: Flächenalb mit fluviatil zerschnittener Hochfläche, stark verflacht durch miozäne Sedimentation, fluviatile Erosion (der Lone und ihrer Nebenflüsse) und Lössbedeckung. Parabraunerde-Terra fusca-Rendzina-Braunerde, tiefgründige Böden unter Acker und Wiese, flachgründige unter Wald oder Wacholderheide (**Punkt 3**; Profil 049), Waldmeister-Buchenwald.

Hungerbrunnental: Seitental der Lone mit episodisch fließender Karstquelle am Talrand (Wacholderheiden).

Heldenfingen: **Punkt 4**: Kliff des mittelmiozänen Meeres Gerstetten, Kuppenalb mit alter Zertalung und Verkarstung.

Steinheim a. A.: Punkt 5: Meteoritenkrater mit mittelmiozänen Seesedimenten (jung freigeräumt).

Heidenheim / Brenz: Tief eingeschnittenes Brenztal, Hochflächen aus Kalksandstein mit ferntransportiertem Riffschutt (Brenztal-Oolith = oberster Weißjura).

Nattheim: Auf Hochflächen alttertiäre Bohnerztone als nahtransportierte Sedimente der Molasse (**Punkt 6**; Profil 1423).

„Vesperplatz“: (Punkt 7): Trockental Oberjura mit Halbtrockenrasen, Orchideen-Buchenwald und Waldmeister-Buchenwald (Syrosem bis Rendzina).

Ochsenberg: Inselförmige Bodenrelikte auf mitteltertiärer, zertalter Verebnungsfläche (alter Brenzlauf in Talmulde), z. T. unter Lössfließerde (**Punkt 8**; Profil 1426), Buche mit Waldmeister, Hainsimse und Seegras.

Oberkochen: Fließerde-Hang mit quartärem Feuersteinschutt (**Punkt 9**; Profil 498). Fichte und Zwergsträucher, ursprünglich Hainsimsen- (Tannen-) Buchenwald. Rückkehr ins Tal der früheren Brenz (entspringt heute weiter südlich in Königsbronn aus einem Quelltopf), am linken Talrand Kocher-Karstquelle.

Aalen: Tiefeingeschnittenes Kochertal. Auf schuttbedeckten Kalkmergelhängen Rendzina mit Wacholderheiden und Wiesen mit alten Brenzterrassen, Braunerde-Parabraunerde mit Ackernutzung.

Tauchenweiler: Alte Mulde, mit tertiärzeitl. Bodensedimenten verfüllt (**Punkt 10**; Profilnr. 500); Buche mit Hainsimsen und Zwergsträuchern.

Essingen: Albtrauf aus Weißjura α-ξ-Gesteinen (geringer mächtig als in Südwürttemberg).

Rückfahrt über Böhmenkirch, Geislingen an der Steige, Göppingen, Wendlingen, Tübingen. Bis Geislingen queren wir die Hochfläche der Alb (Weißer Jura), danach folgen wir dem Filstal, das in die Hügel des mittleren und unteren Jura eingeschnitten ist. Bei Wendlingen folgen wir der Hinroute in umgekehrter Richtung.

3 Beschreibung der Standorte und Bodenprofile

3.1 Profil 1 / Sontheim a. d. Brenz / Profilnr. 246



Horizont	Farbe	Gefüge
Axh1:	7,5YR 2/2	krü-subpol
Axh2:	7,5YR 3/1	pol
Axh3-Bt:	7,5YR 1,7/1	pol-pri
Go-C:	2,5Y 6/3	koh

Abb. 1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils, Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tab. 1: Standortbeschreibung

Substrat:	(Schwemm-)Löss
Bodentyp:	vergleyter Parabraunerde-Tschernosem
Relief:	Ebene
Exposition:	-
Inklination:	-
Landnutzung:	Laubwald
Vegetation:	Laubwald
Höhenlage:	447 m ü. NHN
N[1]:	700 mm
JMT[1]:	7,5 °C
R:	3594 28
H:	5377 28
WRB:	Luvic Endogleyic Phaeozem

[1]N: mittlere jährliche Niederschlagssumme; JMT: mittlere Jahrestemperatur, jeweils 1991-2020

Profilbeschreibung / Bodengenese

Dieses Profil stellt eine Rarität dar (Abb. 1). Es zeigt eine tiefreichende Humusakkumulation (0,8 m) und Bioturbation (Krümel) im Oberboden. Nach unten wird das Profil deutlich polyedrisch. Die Korngrößenzusammensetzung ist lössähnlich, die Körnungsschichtung spricht aber für einen Auenlehm / Schwemm-Löss. Alle Nährstoffvorräte sind sehr hoch, ebenso die potenzielle und aktuelle Verfügbarkeit. Aus nFK und Grundwasseranschluss ergibt sich ein frischer bis feuchter Standort. Da der Grundwasserstand abgesenkt wurde, hat dieser Standort für die Pflanzenproduktion keine Limitierungen.

Tab. 2: Standorteigenschaften (bis Axh3-Bt)

Gründigkeit [dm]	8	tg
nFK [l/m²]	155	m
FK [l/m²]	345	h
S-Wert [mol/m²]	110	h
P_{la} [g/m²]	17,9	g
K_{la} [g/m²]	53,4	h
Ca_v [kg/m²]	2,4	sh
P_v [kg/m²]	0,5	sh
K_v [kg/m²]	3,1	sh
Mg_v [kg/m²]	2,6	sh
Humus [kg/m²]	44,6	-
N_t [kg/m²]	2,23	sh

Tab. 3: Bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften Profilnr. 246

Horizont	Tiefe [cm]	X [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Textur	LK [%]	nFK [%]	TW [%]
VERGLEYTER PARABRAUNERDE-TSCHERNOSEM									
Axh1	0–23	0	1,6	73,2	25,2	Ut4-	27	28	19
Axh2	–50	0	1,2	70,9	27,9	Tu4	22	19	21
Axh-Bt	–80	0	0,7	65,1	34,2	Tu3-	7	13	30
Go-C	–100	0	1,9	77,4	20,7	Ut4	5	20	17

Horizont	Lagdichte [g/cm³]	Kalk [%]	pH [$CaCl_2$]	Humus [%]	C/N	KAK_{eff} [mmol/kg]	BS [%]	Ca_v [‰]	Mg_v [‰]
VERGLEYTER PARABRAUNERDE-TSCHERNOSEM									
Axh1	0,86	0	5,07	8,5	10,4	286	96	2,4	2,6
Axh2	1,08	0	5,22	4,9	10,8	272	97	2,5	2,9
Axh-Bt	1,28	0	5,86	4,6	13,5	337	99	3,0	3,3
Go-C	1,46	(5-10)	7,37	0,4	n. b.	137	100	38,5	15,5

Horizont	K_v [‰]	K_{cal} [mg/kg]	P_v [‰]	P_{cal} [mg/kg]	Fe_{os} [‰]	$Fe_{o/d}$	Mn_d [‰]	Al_d [‰]	Al_o [‰]
VERGLEYTER PARABRAUNERDE-TSCHERNOSEM									
Axh1	3,4	63,8	0,7	46	5,06	0,59	0,10	n. b.	n. b.
Axh2	3,4	50,0	0,6	22	4,92	0,60	0,08	n. b.	n. b.
Axh-Bt	3,8	66,3	0,5	6	3,58	0,36	0,07	n. b.	n. b.
Go-C	2,6	37,5	0,5	n. b.	3,51	0,19	0,06	n. b.	n. b.

Horizont	Kaolinit [‰]	Illit [%]	WL 10-14 [%]	Chlorit [%]	WL [%]	Smectit [%]
VERGLEYTER PARABRAUNERDE-TSCHERNOSEM						
Axh1	10	19	23	5	11	32
Axh2	10	17	25	3	11	34
Axh-Bt	9	19	24	3	9	36
Go-C	13	12	18	5	13	39

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Stellario-Carpinetum, Sternmieren-Stieleichen-Hainbuchenwald, Eiche (*Quercus robur*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Edellaubholzwald. Sternmiere (*Stellaria holostea*).

Charakteristische Pflanzen: Nährstoffzeiger sind der Giersch (*Aegopodium podagraria*), Goldnessel (*Lamium galeobdolon*), Waldflattergras (*Millium effusum*), Aronstab (*Arum maculatum*). Brennnessel (*Urtica dioica*) als Stickstoffzeiger. Im Unterholz steht Haselnuss (*Corylus avellana*), Weißdorn (*Crataegus spec.*), Gundelrebe (*Glechoma hederacea*). Hohe Schlüsselblume (*Primula elatior*) als Zeiger für frische nährstoffreiche Standorte. Wald-Ziest (*Stachys sylvatica*): gute Nährstoffversorgung. Bachnelkenwurz (*Geum rivale*): Zeiger für mäßige Feuchte. Esche (*Fraxinus excelsior*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), Zittergras-Segge (*Carex brizoides*) in einer Delle weisen darauf hin, dass es dort feuchter ist. Haselwurz (*Asarum europaeum*) als Kalkzeiger, jedoch hier: hoher Basenreichtum.

Standortsaussage: frischer bis mäßig feuchter Standort, basen- und stickstoffreich, nährstoffreich.

Tab. 4: Vegetation Profil 1

Ort	Sontheim
Boden	vergleyter Parabraunerde-Tschernosem
Datum	29.05.2005
Flächengröße [m²]	400
Höhe ü. NHN [m]	447
Baumschicht	
Deckung [%]	90
Höhe [m]	28
Strauchschicht	
Deckung [%]	30
Höhe [m]	5
Krautschicht	
Deckung [%]	100
Höhe [m]	0,4
Baumschicht	
Fraxinus excelsior	4
Quercus robur	2
Acer pseudoplatanus	1
Alnus glutinosa	1
Strauchschicht	
Corylus avellana	2
Carpinus betulus	1
Sambucus nigra	1
Frangula alnus	+
Krautschicht	
Aegopodium podagraria	3
Carex trizoides	3
Ficaria verna	*3*
Anemone nemorosa	2
Lamiastrum galeobdolon	2
Stellaria holostea	2
Arum maculatum	1
Fraxinus excelsior	1
Paris quadrifolia	1
Pulmonaria officinalis	1
Acer pseudoplatanus	+
Brachypodium sylvaticum	+
Galium aparine	+
Geum rivale	+
Milium effusum	+
Phyteum nigrum	+
Phyteuma spicatum	+
Primula elatior	+
Primula veris	+
Urtica dioica	+
Adoxa moschatellina	r
Carex sylvatica	r
Filipendula ulmaria	r
Polygonum bistorta	r

3.2 Profil 2 / Langenau / Profilnr. 250



Horizont	Farbe	Gefüge
nH1:	10YR 2/1	krü-subpol
nH2c:	10YR 2/3	subpol
Gc:	10YR 5/2	griesig
nH3:	7,5YR 2/3	

Abb. 2: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils, Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tab. 5: Standortbeschreibung

Substrat:	Torf und Wiesenkalk
Bodentyp:	Erd-Kalk Niedermoor
Relief:	Ebene
Exposition:	-
Inklination:	-
Landnutzung:	Laubwald
Vegetation:	Laubwald
Höhenlage:	452 m ü. NHN
N:	700 mm
JMT:	7,5 °C
R:	3594 28
H:	5377 28
WRB:	Calcic Rheic Sapric Histisol

Profilbeschreibung / Bodengenese

Dieses Profil repräsentiert einen typischen Standort im Donauried aus Niedermoortorf (Abb. 2–4). Prominent ist die Sekundärkalkausscheidung im Unterboden, die mit lateralen Zuflüssen kalkhaltigen Wassers von der Schwäbischen Alb und der Niederterrasse zusammenhängt. Der Standort ist feucht bis nass (drainageabhängig) und reich an Nährstoffen mit Ausnahme von Kalium. Die Böden agieren aufgrund des hohen Anteils an organischer Substanz als regionale Senken für Schwermetalle.

Tab. 6: Standorteigenschaften (bis nH2c)

Gründigkeit [dm]	4,6	mg
nFK [l/m²]	133	m
FK [l/m²]	206	g
S-Wert [mol/m²]	100	h
P_{la} [g/m²]	12,8	g
K_{la} [g/m²]	10,8	g
Ca_v [kg/m²]	84,5	sh
P_v [kg/m²]	0,15	m
K_v [kg/m²]	0,09	sh
Mg_v [kg/m²]	0,53	h
Humus [kg/m²]	207	-
N_t [kg/m²]	3,1	sh

Tab. 7: Bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften Profilnr. 250

Horizont	Tiefe [cm]	X [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Textur	LK [%]	nFK [%]	TW [%]
ERD-KALK NIEDERMOOR									
nH1	0–26	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	org.	32	29	18
nH2c	–46	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	org.	35	29	13
Gc	–66	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	Ul	33	36	10
nH3	–100	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	org.	38	24	21

Horizont	Lagdichte [g/cm³]	Kalk [%]	pH [$CaCl_2$]	Humus [%]	C/N	KAK_{pot} [mmol/kg]	BS [%]	Ca_v [‰]	Mg_v [‰]
ERD-KALK NIEDERMOOR									
nH1	0,3	(64,5)	6,55	18,5	10,2	776	<99	258	2,3
nH2c	0,14	(79)	6,51	13,8	12,9	608	<99	316	1,2
Gc	1,0	(87)	6,86	9	15,2	449	<99	348	0,9
nH3	0,05	(35,7)	6,53	65,7	20,3	1034	<99	143	1,0

Horizont	K_v [‰]	K_{cal} [mg/kg]	P_v [‰]	P_{cal} [mg/kg]	Fe_{os} [‰]	$Fe_{o/d}$	Mn_d [‰]	Al_d [‰]	Al_o [‰]
ERD-KALK NIEDERMOOR									
nH1	0,5	48,8	0,7	63,1	3,04	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
nH2c	0,1	22,5	0,3	20,9	1,10	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Gc	0,0	15,0	0,2	8,3	0,62	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
nH3	0,2	29,8	0,4	16,5	1,15	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Horizont	Kaolinit [‰]	Illit [%]	WL [%]	Chlorit [%]	WL [%]	Smectit [%]
ERD-KALK NIEDERMOOR						
nH1	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
nH2c	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Gc	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
nH3	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Ursprünglich vorherrschend: Schwarzerlen-Bruchwald, künstlich angelegter Windschutzwald mit Silberweide (*Salix alba*), Pappel (*Populus spec.*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Spitzahorn (*Acer platanoides*), Linde (*Tilia spec.*), Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*).

Charakteristische Pflanzen: Dichte Bodenvegetation, jedoch nicht besonders artenreich: Große Brennnessel (*Urtica dioica*) und Klettenlabkraut (*Galium aparine*) (beide Stickstoffzeiger), wenig Stinkender Robert (*Geranium robertianum*).



Abb. 3: Moorkulturlandschaft bei Langenau im Donauried

Tab. 8: Vegetation Profil 2

Ort	Langenau
Boden	Erd-Kalk-Niedermoor
Datum	29.05.2005
Flächengröße [m²]	-
Höhe ü. NHN [m]	452
Baumschicht (Ia)	
Deckung [%]	30
Höhe [m]	35
Baumschicht (Ib)	
Deckung [%]	90
Höhe [m]	20
Strauchschicht	
Deckung [%]	3
Höhe [m]	10
Krautschicht	
Deckung [%]	60
Höhe [m]	0,4
Baumschicht (Ia)	
Populus x hybrida	3
Baumschicht (Ib)	
Acer pseudoplatanus	3
Fraxinus excelsior	2
Tilia platyphyllos	2
Ulmus glabra	1
Strauchschicht	
Sambucus nigra	1
Krautschicht	
Urtica dioica	3
Galium aparine	2
Acer platanoides	1
Acer pseudoplatanus	1
Geum rivale	1
Fraxinus excelsior	+
Geum urbanum	+
Sambucus nigra	+
Chelidonium majus	r
Euonymus europaeus	r
Benachbart	
Poa trivialis	5
Graben mit	
Phalaris arundinacea	3

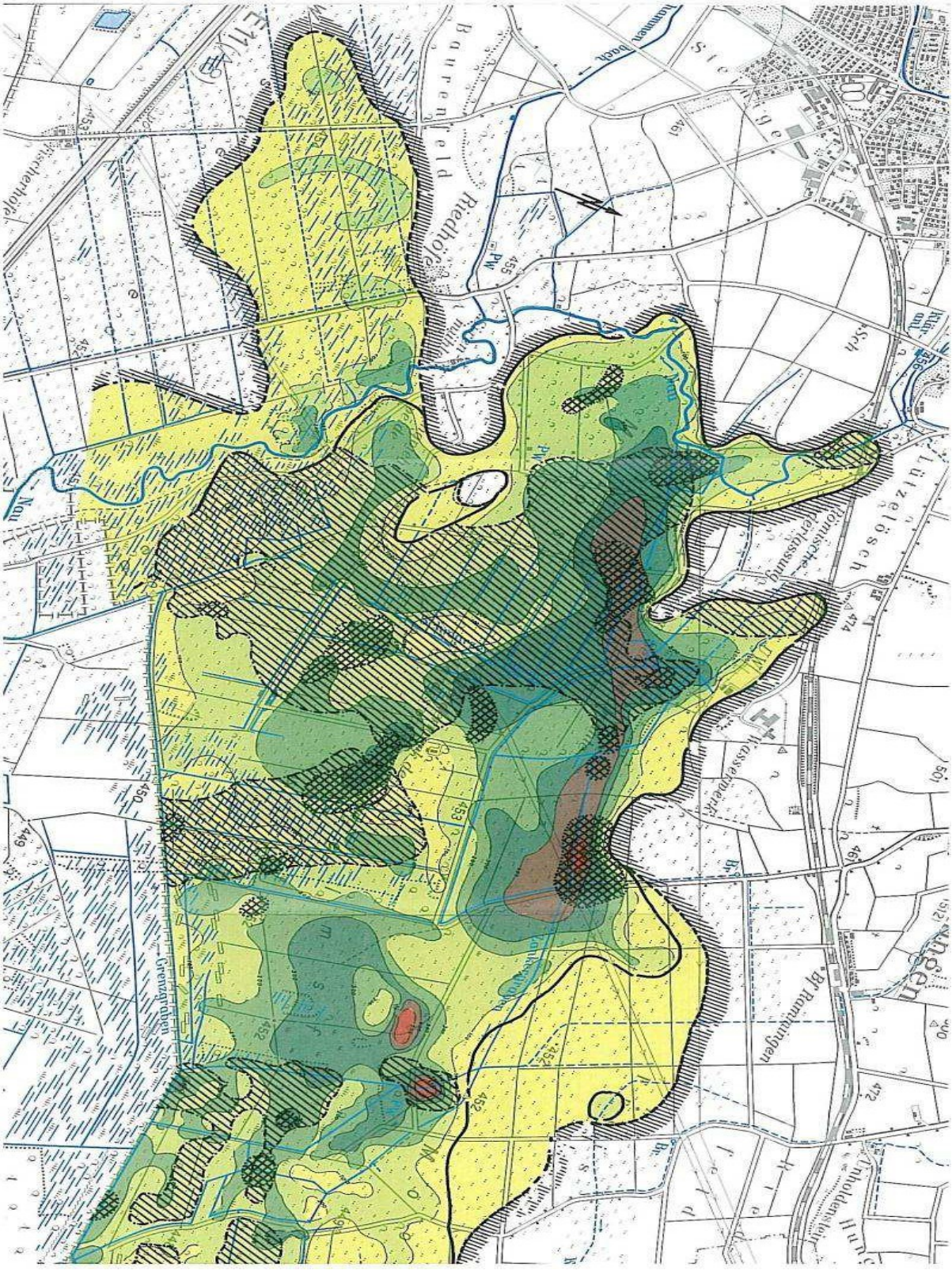


Abb. 4a: Langenauer Ried (Göttlich 1979)

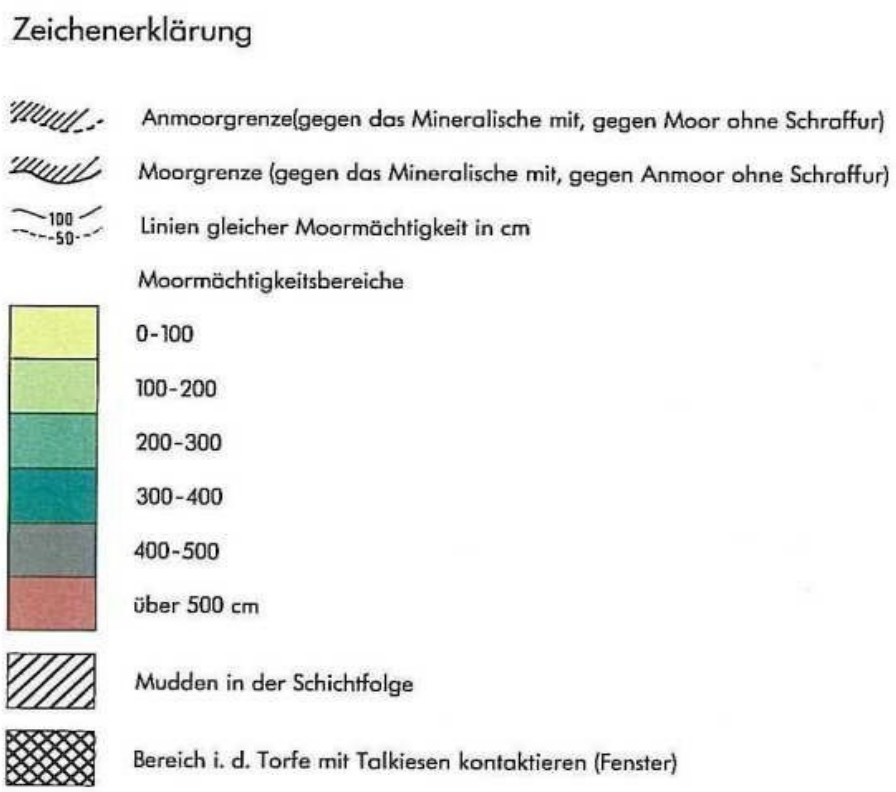


Abb. 4b: Langenauer Ried (Göttlich 1979)

3.3 Profil 3 / Holzkirch / Profilnr. 049



Horizont	Farbe	Gefüge
Ahl:	7,5YR 4/3	krü
Ktv:	7,5YR 5/6	subpol
II Kt-T:	7,5YR 5/8	pol
T-Cv:	5YR 4/8	koh

Abb. 5: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils, Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tab. 9: Standortbeschreibung

Substrat:	Löss ü. (wjɛ) Dolomit, Kalkstein
Bodentyp:	Parabraunerde-Terra fusca
Relief:	Ebene
Exposition:	-
Inklination:	-
Landnutzung:	Buche
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	592 m ü. NHN
N:	700 mm
JMT:	7,5 °C
R:	3573 10
H:	5378 08
WRB:	Haplic Luvisol

Profilbeschreibung / Bodengenese

Das Profil ist deutlich geschichtet und aus zwei Substraten aufgebaut (Löss und Jurakalk; Abb. 5). Der Skelettanteil im Oberboden belegt eine Umlagerung (Pleistozän). Der dritte Horizont weist die typisch stabile Aggregierung eines T-Horizontes auf. Der Tongehalt reicht aber für seine Ausweisung nicht aus, wohl aber der Lösungsrückstand im untersten Horizont. Der Standort ist mäßig frisch und mäßig mit Nährstoffen versorgt. Potenziell ist Ackernutzung möglich.

Tab. 10: Standorteigenschaften (bis II T)

Gründigkeit [dm]	6	tg
nFK [l/m²]	95	m
FK [l/m²]	233	g
S-Wert [mol/m²]	23	mä
P_{la} [g/m²]	13,48	g
K_{la} [g/m²]	30,56	m
Ca_v [kg/m²]	1	sh
P_v [kg/m²]	0,5	sh
K_v [kg/m²]	2,2	h
Mg_v [kg/m²]	1	sh
Humus [kg/m²]	0,5	sh
N_t [kg/m²]	2,2	h

Tab. 11: Bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften Profilnr. 049

Horizont	Tiefe [cm]	X [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Textur	LK [%]	nFK [%]	TW [%]
PARABRAUNERDE-TERRA FUSCA									
Ahl	0–10	n. b.	6,3	70,9	22,8	Ut4	n. b.	n. b.	n. b.
Ktv	–40	n. b.	4,6	67,7	27,7	Tu4	n. b.	n. b.	n. b.
II Kt-T	–60	n. b.	1,8	50,4	48,4	Tu2	n. b.	n. b.	n. b.
T-Cv	>60	(80)	1,5	30,5	68,0	Tt	n. b.	n. b.	n. b.

Horizont	Lagdichte [g/cm³]	Kalk [%]	pH [$CaCl_2$]	Humus [%]	C/N	KAK_{pot} [mmol/kg]	BS [%]	Ca_v [‰]	Mg_v [‰]
PARABRAUNERDE-TERRA FUSCA									
Ahl	0,85	0	4,5	5,7	12,2	192	41	0,78	3,80
Ktv	1,27	0	4,4	1,6	14,4	182	37	0,75	3,94
II Kt-T	1,41	0	4,4	0,9	n. b.	344	78	2,38	5,41
T-Cv	(1,18)	1,92	7,2	0,9	n. b.	323	85	8,85	6,80

Horizont	K_v [‰]	K_l [mg/kg]	P_v [‰]	P_{la} [mg/kg]	Fe_{os} [‰]	$Fe_{o/os}$	Mn_{os} [‰]	Al_d [‰]	Al_o [‰]
PARABRAUNERDE-TERRA FUSCA									
Ahl	2,50	89	0,72	23,5	7,48	0,48	1,1	n. b.	n. b.
Ktv	2,40	30	0,70	23,6	8,70	0,43	1,2	n. b.	n. b.
II Kt-T	3,75	41	0,58	8,8	10,13	0,26	0,8	n. b.	n. b.
T-Cv	5,12	43	0,69	4,9	14,00	0,19	0,6	n. b.	n. b.

Horizont	Kaolinit [‰]	Illit [%]	WL [%]	Chlorit [%]	WL [%]	Smectit [%]
PARABRAUNERDE-TERRA FUSCA						
Ahl	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Ktv	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
II Kt-T	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
T-Cv	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Ursprünglich vorherrschend: Galio odorati-Fagetum, Waldmeister-Buchenwald, Eichen (*Quercus spec.*), Buchenjungwald im Unterwuchs. Roter Holunder (*Sambucus racemosa*) für den submontanen Bereich. Weißdorn (*Crataegus spec.*), Heckenkirsche (*Lonicera nigra*).

Charakteristische Pflanzen: Waldmeister (*Galium odoratum*) und Waldflattergras (*Milium effusum*), Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*) Zeiger für eine gute Nährstoffversorgung. Viel Scharbockskraut (*Ranunculus ficaria*): Zeiger für viel Oberbodenfeuchtigkeit im Frühjahr.

Standortsaussage: frischer bis mäßig frischer Standort.

Tab. 12: Vegetation Profil 3

Ort	Holzkirch
Boden	Parabraunerde-Terra fusca
Datum	19.05.2005
Flächengröße [m²]	400
Höhe ü. NHN [m]	592
Baumschicht	
Deckung [%]	80
Höhe [m]	30
Strauchschicht	
Deckung [%]	20
Höhe [m]	5
Krautschicht	
Deckung [%]	100
Höhe [m]	20
Baumschicht	
Fagus sylvatica	3
Quercus petraea	3
Carpinus betulus	1
Strauchschicht	
Carpinus betulus	+
Crataegus monogyna	+
Fagus sylvatica	+
Lonicera xylosteum	+
Sambucus nigra	+
Krautschicht	
Anemone nemorosa	2
Milium effusum	2
Quercus petraea	2
Abies alba	1
Fagus sylvatica	1
Galium odoratum	1
Hordelymus europaeus	1
Ranunculus ficaria	1
Circaea lutetiana	+
Impatiens noli-tangere	+
Luzula luzuloides	+
Moehringia trinerva	+
Skrophularia nodosa	+
Carex sylvatica	
Dryopteris felix-mas	
Senecio fuchsii	r
Stellaria holostea	r

Punkt 4 / Kliff bei Heldenfingen / Küste des miozänen Molassemeeres

Punkt 5 / Steinheimer Becken / Meteor-krater mit ehemaligem Seebecken und zentralem Kegel (Steinhirt)

3.4 Profil 6 / Nattheim / Profilnr. 1423



Horizont	Farbe	Gefüge
Ah:	5YR 2/4	krü-subpol
Elv:	10YR 5/8	subpol-pol
II Kvt:	10R 3/6 u.7,5 YR 5/8	pol-koh
	10R 3/6	pol-koh
Sd2:	10R 3/6	pol-koh
Sd3:	10R 3/6	pol-koh

Abb. 6: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils, Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tab. 13: Standortbeschreibung

Substrat:	Fließlöss ü. Bohnerzton
Bodentyp:	Pseudovergleyte (Norm-) Parabraunerde über Ferrallit
Relief:	Hang
Exposition:	45°
Inklination:	2,5%
Landnutzung:	Fichte
Vegetation:	Fichte
Höhenlage:	639 m ü. NHN
N:	850 mm
JMT:	7 °C
R:	3593 46
H:	5398 03
WRB:	Endostagnic Luvisol

Profilbeschreibung / Bodengenese

In diesem Fall handelt es sich um ein deutlich geschichtetes Profil (Abb. 6). Im Oberboden weist der Schluffanteil auf eine Lössbeimengung hin. Der Unterboden ist sehr tonig mit einem erhöhten Anteil an Fe-Konkretionen. Der Unterboden stellt ein Residuum aus umgelagertem Bodenmaterial aus tertiärer Verwitterung dar. Die Konkretionen wurden in früherer Zeit gewonnen und der Eisenverhüttung zugeführt. Im Unterboden sind deutliche Staunässemerkmale sichtbar. Das Profil ist kalkfrei und versauert (pH 4). Die Tonmineralzusammensetzung mit >80% Kaolinit ist ein Zeichen für die intensive (tertiäre) Verwitterung. Die Konkretionen spiegeln sich in den hohen Fe_d-Werten wider. Das Alter der Konkretionen führt zu entsprechend niedrigen $Fe_{o/d}$-Quotienten. Da die Sd-Horizonte erst tiefer auftreten, sind sie kein Problem für Durchwurzelung und Wasserhaushalt. Bei den Nährstoffen ist Phosphor limitierend.

Tab. 14: Standorteigenschaften (bis II Kvt)

Gründigkeit [dm]	9	tg
nFK [l/m²]	207	sh
FK [l/m²]	412	h
S-Wert [mol/m²]	155	h
P_{la} [g/m²]	0,64	sg
K_{la} [g/m²]	-	-
Ca_v [kg/m²]	1,7	sh
P_v [kg/m²]	0,24	erh
K_v [kg/m²]	2,5	h
Mg_v [kg/m²]	2,3	sh
Humus [kg/m²]	1,2	-
N_t [kg/m²]	0,01	sg

Tab. 15: Bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften Profilnr. 1423

Horizont	Tiefe [cm]	X [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Textur	LK [%]	nFK [%]	pF 4,2 TW [%]
PSEUDOVERGL. PARABRAUNERDE ÜBER FERRALLIT									
Ah	0–5	5	15	48	11	Slu	52,8	15	14,8
Elv	–30	8	3	20	64	Tl	25,6	15	14,7
II KvT	–90	1	4	17	74	Tt	16,9	27	26,9
Sd1	–150	1	2	12	82	Tt	12,2	31	30,8
Sd2	–190	1	2	11	83	Tt	n. b.	n. b.	n. b.
Sd3	–230	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Horizont	Lagdichte [g/cm³]	Kalk [%]	pH [$CaCl_2$]	Humus [%]	C/N	KAK_{pot} [mmol/kg]	BS [%]	Ca_v [‰]	Mg_v [‰]
PSEUDOVERGL. PARABRAUNERDE ÜBER FERRALLIT									
Ah	0,44	0	4,0	9,5	22	326	18	1,71	1,74
Elv	1,17	0	3,9	1,5	20	192	11	0,44	2,25
II KvT	1,29	0	3,9	0,4	13	307	53	2,0	2,13
Sd1	1,42	0	3,8	0,3	15	334	63	2,2	1,78
Sd2	n. b.	0	n. b.	0,2	11	258	66	1,68	1,65
Sd3	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Horizont	K_v [‰]	K_l [mg/kg]	P_v [‰]	P_{la} [mg/kg]	Fe_d [‰]	$Fe_{o/d}$	Mn_o [‰]	Al_d [‰]	Al_o [‰]
PSEUDOVERGL. PARABRAUNERDE ÜBER FERRALLIT									
Ah	2,63	n. b.	0,53	29,1	24,0	0,11	0,72	n. b.	n. b.
Elv	3,15	n. b.	0,23	[72	29,3	0,09	0,63	n. b.	n. b.
II KvT	1,95	n. b.	0,21	[72	70,0	0,03	0,02	n. b.	n. b.
Sd1	0,6	n. b.	0,18	[72	77,0	0,03	0,01	n. b.	n. b.
Sd2	0,9	n. b.	0,39	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Sd3	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Horizont	Kaolinit [‰]	Montmor. [%]	Quarz [%]
PSEUDOVERGL. PARABRAUNERDE ÜBER FERRALLIT			
Ah	n. b.	n. b.	n. b.
Elv	80	15	5
II KvT	80	15	5
Sd1	85	15	0
Sd2	95	5	0

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Heidelbeer-Buchenwald, Fichte

Charakteristische Pflanzen: Blutwurz (*Potentilla erecta*), Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Hainsimse (*Luzula luzuloides*) für saure Standorte. *Poa chaixii* als Verhagerungszeiger. In der Nähe des Tümpels sind Pionierpflanzen wie Pappel (*Populus spec.*), Birke (*Betula spec.*), Salweide (*Salix caprea*).

Standortsaussage: frischer, eher nährstoffarmer und saurer Standort.

Tab. 16: Vegetation Profil 6

Ort	Nattheim
Boden	Pseudovergl. Parabraunerde über Ferrallit
Datum	29.05.2005
Flächengröße [m²]	-
Höhe ü. NHN [m]	639
Baumschicht	
Deckung [%]	70
Höhe [m]	25
Strauchschicht	
Deckung [%]	5
Höhe [m]	3
Krautschicht	
Deckung [%]	10
Höhe [m]	0,4
Moosschicht	
Deckung [%]	50
Höhe [m]	-
Baumschicht	
Picea abies	4
Strauchschicht	
Fagus sylvatica	1
Krautschicht	
Deschampsia cespitosa	1
Fagus sylvatica	1
Luzula luzuloides	1
Poa chaixi	1
Anemone nemorosa	+
Dryopteris carthusiana	+
Festuca heterophylla	+
Melampyrum pratense	+
Picea abies	+
Poa nemoralis	+
Quercus robur	+
Rubus caesium	+
Sambucus racemosa	+
Veronica officinalis	+
Carex pallescens	r
Cirsium palustre	r
Lathymus linifolius	r
Viola riviniana	r
Moosschicht	
Polytrichum formosum	4
Hypnum cupressiforme	1
Hylocomium splendens	+

Punkt 7 / Vesperplatz im Trockental bei Nattheim, Orchideen-Buchen-Wald, Platterbsen-Buchen-Wald, Rendzina

3.5 Profil 8 / Ochsenberg / Profilnr. 1426



Horizont	Farbe		Gefüge
Ofh:	schwarzbraun;		Schwammgefüge
Ah:	7,5YR u. 8/2	5/3	krü-subpol
Sew:	7,5YR u. 7/3	5/6	subpol-plattig
Sd1:	7,5YR u. 6/4	5/4	grobpol-pri
Sd2:	7,5YR u. 7/4	5/6	pri-koh

Abb. 7: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils, Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tab. 17: Standortbeschreibung

Substrat:	Fließlöss
Bodentyp:	Fahlerde-Pseudogley
Relief:	Mittelhang
Exposition:	135°
Inklination:	5%
Landnutzung:	Fichte mit Buche
Vegetation:	Fichte mit Buche
Höhenlage:	635 m ü. NHN
N:	900 mm
JMT:	7 °C
R:	3585 67
H:	5402
WRB:	Stagnic Retisol

Profilbeschreibung / Bodengenese

Das Profil zeigt eine extreme Pseudovergleyung mit deutlicher Marmorierung im Unterboden (Abb. 7). Es ist stark versauert und damit der Humusumsatz gestört (Ofh-Horizont). Typisch für stark versauerte Waldböden aus (Fließ-) Löss ist die geringe Mächtigkeit des Ah-Horizontes (0–3 cm). Textur und Fe_d-Gradienten weisen auf eine mögliche Tonverlagerung hin (dann K_t-S_d). Typisch ist der hohe $Fe_{o/d}$-Quotient im Ah-Horizont, wo die organische Substanz die Kristallisation der Fe-Oxide stört. Die Gründigkeit ist an diesem Standort durch zeitweiliges Stauwasser und die Gefügeform (teils plattig) begrenzt. Es ist ein deutlich wechselfeuchter Standort. Die Nährstoffvorräte im Wurzelraum sind für Ca und N gering, für P und K aber hoch. Die aktuelle Verfügbarkeit für P ist aber gering (Bildung von Fe/Al-Phosphaten).

Tab. 18: Standorteigenschaften (bis Sew)

Gründigkeit [dm]	4,3	mg
nFK [l/m²]	75	g
FK [l/m²]	154	g
S-Wert [mol/m²]	14,7	mä
P_{la} [g/m²]	6,7	sg
K_{la} [g/m²]	-	-
Ca_v [kg/m²]	0,09	g
P_v [kg/m²]	0,4	h
K_v [kg/m²]	1,35	erh
Mg_v [kg/m²]	1,23	sh
Humus [kg/m²]	11,7	-
N_t [kg/m²]	0,17	G

Tab. 19: Bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften Profilnr. 1426

Horizont	Tiefe [cm]	X [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Textur	LK [%]	nFK [%]	TW [%]
FAHLERDE-PSEUDOGLEY									
Ofh	4–0	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	Sl	n. b.	n. b.	n. b.
Ah	0–3	8	6,5	80,4	23	Ut4	35	32	15
Sew	–43	5,4	5,9	68,7	25	Ut4-Tu4	10	10	14
Sd1	–63	4,6	5,5	68,3	26	Tu4	11	11	18
Sd2	–110	3,2	5,8	64,2	28	Lu	6	6	17

Horizont	Lagdichte [g/cm³]	Kalk [%]	pH [$CaCl_2$]	Humus [%]	C/N	KAK_{pot} [mmol/kg]	BS [%]	Ca_v [‰]	Mg_v [‰]
FAHLERDE-PSEUDOGLEY									
Ofh	0,07	0	3,2	72,4	25	430	26	0,89	2,55
Ah	0,42	0	3,7	17,4	17	331	11	0,14	2,09
Sew	1,43	0	3,9	1,8	16	106	7	0,09	3,32
Sd1	1,43	0	3,9	0,8	12	137	23	0,48	5,39
Sd2	1,50	0	4,3	0,3	5	156	52	1,67	4,97

Horizont	K_v [‰]	K_{CaI} [mg/kg]	P_v [‰]	P_a [mg/kg]	Fe_d [‰]	$Fe_{o/d}$	Mn_o [‰]	Al_d [‰]	Al_o [‰]
FAHLERDE-PSEUDOGLEY									
Ofh	1,60	n. b.	0,92	160,1	1,7	0,35	4,00	n. b.	n. b.
Ah	2,33	n. b.	0,70	67,1	4,5	0,67	0,81	n. b.	n. b.
Sew	2,40	n. b.	0,38	10,2	11,5	0,28	0,93	n. b.	n. b.
Sd1	3,15	n. b.	0,44	15,8	14,5	0,26	0,57	n. b.	n. b.
Sd2	4,65	n. b.	0,46	6,1	18,5	0,10	0,48	n. b.	n. b.

Horizont	Kaolinit [‰]	Illit [%]	Montm. [%]	Goethit [%]
FAHLERDE-PSEUDOGLEY				
Ofh	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Ah	3	7	63	0
Sew	1	8	68	1,9
Sd1	1	9	68	2,3
Sd2	6	13	67	1,5

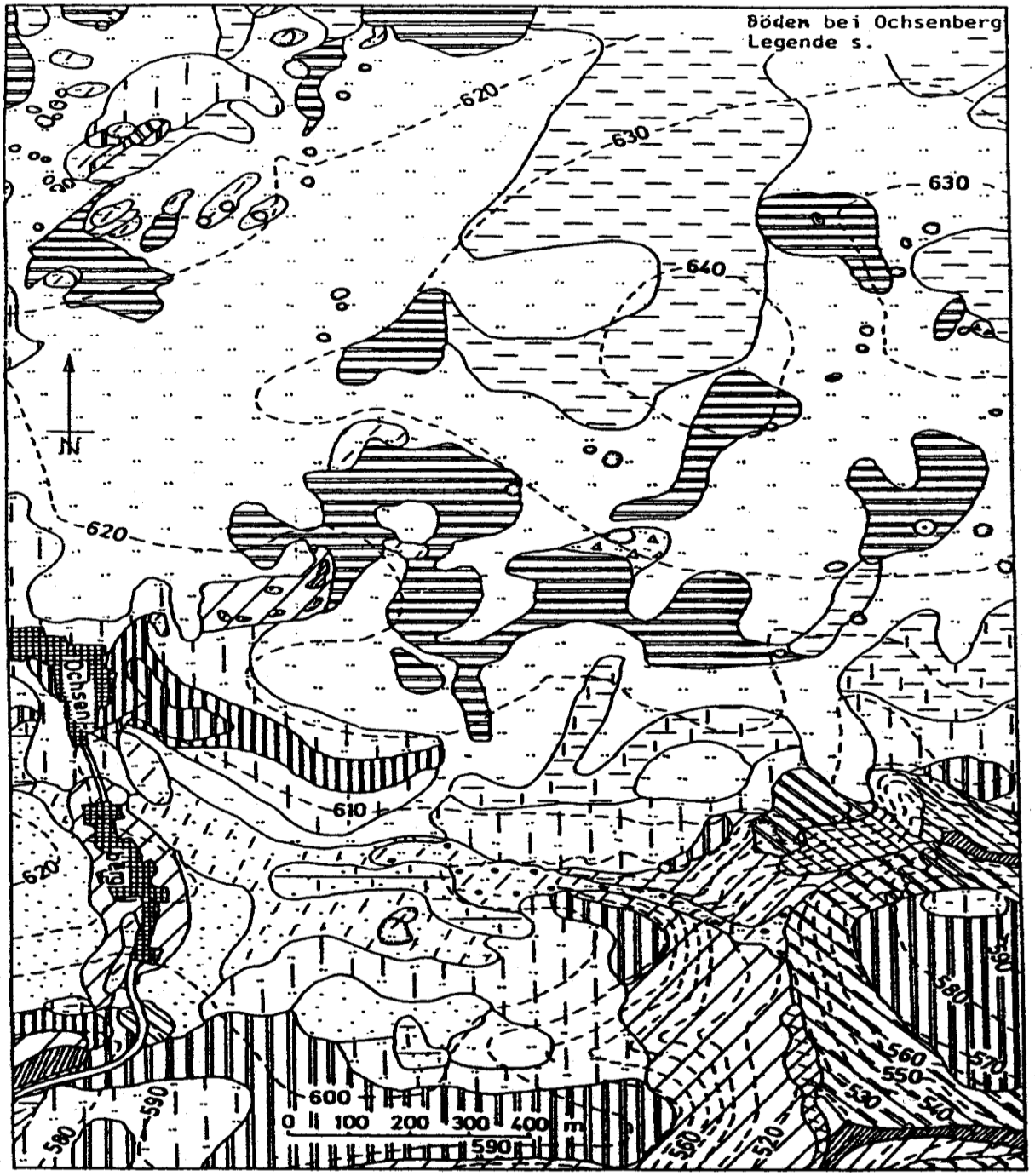


Abb. 8: Böden bei Ochsenberg (Alaily und Schlichting 1975, Bleich et al. 1987)

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Fichtenreinbestand. Ursprünglich vorherrschend: Hainsimsen-Buchenwald.

Tab. 20: Vegetation Profil 8

Ort	Ochsenberg
Boden	Fahlerde-Pseudogley
Datum	29.05.2005
Flächengröße [m²]	-
Höhe ü. NHN [m]	635
Exposition	N 5%
Baumschicht	
Deckung [%]	90
Höhe [m]	25
Krautschicht	
Deckung [%]	20
Höhe [m]	0,5
Moosschicht	
Deckung [%]	20
Höhe [m]	-
Baumschicht	
Fagus sylvatica	3
Picea abies	3
Pseudotsuga douglasii	1
Krautschicht	
Deschampsia cespitosa	1
Luzula luzuloides	1
Rubus caesius	1
Impatiens noli-tangere	+
Epilobium montanum	+
Luzula pilosa	+
Festuca gigantea	+
Galeopsis tetrahit	+
Equisetum sylvatica	+
Dryopteris carthusiana	+
Moosschicht	
Polytrichum formosum	2
Atrichum undulatum	+

3.6 Profil 9 / Oberkochen / Profilnr. 498



Horizont	Farbe	Gefüge
Ofh:	dunkelbraun;	Schwammgefüge
Ah:	7,5YR 1/1 u. 6/6	krü-sin
Ee:	7,5YR 6/2 u. 8/1	sin
Kh:	7,5YR 4/3 u. 7/2	hüll
Ks:	7,5YR 4/4 u. 6/3	hüll
Sd1:	7,5YR 6/4 u. 8/2	sin-koh
Sd2:	7,5YR 6/8 u. 8/6	sin-koh
II Sd:	7,5YR 6/6 u. 7/4	koh
III Srd:	10YR 6/6 u. 7/4	koh

Abb. 9: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils, Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tab. 21: Standortbeschreibung

Substrat:	Feuersteinschutt ü. Kalkverw.-Lehm
Bodentyp:	Pseudogley-Podsol
Relief:	Oberhang
Exposition:	315°
Inklination:	10%
Landnutzung:	Fichte mit Zwergstrauch
Vegetation:	Fichte mit Zwergstrauch
Höhenlage:	635 m ü. NHN
N:	900 mm
JMT:	7 °C
R:	3583 580
H:	5404 37
WRB:	Endostagnic Albic Podsol

Profilbeschreibung / Bodengenese

Dieses Profil zeigt für die Schwäbische Alb eine extreme Entwicklung, da es sich nicht aus Kalkstein, sondern kalkfreiem Si-reichem Feuersteinschutt entwickelte (Abb. 9, 10). Es ist versauert und zeigt Podsolierung. Sowohl Skelett- als auch Sandanteile sind hoch. Die Körnung lässt im Unterboden einen Substratwechsel erkennen. Auffällig ist die geringe Konzentration an verwitterbarem Ca im Unterboden. Trotz der groben Bodenart hat das Profil einen ausgeglichenen Wasserhaushalt. Dieser wird durch die Sd-Horizonte außerhalb des Hauptwurzelraums unterstützt, indem die Versickerung reduziert wird. Die Durchlüftung im Hauptwurzelraum ist sehr gut. Begrenzend wirken am Standort Nährstoffreserven und -verfügbarkeit.

Tab. 22: Standorteigenschaften (bis Ks)

Gründigkeit [dm]	4,7	mg
nFK [l/m²]	52	g
FK [l/m²]	99	sg
S-Wert [mol/m²]	5,7	g
P_{la} [g/m²]	4,5	sg
K_{la} [g/m²]	-	-
Ca_v [kg/m²]	0,37	m
P_v [kg/m²]	0,08	g
K_v [kg/m²]	0,42	g
Mg_v [kg/m²]	0,27	m
Humus [kg/m²]	15,2	-
N_t [kg/m²]	0,23	g

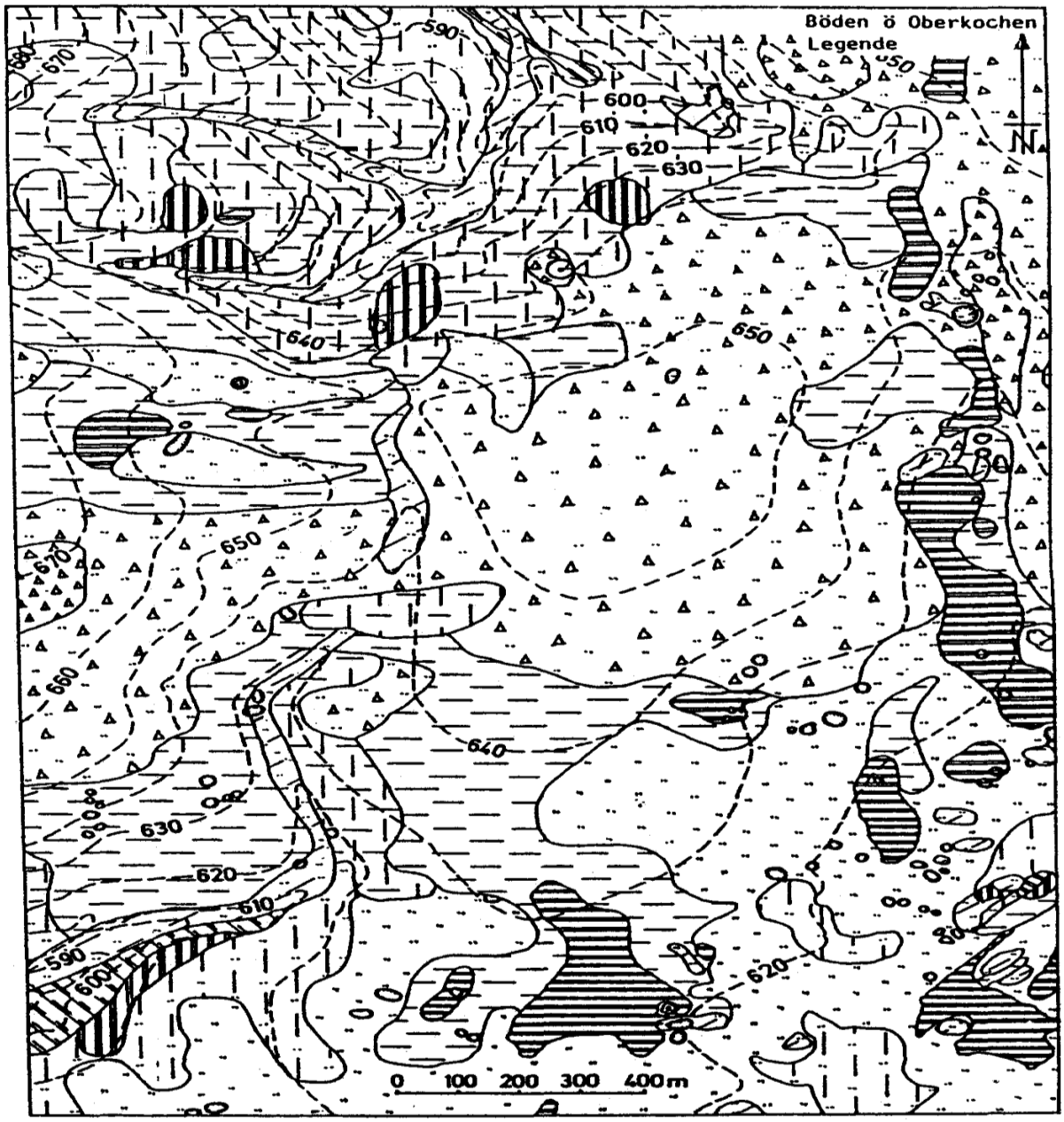


Abb. 10: Böden bei Oberkochen (Bleich et al. 1987)

Tab. 23: Bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften Profilnr. 498

Horizont	Tiefe [cm]	X [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Textur	LK [%]	nFK [%]	TW [%]
PSEUDOGLEY-PODSOL									
Ofh	8–0	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	Sl	n. b.	n. b.	n. b.
Ah	0–7	52,8	55,7	39,0	5	Su3	n. b.	n. b.	n. b.
Ee	–23	51,5	50,7	41,9	9	Slu	n. b.	n. b.	n. b.
Kh	–27	44,2	43,4	44,0	13	Slu	n. b.	n. b.	n. b.
Ks	–47	50,0	44,7	41,5	14	Slu	n. b.	n. b.	n. b.
Sd1	–88	62,0	49,2	35,8	15	Sl4	n. b.	n. b.	n. b.
Sd2	–125	57,4	35,9	27,2	39	Lts	n. b.	n. b.	n. b.
II Sd	–160	47,2	36,0	25,0	37	Lts	n. b.	n. b.	n. b.
III Srd	–165	34,8	9,9	19,4	69	Tt	n. b.	n. b.	n. b.

Horizont	Lagdichte [g/cm³]	Kalk [%]	pH [$CaCl_2$]	Humus [%]	C/N	KAK_{pot} [mmol/kg]	BS [%]	Ca_v [‰]	Mg_v [‰]
PSEUDOGLEY-PODSOL									
Ofh	0,1	0	4,4	72,8	29	1038	48	11,56	0,47
Ah	1,2	0	4,1	20,9	26	62	15	3,28	0,40
Ee	1,2	0	4,4	1,1	19	34	40	0,37	0,18
Kh	1,3	0	3,5	5,4	67	86	10	0,12	0,46
Ks	1,3	0	3,7	3,4	34	123	6	0,05	0,67
Sd1	1,3	0	3,9	0,9	26	103	7	0,05	1,05
Sd2	1,5	0	4,1	0,3	11	149	42	0,06	0,48
II Sd	1,5	n. b.	n. b.	0,3	n. b.	n. b.	n. b.	3,28	2,00
III Srd	1,7	0	4,2	0,2	7	445	68	5,87	3,96

Horizont	K_v [‰]	K_{CaI} [mg/kg]	P_v [‰]	P_{la} [mg/kg]	Fe_d [‰]	$Fe_{o/d}$	Mn_o [‰]	Al_d [‰]	Al_o [‰]
PSEUDOGLEY-PODSOL									
Ofh	1,10	n. b.	0,85	133,6	1,3	0,23	1,92	n. b.	n. b.
Ah	0,68	n. b.	0,28	24,4	1,5	0,13	0,17	0,35	n. b.
Ee	0,33	n. b.	0,05	3,7	2,0	0,05	0,02	0,14	n. b.
Kh	0,75	n. b.	0,13	4,9	5,5	0,40	0,05	0,66	n. b.
Ks	1,00	n. b.	0,17	5,9	9,0	0,33	0,03	1,89	n. b.
Sd1	1,50	n. b.	0,09	<2	3,7	0,08	0,03	1,68	n. b.
Sd2	0,96	n. b.	0,08	<2	12,5	0,02	0,44	n. b.	n. b.
II Sd	3,13	n. b.	0,17	n. b.	13,0	0,04	0,44	n. b.	n. b.
III Srd	4,45	n. b.	0,17	<2	4,4	0,27	n. b.	n. b.	n. b.

Horizont	Kaolinit [%]	Illit [%]	Montm. [%]	Goethit [%]
PSEUDOGLEY-PODSOL				
Ofh	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Ah	0	0	n. b.	0
Ee	0	3	25-50	0
Kh	0	5	25-50	0,8
Ks	0	5	25-50	2,3
Sd1	1	5	25-50	1,5
Sd2	5	6	25-50	2,9
II Sd	5	8	25-50	2,6
III Srd	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Hainsimsen-Heidelbeer-Buchenwald.

Charakteristische Pflanzen: Säurezeiger wie Hainsimse (*Luzula luzoloides*), Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*), Sprossender Bärlapp (*Lycopodium annotinum*), Fingerhut (*Digitalis purpurea*).

Standortsaussage: saurer Standort.

3.7 Profil 10 / Tauchenweiler / Profilnr. 500



Horizont	Farbe	Gefüge
Ah:	7,5YR 2/3 u. 5/2	krü
Elv1:	7,5YR 5/8 u. 6/4	subpol
Elv2:	5YR 5/8 u. 7,5YR 5/8	subpol
Kt1:	5YR 4/8 u. 6/8	pol
Kt2:	2,5YR 4/6 u. 5/6	grobpol
Sd-Kt:	2,5YR 4/6 u. 5/6	grobpol-koh

Abb. 11: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils, Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tab. 24: Standortbeschreibung

Substrat:	Löss ü. Feuerstein-Rotlehm (Fersiallit)
Bodentyp:	Ferrsiallit-Parabraunerde
Relief:	Oberhang
Exposition:	110°
Inklination:	8%
Landnutzung:	Buche
Vegetation:	Buche
Höhenlage:	680 m ü. NHN
N:	900 mm
JMT:	7 °C
R:	3576 41
H:	5405 92
WRB:	Endostagnic Acrsol

Profilbeschreibung / Bodengenese

Das letzte Profil auf der Exkursion zeigt einen hohen Anteil an reliktischen Merkmalen (Abb. 11). Prägnant ist die deutlich rote Färbung im Unterboden, die unter den augenblicklichen Klimabedingungen nicht zu erwarten ist. In der WRB wäre es ein Acrisol. Das Profil ist geschichtet. Das legen die Körnungs- und die Tonmineralzusammensetzung nahe. Der Unterboden wird dominiert von Kaolinit. Die hohe Verwitterungsintensität spiegeln auch die extrem geringen Ca_v-Konzentrationen im Unterboden wider. Beschränkend wirkt am Standort die extrem niedrige aktuelle P-Verfügbarkeit.

Tab. 25: Standorteigenschaften (bis Kt2)

Gründigkeit [dm]	8	tg
nFK [l/m²]	-	-
FK [l/m²]	-	-
S-Wert [mol/m²]	2,38	-
P_{la} [g/m²]	<0,002	sg
K_{la} [g/m²]	-	-
Ca_v [kg/m²]	0,05	g
P_v [kg/m²]	0,49	h
K_v [kg/m²]	1,3	erh
Mg_v [kg/m²]	0,93	h
Humus [kg/m²]	9,8	-
N_t [kg/m²]	0,49	m

Tab. 26: Bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften Profilnr. 500

Horizont	Tiefe [cm]	X [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Textur	LK [%]	nFK [%]	TW [%]
FERSIALLIT-PARABRAUNERDE									
Ah	0–3	43	26	51	22	Ls2-Lu	n. b.	n. b.	n. b.
Elv1	3–25	32	19	54	28	Lu	n. b.	n. b.	n. b.
Elv2	–43	39	13	39	47	Tu2	n. b.	n. b.	n. b.
Kt1	–55	24	10	28	63	Tl	n. b.	n. b.	n. b.
Kt2	–80	19	12	30	59	Tl-Tu	n. b.	n. b.	n. b.
Sd-Kt	–100	20	15	21	64	Tl	n. b.	n. b.	n. b.

Horizont	Lagdichte [g/cm³]	Kalk [%]	pH [$CaCl_2$]	Humus [%]	C/N	KAK_{pot} [mmol/kg]	BS [%]	Ca_v [‰]	Mg_v [‰]
FAHLERDE-PARABRAUNERDE									
Ah	1,2	0	4,4	8,84	14	189	31	0,95	0,85
Elv1	1,2	0	4,1	2,71	25	85	5	0,03	0,87
Elv2	1,3	0	3,9	0,79	10	115	2	0,02	1,21
Kt1	1,3	0	3,9	0,69	10	145	2	0,01	1,16
Kt2	1,3	0	3,8	0,45	10	185	4	0,01	0,63
Sd-Kt	1,3	0	3,9	0,17	6	210	12	0,02	0,81

Horizont	K_v [‰]	K_{cal} [mg/kg]	P_v [‰]	P_a [mg/kg]	Fe_d [‰]	$Fe_{o/d}$	Mn_o [‰]	Al_d [‰]	Al_o [‰]
FERSIALLIT-PARABRAUNERDE									
Ah	1,35	n. b.	0,67	25,6	14,8	0,20	2,46	n. b.	n. b.
Elv1	1,20	n. b.	0,37	<2	19,3	0,10	1,05	n. b.	n. b.
Elv2	1,63	n. b.	0,46	2,5	26,0	0,07	1,35	n. b.	n. b.
Kt1	1,60	n. b.	0,50	<2	35,5	0,03	0,90	n. b.	n. b.
Kt2	1,08	n. b.	0,56	<2	38,5	0,01	0,33	n. b.	n. b.
Sd-Kt	1,45	n. b.	0,58	<2	39,5	0,01	1,02	n. b.	n. b.

Horizont	Kaolinit [‰]	Illit [%]	Smec. [%]	Goethit [%]	Chlorit [%]
FERSIALLIT-PARABRAUNERDE					
Ah	4	0	81	2,3	14
Elv1	10	4	74	2,6	12
Elv2	24	4	68	3,2	3
Kt1	48	6	45	4,1	1
Kt2	64	0	36	3,8	0
Sd-Kt	71	0	29	5,3	0

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Luzulo-Fagetum, Hainsimsen-Buchenwald.

Charakteristische Pflanzen: Waldmeister (*Galium odoratum*) als Kalkzeiger: Kalkschotter auf dem Weg. Säurezeiger wie Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*). Berg-Platterbse (*Latyrus linifolius*).

Standortsaussage: sehr saurer tiefgründiger Standort.

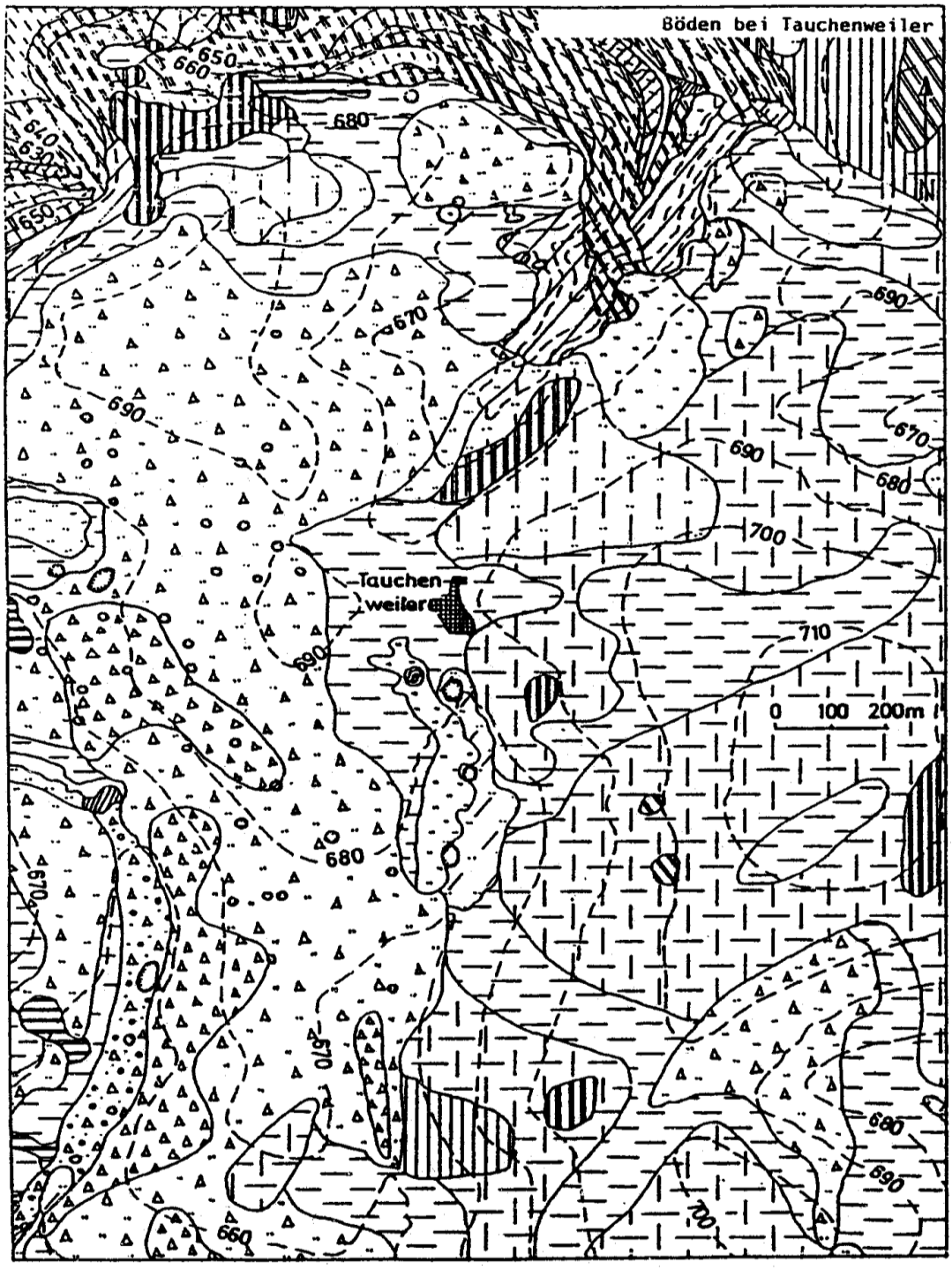


Abb. 12a: Böden bei Tauchenweiler (Bleich et al. 1987)

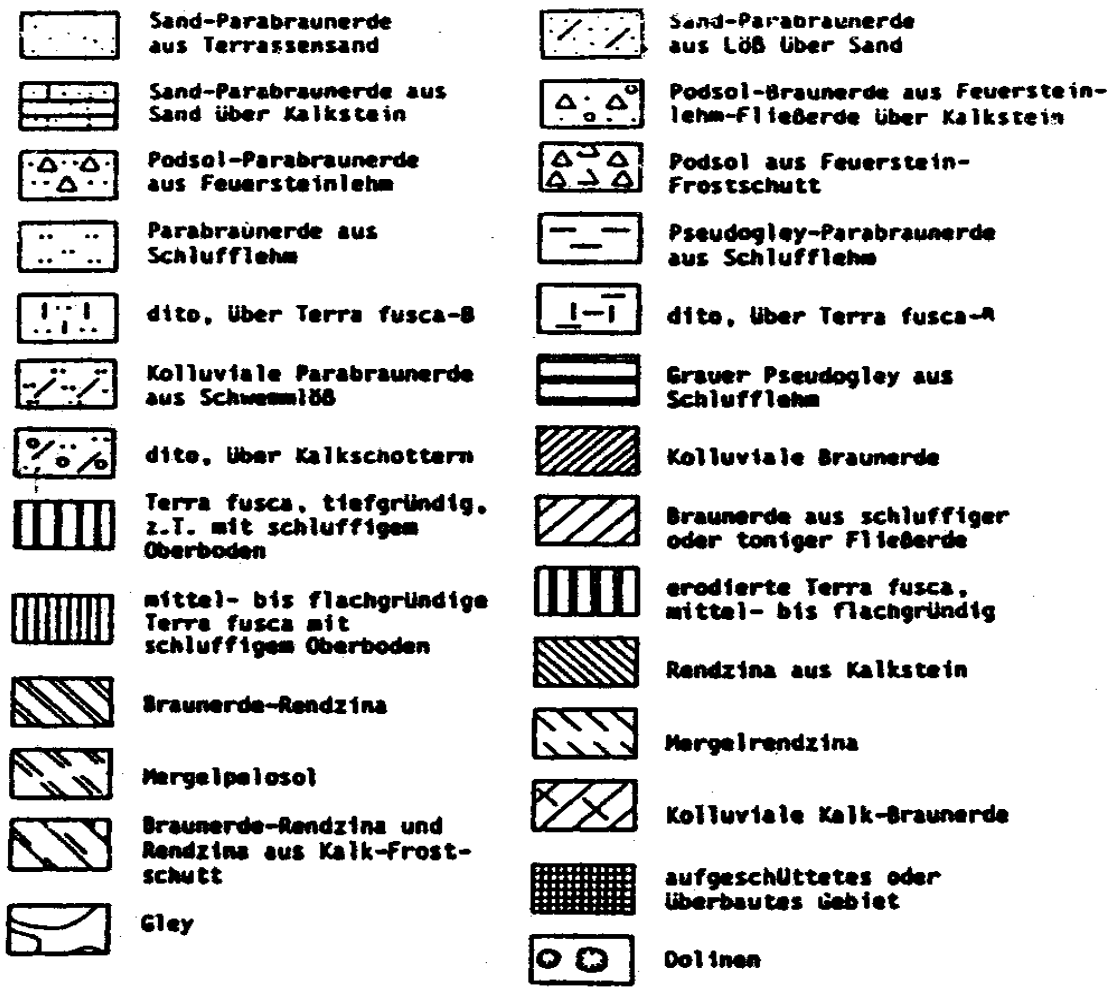


Abb. 12b: Böden bei Tauchenweiler (Bleich et al. 1987)

Literatur

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung 6.komplett überarbeitete und erweiterte Auflage, 2 Bände, Hannover.

Alaily, F. & Schlichting, E. (1975): Die Entwicklung von Podsolen und Pseudogleyen in einer Kalkstein-Landschaft. Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft 22, S. 621 - 624.

Bleich, K.E., Papenfuß, K.-H. Van Der Ploeg, R.R. & Schlichting, E. (1987): Exkursionsführer zur Jahrestagung 1987 in Stuttgart-Hohenheim. Exk. B. Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft, 54, S. 1 – 246.

Göttlich, Kh. (1979): Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50.000; Erläuterungen zu Blatt Günzburg L 7526; Hrsg.: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg und Regierungspräsidium Tübingen, Abteilung Wasserwirtschaft

IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. 4. ed. IUSS, Wien, Österreich.

Stahr, K., Böcker, R. (2014): Exkursionsführer - Landschaften und Standorte Baden-Württembergs. 224 S. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 111, Universität Hohenheim, Stuttgart.

Stahr, K., Kandeler, E., Herrmann, L., Streck, T. (2020): Bodenkunde und Standortlehre, 4. Aufl., 327 S. Utb, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

E15: Standorte, Böden und aktuelle sowie historische Landnutzung im oberen Wolftal im Schwarzwald

Ludger Herrmann[1], Klaus Schmieder[2]

[1]Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre, [2]Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie

1 Das Wolftal – ein Ort mit reicher Geschichte und Diversität

Die Besiedlungsgeschichte des Wolftals spiegelt sich unter anderem in der Sage über die untergegangene Bergbaustadt Benau wider, die an einem Erzgang auf dem Schwarzenbruch am Benauer Berg gelegen haben soll, wo auch heute noch Bergbau betrieben wird (https://de.wikipedia.org/wiki/Grube_Clara). Die Besiedlungsgeschichte geht also wohl mindestens bis in die keltische Zeit zurück. Der Sage nach ist die Stadt untergegangen, weil sie das „Goldene Kalb“ angebetet hat. Wohl eine spätere christliche Überformung der Sage (vgl. Göttner-Abendroth 2014). Vermutlich war eher die Abkühlung des Klimas in vorrömischer Zeit (vgl. Poschlod 2017) die Ursache für die damalige Aufgabe des Bergbaus und der zugehörigen Siedlung.

Darüber hinaus weist das Tal einige Besonderheiten auf. Dazu zählen das für die Höhe relativ milde Klima durch den Anschluss über das Kinzigtal zum Rheintal, das Vorkommen permischer Gesteine sowie die Kultur- und Landnutzungsgeschichte mit dem Bergbau, den Femelwäldern, den Riesen (bodengebundene Rutschbahnen zum Holztransport), der Flößerei, den Wässerwiesen und den speziellen Waldbauernhöfen. Nicht zu verschweigen sind hier auch der Schapbach-Gneis sowie das Mineral Schapbachit ($AgBiS_2$). Die Exkursion möchte auf all diese Aspekte eingehen und darüber hinaus typische Böden vorstellen sowie den Austausch mit lokalen Landnutzern ermöglichen.

2 Das Exkursionsgebiet

2.1 Geschichte der Besiedlung und Landnutzung

Außer den Sagen, liegt Dunkelheit über der römisch-keltischen Zeit im Wolftal. Obwohl es eine strategisch wichtige Römerstraße vom Zehntland (*agri decumates*), wie die Römer das Oberrheintal nannten, durch das Kinzigtal nach Rottweil gab, ließen die Römer das Wolftal und dessen Erzvorkommen links liegen. Mit dem Vordringen der Alemannen im dritten Jahrhundert, läutete wiederum eine Klimaabkühlung die Zeit der Völkerwanderung und das Ende des Römischen Reiches im Südwesten ein.

Zur Fränkischen Zeit bildete das Wolftal die Ostgrenze der Grafschaft Ortenau. Da weit vom Zentralort abgelegen, dürfte auch in dieser Zeit das Gebiet nahezu ausschließlich als Jagdgebiet gedient haben.

Ob schon im frühen Mittelalter (9. Jahrhundert) wieder Erzabbau, Verhüttung und Verarbeitung stattfanden, ist umstritten. Dokumentiert sind die Silberfunde bei Prinzbach im Jahre 1257. Damit beginnt die Blütezeit des Schwarzwälder Silbererzbergbaues im 13.–14. Jahrhundert (Schapbach wird urkundlich 1222 das erste Mal erwähnt).

Rund um Schapbach – unser Exkursionsgebiet – sind zahlreiche Erzgänge bekannt. Sie betreffen Silber, Kupfer, Blei und Eisen. Dieser Bergbau ist bis in die Gegenwart aktiv (Grube Clara Wolfach: Schwer- und Flußspat, $BaSO_4$ bzw. CaF_2). Und dieser Bergbau war es auch, der grundlegende Änderungen in der Landnutzung mit sich brachte. Denn jeder Schritt der Metallverarbeitung braucht Holz als Baumaterial oder Energielieferant. Der Bergbau förderte also die Abholzung; dies auch indirekt über die entstehenden Ansiedlungen, die sich ja mit Nahrung und Wohnraum versorgen mussten. Mit dem Bergbau entstehen also die ersten Offenlandstandorte und die Landwirtschaft hält größerflächigen Einzug in das Wolftal.

Typisch auch für das Wolftal, dass der Bergbau oft im Nebenerwerb durch Bauern stattfand, zeitlichen Schwankungen unterlag und auch Kinderarbeit in den engen Stollen zeitigte (Hansjakob 1899). Eigens für den Bergbau wurden Eichenhaine gepflanzt, um stabiles Holz für die Stollenabsicherung zu gewinnen. Ebenso war die Eiche begehrt für die Loheherstellung, also die Ledergerberei.

Im 11. Jahrhundert ist ein Adelsgeschlecht „von Wolfhacha“ samt Burg nachgewiesen, Mitte des 12. Jahrhunderts eine St. Georgen unterstellte Mönchssiedlung bei Bad Rippoldsau. Eine der zahlreichen südwestdeutschen Niederlassungen der Benediktinerabtei St. Georgen war das Priorat St. Nikolaus in Rippoldsau. Die im mittleren Schwarzwald an der Wolf gelegene "*cella*" wurde erstmals 1179 in einer päpstlichen Urkunde erwähnt, aber bereits um 1140 als Stiftung der Herren von Wolfach gegründet.

Auch hierum rankt sich eine Sage, nach der der Mönch Rippold nach einer Verletzung die heilsame Wirkung einer Quelle entdeckte und daraufhin am Ort diese Celle gründete. Auch diese Sage ist ein Hinweis, dass diese Quelle schon vor der Christianisierung genutzt wurde und im Zuge der Christianisierung „okkupiert“ wurde.

Nach dem Aussterben der Wolfacher übernahmen 1306 die Grafen von Fürstenberg die Kastvogtei des Klosters, das neben einer einträglichen Forstwirtschaft über viele verstreute Besitzungen und Einkünfte zwischen Kaiserstuhl und Neckar verfügte.

Der Ort „Shappach“ wird 1222 erstmals urkundlich erwähnt.

Im späten Mittelalter, das durch eine ausgeprägte Wärmeperiode des Klimas begünstigt war (Poschlod 2017), wuchs die Bevölkerung in Mitteleuropa stark, vor allem in den Städten. Die damals übliche Dreifelderwirtschaft konnte allerdings durch ihre starre Struktur nur begrenzt mehr Nahrungsmittel produzieren. D.h., um eine wachsende Bevölkerung zu ernähren, musste neues Land urbar gemacht werden. In diese Zeit fallen viele neue Siedlungsgründungen, die als Jungsiedelland vom Altsiedelland abgegrenzt werden.

Im Zuge dieser Siedlungsperiode entstand auch die für den Nordschwarzwald typische Waldhufensiedlung Schapbach, mit den als unteilbar gekennzeichneten Lehensgütern (Maierhöfe oder Heimhöfe), die insbesondere zur Zeit der Geroldsecker Herrschaft (ca. 1300–1499) eine relativ große Eigenständigkeit erlangten. Dabei wurde im Rahmen einer Markgenossenschaft Siedlern „Sondereigen“ zur Verfügung gestellt (30–50 ha pro Hof).

Das Charakteristikum dieser ist, dass die zugeordneten Flächen (Hufen) von der Talsohle bis zum Höhenkamm reichten, und damit jeder Bauer Zugang zu den verschiedenen Ressourcen hatte, beginnend mit dem Zugang zum Wasser im Tal mit den Wässerwiesen, wo am Unterhang, außerhalb der hochwassergefährdeten Aue, i. d. R. auch der Hof stand, über die landwirtschaftlichen Flächen in Hofnähe bis zu den ausgedehnten Waldflächen gen Bergkamm. Mit dem Ende der Geroldsecker Herrschaft wurde der Geroldsecker Waldbesitz im Wildschapbach unter den Bauern aufgeteilt, so dass sich eine dem Heimhof

des Waldhufendorfs abweichende, zersplitterte Flurauftteilung ergab und die beteiligten Höfe auf mehr als 100 ha anwuchsen. Diese Eigentumszuteilung erfolgte zeitgleich mit dem Beginn der Flößerei im 15. Jahrhundert (Schmid 1989). Wichtig ist hier zu betonen, dass die Maier Eigentümer der Flächen waren aber eine Art Erbpacht entrichten mussten. Zudem galten diese Bauern als persönlich frei. Durch diese Konstellation gab es wenig Konfliktpotential zwischen dem Adel und diesen Bauern. Die Schapbacher Höfe waren drittel- und fallpflichtig und mussten ursprünglich auch den Zehnten an die Schapbacher Kirche abliefern. Das Drittel betraf die der Hofübergabe in die nächste Generation an die Landesherrschaft zu entrichtenden Gebühren. In der Regel wurde aber nur 1/9 des geschätzten Hofwertes gefordert. Da zudem das „Vorteilsrecht“ (der jüngste Sohn als Erbe) zur Anwendung kam, also nie eine Realteilung stattfand, haben die Höfe seit Jahrhunderten bis in die Neuzeit Bestand.

Nach dem Ende der Geroldsecker Herrschaft Ende des 15 Jh. kam Schapbach in den Besitz des Hauses Fürstenberg, welches das Tal bis Anfang des 19. Jahrhunderts prägte. Auch heute wird noch zu festlichen Anlässen vereinzelt die Fürstenberger Tracht getragen.

Auf das gesamte Tal bezogen war das Verhältnis von Wald- zu landwirtschaftlicher Fläche über die Zeit und bis ins 20. Jahrhundert durchaus großen Schwankungen unterlegen. Während mit Beginn der Besiedlung bis ins Mittelalter der Bergbau und auch die Glasherstellung großen Holzeinschlag bedingte, führten später die Pestjahre, durch Klimaverschlechterung bedingte Hungersnöte (Kleine Eiszeit, etwa vom 15. Jahrhundert bis in das letzte Drittel des 17. Jahrhunderts) und die politischen Wirrungen (30-jähriger Krieg, Französische Revolution, Napoleonische Kriege, Deutsch-Franz. Krieg) u. a. zur Auswanderung in die USA und nach Siebenbürgen und damit zur Bevölkerungsabnahme.

Für das 19. Jahrhundert, nach der Neuaufteilung Europas durch die Wiener Beschlüsse (Schapbach kam 1806 zum Herzogtum Baden), ist eine erste große Aufforstungswelle dokumentiert. Grundlage hierfür war das Badische Forstgesetz von 1833, das eine strikte Trennung von Land- und Forstwirtschaft vorsah und damit die Waldweide verbot. Mit Schwerpunkt zwischen 1860 und dem ersten Weltkrieg wurde vor allem mit schnell wachsenden Fichten aufgeforstet, welche die für den Schiffsbau ausgebeuteten (Flößerei bis Holland) Tannen-Buchenwälder ersetzten. Eine weitere folgte nach dem zweiten Weltkrieg. Hier wurden, nachdem in den ersten Nachkriegsjahren aufgrund der Nahrungsknappheit sogar die Reutfeldwirtschaft wieder auflebte, ab Ende der 1950er Jahre neben Weidfeldern vor allem die „Lochmatten“, das sind Rodungsinseln im Wald zur Wiesenschnittnutzung, aufgeforstet, da ihr handarbeitsgestützter Betrieb nicht mehr wirtschaftlich war und die Knechte und Mägde in Scharen die Höfe verließen und in die lukrativere Industrie abwanderten. Hierauf spezialisierten sich die Höfe auf die Holzwirtschaft und forsteten auch weite Teile der hofnahen Äcker und Wiesen mit Fichten auf, sodass der Waldanteil der Gemarkung noch einmal deutlich zunahm und Schapbach heute mit 91% Waldanteil die waldreichste Gemeinde Baden-Württembergs ist (Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 7/2005).

Die Abbildung A1 zeigt die Unterschiede der Landnutzung rund um Schapbach im 20. Jahrhundert durch den Vergleich eines alten Postkartenmotivs mit einem aktuellen Foto, das aus derselben Perspektive aufgenommen wurde. Man sieht deutlich die Effekte der Wiederaufforstung nach dem Krieg, denen sowohl Äcker als auch Weidwiesen und Niederwälder der Reuteflächen zum Opfer fielen.

Eine typische landwirtschaftliche Nutzungsform, die bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts praktiziert wurde, ist die Reutebergwirtschaft, die man als eine Art der „shifting cultivation“ auffassen kann und zeitweise große Flächen zwischen Wald und Weideflächen einnahm.

Darin sieht der Zyklus wie folgt aus: Eine Niederwaldparzelle wird eingeschlagen. Die Eichenrinde wird für die Gerbstoffherstellung geschält, das Holz der 20–30-jährigen Stockausschläge als Pfahlholz für Bergbau und Weiden oder als Brennholz verwendet. Das nicht anderweitig verwertbare Holz wird auf der Fläche verbrannt. Dies geschieht in Form einer brennenden Walze von Dünnholz, das mit langen Haken den Hang hinuntergezogen wird. Die Asche dient als Dünger insbesondere für K, Ca, Mg und P. Es folgt eine zwei- bis dreijährige Nutzung als Acker, meist für Roggen und Hafer, später auch Kartoffeln. Das hier wachsende besonders langhalmige Roggenstroh wurde als Material zum Bau von Strohdächern der Schwarzwaldhöfe gewonnen. Darauf folgt eine Beweidungsphase, bis man den Niederwald wieder aufwachsen lässt.

Erst mit der Einführung des Mineraldüngers und synthetischer Gerbstoffe für die Lederindustrie wurde diese Nutzungsform endgültig abgelöst. Heutige Eichenschälwälder bzw. Niederwälder sind Relikte dieser Nutzung und meist nur erhalten, wenn sie z. B. im Kirchenbesitz waren oder der Untergrund zu felsig ist, als dass sie in Fichtenwälder hätten umgewandelt werden können.

Eine weitere Besonderheit der Schwarzwaldtäler sind sogenannte Wässerwiesen, welche wohl bereits im Mittelalter angelegt wurden. Bewässerung im niederschlagsreichen Schwarzwald? Das wird sich mancher Leser fragen. Jedoch hatte die Bewässerung meist andere Zwecke als die reine Wasserzufuhr. In den Höhenlagen beschleunigte sie die Schneeschmelze und verlängerte damit die Vegetationsperiode, so dass auch hier zwei Schnitte möglich wurden. In den Tallagen bzw. den Auen der Schwarzwaldbäche führte sie vor allem durch die an suspendierten Stoffen reichen Hochwässer der Schneeschmelze zu einer düngenden Wirkung. Diese wurde auch auf den Futterwiesen nach den Schnitten genutzt und erlaubte bis zu fünf Schnitte, während bei den traditionellen Heuwiesen nur zwei möglich waren. Ein angenehmer Nebeneffekt der Wässerung war zudem die Schädlingsbekämpfung: Maulwurfsgrillen, Wühlmäuse und andere wurzelfressende Schädlinge überlebten die Wässerung in der Regel nicht.

Über Jahrhunderte wurde die Landwirtschaft in Form der Feldgraswirtschaft unter Verwendung des Stichelpfluges durchgeführt. Aufgrund der Steilheit des Geländes musste stellenweise Handarbeit eingesetzt werden. Wassererosion gehörte zu den zwangsweisen Nebeneffekten. Um die Ackerfähigkeit der Standorte zu erhalten, wurde daher regelmäßig abgeschwemmtes Bodenmaterial z.T. mit speziellen Seilzügen wieder den Hang hinauf transportiert.

Mit dem Agrar- und Landwirtschaftsplan von 1985 wird für das Wolftal mit seinen circa 90% Waldbedeckung festgehalten, dass aufgrund der topographischen Situation Landwirtschaft kaum wirtschaftlich ist und sie sich auf die Offenhaltung der Landschaft und Landschaftspflege konzentrieren sollte. Daher sollten keine weiteren großflächigen Aufforstungen erfolgen.

Die Waldwirtschaft wurde bis ins zwanzigste Jahrhundert hinein nach Art des Femelwaldes betrieben. Dieser Begriff beschreibt den Kleinparzelleneinschlag von Holz im Gegensatz zum Kahlschlag oder der Einzelbaumnutzung (Plenterwald).

Da es mit Mittelalter und bis in die Neuzeit kaum befestigte Waldwege gab, wurden die Holzstämme geriest. Dies beschreibt das Zutalbringen der Stämme auf einer im Winter gezielt vereisten Rutschbahn

(Riese). Beim Sommerriesen wurden die entrindeten frischen Stämme als Gleitbahnen genutzt. Diese Tradition fand erst mit dem Einsetzen des Waldwegebaues nach dem zweiten Weltkrieg ein Ende. Die Riesen sind aber bis heute morphologisch in der Landschaft erkennbar. Die Holzabfuhrstraßen wurden ab den 1960er Jahren systematisch, meist hangparallel angelegt und führten sowohl zu einer Veränderung des Waldklimas als auch zu einer massiven Störung des Wasserhaushaltes mit verstärktem Oberflächenabfluss des Niederschlagswassers, so dass die Grundwasserneubildung erheblich verringert wurde (Abb. 1). Angesichts der infolge des Klimawandels immer häufiger werdenden extremen Trockenperioden, führt dies zu erhöhtem Wasserstress für die meist flach wurzelnden Fichten und zu vermehrtem Borkenkäferbefall. Damit eng verbunden erfolgt bei Starkniederschlägen ein erhöhter Oberflächenabfluss, der zu einem schnellen Auflaufen von Hochwässern und einer erhöhten Frequenz von Extremhochwässern führt. So ereigneten sich 1990 und 1991 innerhalb eines Jahres zwei 100-jährige Hochwässer der Wolf.

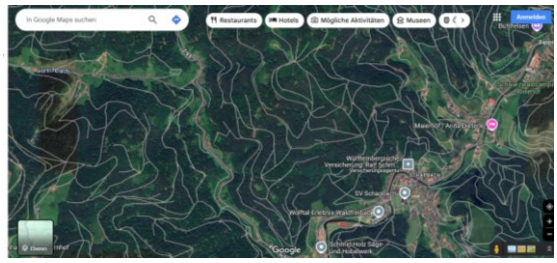


Abb. 1: Forststraßennetz um Schapbach

Eng mit der waldbaulichen Nutzung verbunden war auch die Flößerei, die 1499 zum ersten Mal erwähnt wird. Seit 1582 hatten die Schapbacher Waldbauern das Recht zum Selbstflößen (Schmid 1989). Allerdings nur bis Wolfach. Dort musste das Holz an die Schifferschaft Wolfach verkauft werden, die zeitweise Handelsbeziehungen bis in die Niederlande hatte. Eine Reminiszenz an diese Zeit ist die Sage „Das kalte Herz“, in der vom Holländermichel erzählt wird, der im Tal sein Unwesen trieb. Sie erschien 1827 in Hauffs Märchenalmanach eingebettet in die Erzählung „Das Wirtshaus im Spessart“ und wurde bereits 1923 und zuletzt 2016 verfilmt: (wikipdia.org/wiki/Das_kalte_Herz).

Ein Ende fand die Flößerei mit dem Jahrhunderthochwasser 1887 im Wolftal, das alle Flößereieinrichtungen zerstörte. Ein Wiederaufbau lohnte nicht, da ein Jahr später der Eisenbahnbau Wolfach erreichte. Heutige Zeugen der Flößerei sind die Staumauer am Glaswaldsee, der als Wasserspeicher genutzt wurde, und die Gaststätte „Zum letzten G‘stehr“ (oder Gestöhr = Floßglied) an der Einmündung des Burgbachs in die Wolf.

In Zusammenhang mit der Flößerei stehen auch die heute noch mancherorts zu findenden Haselnusshaine, die die Naturseile zum Flößebinden lieferten. Ebenso gab es die Harzproduktion. Das Harz wurde dann auf den Flößen weiter transportiert, z. B. zu den Harzsiedereien in Wolfach.

Die Holzwirtschaft spielt auch heute noch eine zentrale Rolle in der Gemeinde Schapbach. Neben der Gemeinde als größtem Waldbesitzer (400 ha), gibt es auch private Höfe mit bis zu 200 ha Waldbesitz. Die umfangreichen Waldungen des Hauses Fürstenberg auf der Gemarkung gingen in den 1980er Jahren in den Besitz des Kaufhauses Quelle über.

Aufgrund des in Schapbach Jahrhunderte alten Brauchs des Aufastens der jungen Stämme bis in Höhen über 10 m erreichen die astfreien „Blöcke“ (5–10 m langer Stammfuß) der Stämme für Furnierware geeignete Holzqualitäten, die bei speziellen Auktionen hohe Festmeterpreise von bis zu 1000 € / Fm erzielen. Bei den z. T. über 200 Jahre alten, und mehrere Fm erreichenden Blöcken werden damit pro Stamm mehrere Tausend Euro erwirtschaftet.

2.2 Geologie und Geomorphologie

Das obere Wolftal liegt im mittleren Schwarzwald, der durch Höhen unter 1000 m gekennzeichnet ist und der sowohl durch das Grundgebirge als auch die aufliegenden Sedimentgesteine repräsentiert wird.

Das Wolftal ist wie die parallelen Übelbach- und Langenbachtäler SW-NO orientiert, folgen also dem variszischen Streichen. Der Talverlauf ist also tektonisch vorgegeben. Im Exkursionsgebiet ist das Sulzerköpfle mit 813,8 m die höchste Erhebung, die Tallinie liegt bei ca. 400 m.

Geologisch-petrographisch gesehen können wir fünf Einheiten unterscheiden; hier dem Alter nach geordnet: 1. Gneise (älteste paläozoische Gesteine), 2. Granite (meist Karbon), 3. Rotliegend (Unteres Perm), 4. Buntsandstein (Unteres Mesozoikum), 5. Quartär. Andere Gesteine fehlen, da sie aufgrund der alpidischen Hebung und der damit zusammenhängenden Entstehung des Rheingrabens abgetragen wurden. Das obere Wolftal mit seinem tief eingeschnittenen V-Tal ist ein typischer Vertreter des rhenanischen Relieftyps.

Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen den oben genannten Gesteinen und der Topographie. Die östlichen Höhen des Exkursionsgebietes sind durch den oberen Buntsandstein (so) eingenommen, hier repräsentiert durch glimmerreiche Sandsteine, die eine Karneolbank miteinschließen. Darunter folgt der Hauptbuntsandstein (sm), der die steilsten Gefällstrecken abdeckt. Richtung unterer Mittelhang übernehmen feldspatreiche Sandsteine des unteren Buntsandsteins (su), die überleiten zu einer Besonderheit: den Arkosen des Oberrotliegenden (ro). Arkosen sind Sandsteine mit überwiegendem Feldspatanteil. Diese Arkosen zeigen lokal porphyrische oder konglomeratische Struktur. Zum Teil wird das Rotliegende hier auch durch rote, tonige, scharfkantigen Schutt (meist Gneis) führende Sedimentdecken repräsentiert. Im Bereich des Rotliegenden kommen sowohl steile Gefällstrecken vor (verbunden mit erodierenden Bächen), als auch flache Geländebereiche (wo dem Granit aufliegend). Die weicheren Geländeformen, wo auch häufig an den Unterhängen Landwirtschaft betrieben wird, sind von Granit geprägt. Die Granite (hauptsächlich grobkörnige „Hauptgranitite", vorwiegend porphyrisch) sind durch eine scharfe tektonische Bruchlinie von den westlich anschließenden Gneisen (Renchtal- und Schapbachgneis) getrennt. Bei Schapbach quert diese Bruchlinie das Wolftal. In der Hauptmineralzusammensetzung unterscheiden sich die beiden Gneise wenig, wohl aber in der Morphologie und Entstehung. Geyer und Gwinner (1991) stellen die Renchgneise in die Gruppe der Paragneise (aus Sedimentgesteinen) und den Schapbachgneis in die Gruppe der Orthogneise (aus prävariszischen Magmatiten).

Lokal treten wieder dem variszischen Streichen folgend Granitporphyrgänge auf. Diese vulkanischen Erscheinungen scheinen eine Beziehung zu den Vorkommen der Arkosen zu haben.

Das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung sind in den meisten Fällen Hangschuttdecken, die eine gemischte Petrographie aufweisen können. Lokal – aber insbesondere in den morphologisch flacheren Granitbereichen – treten Lösslehmdecken auf. Das quartäre Alluvium nimmt aufgrund der Morphologie des V-Tales nur geringe Bereiche ein.

Im Kontaktbereich zwischen Grund- und Deckgebirge treten Quellhorizonte auf. Diese sind insbesondere für den Exkursionspunkt „Hintere Sulz" von Bedeutung, worauf auch schon der Name hindeutet.

2.3 Klima

Das Klima im Wolftal ist durch die Stauwirkung des Schwarzwaldes bei den überwiegenden Westwetterlagen ozeanisch geprägt, d. h. relativ mild. Schneereiche Winter werden von relativ kühlen, niederschlagsreichen Sommern abgelöst. Die hohen Gesamtniederschläge bilden die Grundlage für den Wasserreichtum des Tales. Das Klimadiagramm von Freudenstadt (1971–2000), ca. 20 km nordöstlich von Schapbach gelegen, spiegelt dies wider (Abb. 2).

Da Schapbach mit 425 m ü. NHN deutlich niedriger liegt, ist die Jahresdurchschnittstemperatur mit 8,6 °C fast 2 Grad höher (Abb.3).

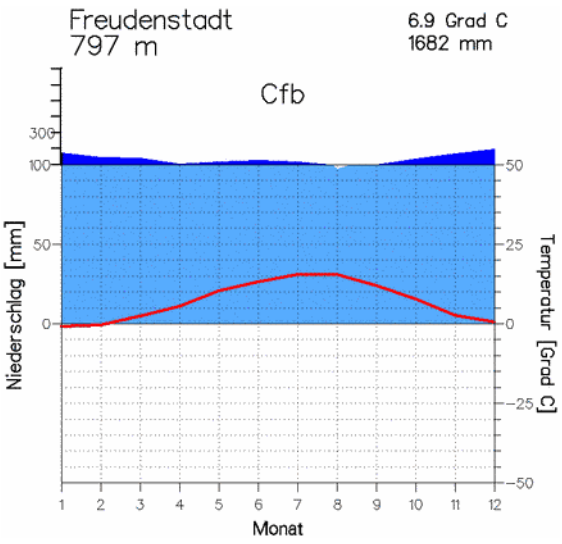


Abb. 2: Klimadiagramm von Freudenstadt (https://www.klimadiagramme.de/Deutschland/freudenstadt2.html)

Das Klima von Schapbach wird als warm und gemäßigt klassifiziert (Cfb nach Köppen und Geiger). Das Klima weist durch die relativ abgeschlossene Beckenlage des Tales rund um Schapbach einige Besonderheiten auf. Durch die westlichen und nordwestlichen Bergketten abgeschirmt, entwickelt sich im Tal häufig ein Föhneffekt, der dem Ort deutlich weniger Niederschläge beschert als den umliegenden Höhen. Der Jahresniederschlag ist mit 1267 mm zwar hoch, auch während des trockensten Monats, aber deutlich niedriger als in Freudenstadt. Im Winter führt diese Beckenlage vor allem über Schnee zu Kaltluftansammlungen, die durch das gewundene Tal nicht gut abfließen können. Durch die starke nächtliche Abstrahlung führt dies zu starken Winterfrösten und sorgt für deutlich längere Schneebedeckung, als nach der Höhenlage von knapp über 400 m zu erwarten wäre. Der Ort kann zudem praktisch zur nebelfreien Zone erklärt werden. Selbst während winterlicher Inversionswetterlagen dringt der Nebel vom Oberrheintal nicht über das Kinzigtal bis nach Schapbach vor und beschert den Einwohnern viele Sonnenstunden, die sonst nur in größeren Höhenlagen genossen werden können. Der Frühling hält allerdings durch die Nähe zum Kinzigtal und dessen offene Verbindung zum Oberrheintal schnell Einzug und führt zu einer deutlich rascheren Vegetationsentwicklung als in den kontinentaler geprägten, östlichen Landesteilen vergleichbarer Höhenlage.

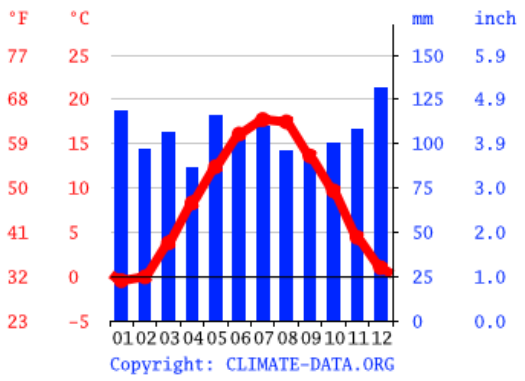


Abb. 3: Klimadiagramm Schapbach (https://de.climate-data.org/europa/ deutschland/baden-wuerttemberg/schapbach-192409/)

2.4 Vegetation

Die Vegetation des Schwarzwaldes ist seit Jahrhunderten stark durch den Menschen geprägt. Die natürliche Vegetation, die sich nach der letzten Eiszeit in diesem Mittelgebirge entwickelt hat, war bereits ca. 1000 BC durch Buchen- und Buchen-Tannen-Wälder geprägt, die im südlichen Schwarzwald auf Granit und Gneis noch Anfang des 20. Jh. den unteren Bergwald dominierten, während zu dieser Zeit im Nordschwarzwald auf Buntsandstein Tannen- und Fichten vorherrschten (Oltmanns 1922). Nur auf den reicheren Böden des unteren Bundsandsteins kamen auch Buchen vor. Die Tanne (*Abies alba*) ist nach Oltmanns (1922) der Charakterbaum der dem Rhein zufließenden Schwarzwaldtäler. „Wir finden reine und auch recht umfangreiche Bestände im unteren Kinzig-, im Harmersbach- und im Wolftal." Die ozeanische Prägung erhalten diese Wälder durch die wintergrüne Stechpalme (*Ilex aquifolium*). Der Unterwuchs der Tannenwälder ist je nach Bodenfeuchte und Lichteinfall unterschiedlich ausgeprägt. Die feuchten Tobel sind durch verschiedene Farne wie *Dryopteris filix-mas* (Gewöhnlicher Wurmfarn), *D. dilatata* (Breitblättriger Wurmfarn) und *D. carthusiana* (Gewöhnlicher Dornfarn) charakterisiert. Auch hochmontane Arten wie der Bergfarn (*Oreopteris limbosperma*) und Alpendost (*Adenostyles alliariae*) kommen um Schapbach vor. Wenn etwas mehr Licht vorhanden ist, leuchten hier oft die Blütenstände von *Aruncus dioicus* (Waldgeißbart), *Cardamine flexuosa*, und *C. impatiens* (Wald- und Springschaumkraut). An den Wasserläufen, wenn genügend Licht vorhanden ist, wachsen *Caltha palustris, Ranunculus aconitifolius* und auch *Aconitum lycoctonum*.

Auf den etwas trockeneren, moosbedeckten Waldböden (häufig mit dem Frauenhaarmoss *Polytrichum formosum*), prägen vor allem der schattentolerante Sauerklee *Oxalis acetosella, Blechnum spicant* (Rippenfarn), *Galium rotundifolium* (rundblättriges Labkraut) und die für bodensaure Wälder typischen Hainsimsen *Luzula sylvatica* und *L. luzuloides* den krautigen Unterwuchs.

Die noch trockeneren und lichtreicheren, bodensauren Waldböden werden häufig von der Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), *Veronica officinalis* (Echter Ehrenpreis) und *Avenella flexuosa* bewachsen.

Auf den extrem sauren Podsolböden gedeihen unter Fichten nur Torfmoose wie *Sphagnum quinquefarium* oder andere Moose wie *Bazzania trilobata* (Peitschenmoos) und *Rhytidiadelphus loreus* (Schöner Runzelbruder).

Eichenniederwälder, vor allem zur Gewinnung der Gerberrinde, kamen an den Hängen des Kinzig-, Rench- und Wolftals verbreitet vor. So beschreibt Oltmanns (1922): „Um Hausach und Wolfach, wie auch aufwärts bis nach Schapbach sind endlich die Talhänge vielfach mit einem Niederwald bestanden, in welchem die Eiche mit anderen Laubhölzern (besonders Hasel und Birken) gemischt ist. In Gesellschaft mit solchen reinen oder gemischten Eichenbeständen lebt mit Vorliebe der Besenginster (*Cytisus scoparius*)." Auch andere ozeanische Arten wie der Salbei-Gamander (*Teucrium scorodonia)*, die im Schwarzwald ihre östliche Verbreitungsgrenze erreichen, bereichern diese lichtreichen Wälder.

Lichtungen, die durch Schneebruch, Sturmwurf oder starke Einschläge in der Femelwirtschaft entstehen, werden oft massenhaft vom Roten Fingerhut (*Digitalis purpurea*) und/oder dem schmalblättrigen Weidenröschen (*Epilobium angustifolium*) besiedelt und prägen das erste Sukkzessionsstadium, bevor Pioniergehölze wie Birke, Eberesche, Espe und häufig auch die Fichte die Wiederbewaldung einleiten. Auch andere Hochstauden wie das Fuchsche Greiskraut (*Senecio fuchsii)* oder die Tollkirsche (*Atropa belladonna*) können

sich dazugesellen, wenn sich nicht der Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) breitmacht und die Wiederbewaldung dauerhaft verhindert. Auf trockeneren Flächen siedelt sich gerne auch die Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) an.

Entlang der geschiebereichen Schwarzwaldbäche entwickelten sich Schwarzerlengalerien (*Alnus glutinosa*), welche mit den Stamm- und Rindenschäden durch Geschiebe bei Hochwässern und Eisschollen bei Eisgang durch ihr extremes Regenerationsvermögen gut zurechtkommen und bei Hochwässern abgelagerte, vegetationsfreie Schotterfächen schnell besiedeln können.

Natürlich waldfreie Flächen gab es wenig: Sturmwurf- oder Schneebruchflächen als temporär waldfreie Inseln in den Wäldern oder Hangquellmoore und Hochmoore sowie Felsen und Felsköpfe als permanent waldfreie Standorte.

Massive Eingriffe in diese Naturwälder erfolgten wie beschrieben wahrscheinlich bereits in vorrömischer Zeit, als der Erzabbau und dessen Verhüttung lokal einen hohen Holzbedarf erforderte. Nach Aufgabe des Bergbaus eroberte sich der natürliche Wald die waldfreien Standorte wieder. Erst mit dem Mittelalter wurde der Bergbau mit entsprechendem Holzbedarf wieder aufgenommen. Aber auch die Glasherstellung spielte im Wolftal seit dem Mittelalter eine Rolle, wie der Ortsteil Glaswald und der Glaswaldsee bezeugen. Auch wird in Wolfach heute noch eine Glashütte betrieben. Die Versorgung der Handwerker und Bergleute übernahmen die Bauern. Auch diese hatten einen hohen Holzbedarf. Der Bau eines Schwarzwaldhofes verschlang nach Wilmanns (2001) bereits rund 1000 Festmeter, was ca. 20–25 ha Wald entspricht. 40 Festmeter wurden jährlich für das Beheizen von Küche und Stube in den langen Wintern benötigt. Und dann brauchte man noch Holz für Zäune und vielerlei Gerätschaften.

Im Wolftal wurden, wie im Großteil des Schwarzwaldes, sogenannte Großdach-Einfirsthöfe gebaut, wo Mensch und Tier unter einem Dach lebten. Sie wurden außerhalb der hochwassergefährdeten Aue am Hang errichtet, so dass über die sogenannte Einfahrt die Ernte direkt in den Dachstock eingebracht werden konnte. Über dem Heustock auf der Bühne war noch das Getreidelager. Über die Heuschächte, das sind vom Heustock bis zum Stall durchgehende Kamine, wurde der Stall dann mit Heu beschickt. Der Stall lag im Erdgeschoss unter der Stube und wärmte sie mit der Körperwärme der Milchkühe und Zugochsen von unten. Im hinteren Teil des Obergeschosses waren die Schlafstuben für Bauernfamilie und Gesinde über den Kellerbauten. Regional unterscheidet man verschiedene Dachkonstruktionen. Im Wolftal wurden die für den mittleren Schwarzwald typischen, stehenden Stühle gebaut, d.h. die Ständer gehen vom Boden bis zum Dach durch. Im südlichen Schwarzwald herrschen dagegen liegende Stühle vor und dazwischen gibt es auch Mischformen. Die kompakte Wohnform, mit Wohn-, Stall- und Scheunenteil unter einem Dach bot viele Vorteile. So wurden Wärmeverluste vermieden und die warme Luft von der Feuerstelle und aus dem Stall durchströmte den Dachraum, verhinderte Kondenswasserbildung und wirkte damit der Selbstentzündung des Heus entgegen, welches heutzutage die häufigste Ursache für schwere Hofbrände ist (Wilmanns 2001). Im Wolftal stehen die ursprünglich konstruierten Hofgebäude häufig heute noch, d. h. sie sind mehr als 800 Jahre alt. Wenn man heutige Bauten damit vergleicht, wird die Nachhaltigkeit des damaligen Werkes ersichtlich. Die Dachkonstruktionen waren ursprünglich für die Strohabdeckung konstruiert, nur der Bereich um den Kamin erhielt aus Brandschutzgründen eine Ziegelabdeckung. Für die heutige, ganzflächige Ziegelabdeckung mussten sie nachträglich stabilisiert werden.

Die gerodeten Waldflächen wurden als Acker-, Wiesen- und Weideflächen genutzt. Dabei wurde der bei der winterlichen Stallhaltung anfallende Mist für die Äcker gebraucht. Trotzdem erschöpften diese sich nach wenigen Jahren, so dass sie zur Erholung längere Zeit als Grasland genutzt werden mussten (Feldgraswirtschaft bzw. Egartenwirtschaft). Entsprechend war die Grünlandwirtschaft flächenmäßig immer dominant.

Es bildeten sich entsprechende Vegetationstypen heraus:

Die Getreide- und Hackfruchtäcker bildeten bodensaure Beikrautgemeinschaften mit Ackerhundskamille (*Anthemis arvensis*), Ackerfrauenmantel (*Aphanes arvensis*), Niederliegendem Johanniskraut (*Hypericum humifusum*), Knäuel (*Scleranthus annuus*) und Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*) u. a. aus (vgl. Breunig et al. 2023; https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10565). Heute gibt es keine Äcker mehr in Schapbach. Selbst die bis in die 1970er Jahre noch verbreiteten Kartoffel- und Getreideäcker der Waldarbeiter mit Nebenerwerbslandwirtschaft sind heute verschwunden.

Neben den Weiden waren Heu- und Futterwiesen wichtige Bestandteile der Landwirtschaft der Schwarzwaldbauern. Futterwiesen wurden hofnah häufig als Wässerwiesen bewirtschaftet, d. h. nach jedem Schnitt wurde bewässert, um über die düngende Wirkung (häufig wurden Stallabwässer zugeleitet) ein schnelles Wachstum in Gang zu setzen. Auch konnte die zeitige Wässerung im ausgehenden Winter die Schneeschmelze beschleunigen und so die Vegetationsperiode verlängern. So konnten bis zu 5 Schnitte durchgeführt und entsprechend hohe Futtererträge erzielt werden. Als Pflanzengemeinschaft bildeten sich Sumpfdotterblumen-Wiesen heraus, mit *Caltha palustris* und anderen Feuchtezeigern wie z. B. Wiesenknöterich (*Bistorta officinalis)*, Kuckuckslichtnelke (*Lychnis flos-cuculi)* und Wolligem Honiggras (*Holcus lanatus)*.

Heuwiesen wurden i. d. R. zweimal gemäht und ggf. im Herbst noch nachbeweidet. Es bildeten sich durch die Jahrhunderte währende Nutzung ohne Düngung typische, magere Rotschwingel-Straußgras-Wiesen heraus, mit Bärwurz (*Meum athamanticum*) als prägendem ozeanischen Florenelement, welches im Schwarzwald die östliche Verbreitungsgrenze erreicht. Mit der Schwarzen Glockenblume (*Centaurea nigra*) und dem Harzer Labkraut (*Galium saxatile*) gesellen sich weitere ozeanische Arten dazu. Magere Wiesen sind heute eher selten und durch die FFH-Richtlinie als Lebensraumtyp 6520 „Magere Bergwiesen“ geschützt. Wo noch landwirtschaftliche Grünlandnutzung stattfindet, sind die Wiesen aufgedüngt und artenarm.

Ein Großteil der Offenlandflächen wurde jedoch beweidet, mit durch Waldweide fließenden Übergängen zum Wald.

Typisch für den Mittleren Schwarzwald waren (und sind selten auch noch heute) Besenginsterweidfelder, durch Übernutzung verheidete Weideflächen, in denen der Besenginster (*Cytisus scoparius*), aber auch die Besenheide (*Calluna vulgaris*) und der Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) den Futterwert der Flächen minderten. Auch Wacholder (*Juniperus communis*) und Stechpalme (*Ilex aquifolium*) zählten häufig zu den bewehrten Gehölzen der Weidfelder des mittleren Schwarzwaldes. An Gräsern dominierte hier das Borstgras (*Nardus stricta)*. Der Besenginster ist typisch für saure, magere und lichtreiche Standorte. Er ist in allen Pflanzenteilen giftig, außer der Blüte, und wird deshalb nicht gefressen. Als ozeanische Art ist er empfindlich für starke Winterfröste und friert in harten Wintern zurück. Auch wird er nicht sehr alt, sodass auf den Besenginster-Weidfeldern mit der Zeit ein hoher Anteil an abgestorbenem Pflanzenmaterial vorhanden war. Deshalb wurde häufig zu Feuer

als Mittel zur Weidepflege gegriffen, was allerdings kontraproduktiv war, denn der Besenginster wurde durch Brand eher gefördert, da durch den Hitzeschock die Keimruhe der Samen bricht und für ein vermehrtes Auskeimen sorgt. Nach dem 2. Weltkrieg wurde ein Großteil der Besenginster-Weidfelder mit Fichte aufgeforstet. Wo nicht gezielt aufgeforstet wurde, stellte sich Sukzession ein, und über Birken und Espen wuchsen auf den mageren Böden häufig Eichenwälder heran.

3 Beschreibung der Standorte und Bodenprofile

3.1 Der Burgbachwasserfall und die Gaststätte „Zum letzten G'stehr"

Der erste Zielort der Exkursion ist der Burgbachwasserfall. Der Name stammt von einer kleinen, mittelalterlichen Trutzburg, die den Eingang in das obere Wolftal bewachte und sich etwas oberhalb befindet.

Die Wanderung beginnt am Wanderparkplatz bei der ehemaligen Gaststätte „Zum letzten G'stehr". Der Name weist daraufhin, dass selbst hier im obersten Wolftal historisch geflößt wurde. Möglich gemacht hat das unter anderem das Aufstauen des hier in die Wolf mündenden Burgbaches, dessen Wasserressourcen heute für die Fischzucht genutzt werden.

Bevor wir den Wasserfall nach einer zwanzigminütigen Wanderung durch schon recht steiles Gelände erreichen, wird eine Einführung in den Naturraum des mittleren Schwarzwaldes im Allgemeinen und das obere Wolftal im Speziellen gegeben.

Der Burgbachwasserfall gilt mit seinen 32 Metern Höhe, davon 15 frei fallend, als einer der höchsten in deutschen Mittelgebirgen. Er ist deswegen von Interesse, weil er hier zwei für das obere Wolftal wichtige Gesteine freilegt: die Arkose und den darunterliegenden Granit. Der liegende Granit ist für die Frostverwitterung wohl anfälliger, da die beiden Felsformationen durch eine kleine rückschreitende Stufe voneinander getrennt werden. Im Bachbett finden sich auch Vorkommen der hangenden Sedimentgesteine, unter anderem der helle Tigersandstein und roter Hauptbuntsandstein. Der Granit ist hier mittel- bis feinkörnig und von typischer felsischer Zusammensetzung (Feldspat, Quarz, Glimmer). Die Arkose zeigt zum Teil Xenolithe, Anschmelzungen und rote Einsprengungen. Diese weisen a. auf vulkanische Aktivität während der Ablagerung in der Zeit des Perm, genauer des Oberen Rotliegenden und b. nur einen Kurzstreckentransport des Materials hin.

Beeindruckend sind die Klüftung des Gesteins und die damit zusammenhängende von Fichtenwald bestandene grobe Blockschutthalde sowie das dort erfahrbare besonders feuchte Kleinklima.

Die Waldvegetation entspricht hier einem Tannen-Fichtenwald wobei die Tanne (*Abies alba*) auf den Blockschutthalden der Sonnenseite des Taleinschnitts bessere Voraussetzungen hat und diese dominiert, während die kälteliebendere Fichte (*Picea abies*) den Schatthang dominiert. Im Unterwuchs auf feuchten Standorten nahe dem Bach dominieren verschiedene Farne, Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*), Pestwurz (*Petasites alba*), Eisenhutblättriger Hahnenfuß (*Ranunculus aconitifolius*) und auch der Alpendost (*Adenostyles alliariae*) kommt hier vor. Auf Rieselfluren wächst das Gegenblättrige Milzkraut (*Chrysosplenium oppositifolium*).

Auf dem Weg zum Wasserfall kann an den wegbegleitenden, schattigen Mauern eine interessante Mischung aus Kleinfarnen beobachtet werden. Neben Tüpfelfarn (*Polypodium vulgare*) kommen hier z.B. Buchen- (*Phegopteris connectilis*) und Eichenfarn (*Gymnocarpium dryopteris)* vor.

Die Hangwiesen sind sehr magere Rotschwingel-Straußgraswiesen, mit den Hauptgräsern Rotschwingel (*Festuca rubra*) und Rotem Straußgras (*Agrostis capillaris*) als dominierenden Gräsern. Weitere Magerkeitszeiger sind Feldhainsimse (*Luzula campestris*), Weiches Honiggras (*Holcus mollis),* Drahtschmiele (*Avenella flexuosa*) und Ruchgras (*Anthoxanthum odoratum*).

An Kräutern kommen häufig Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*), Gewöhnlicher Frauenmantel (*Alchemilla vulgaris*) und Wald-Witwenblume (*Knautia sylvatica*) vor. Bärwurz (*Meum athamanticum*) und Harzer Labkraut (*Galium saxatile*) geben

der Wiese ein ozeanisches Gepräge. Magerkeitszeiger haben einen hohen bis sehr hohen Anteil (z. B. Gewöhnlicher Hornklee (*Lotus corniculatus*), Feldhainsimse, Harz-Labkraut) (Vgl. Artenliste Burgbach).

3.2 Die Standorte auf der Hinteren Sulz

Der Begriff Sulz meint hier versumpfte Standorte, er ist also ein Hinweis auf den Wasserreichtum des Areals. Letzterer leitet sich aus einer lokal erhöhten Anzahl von Quellen ab. Diese wiederum sind bedingt durch die geogene Schichtung in diesem Gebiet, die auf kurzer Strecke grob durch drei Gesteinspakete repräsentiert werden, die eine unterschiedliche Durchlässigkeit für das Wasser haben. An den Grenzschichten zwischen diesen Gesteinspaketen tritt das Wasser aus.

Da ist zum einen die Grenze zwischen dem Unteren Buntsandstein (su, sandig verwitternd mit hohem Perkolationsvermögen) und dem oberen Rotliegenden (ro, lehmig bis tonig mit mittlerem Perkolationsvermögen). Tiefer folgt dann die Grenze zwischen dem oberen Rotliegenden und dem liegenden massiven Granit (G) (Abb.7).

Vergleicht man die geologische Karte mit der Landnutzung, so fällt auf, dass die Offenlandstandorte eng mit dem oberen Rotliegenden verknüpft sind. Im Gelände sind diese ehemaligen Ackerstandorte durch ihre relativ geringe Geländeneigung gekennzeichnet; wobei es im Rotliegenden auch durchaus sehr steile waldbestandene Areale gibt, die unter aktuellen Bedingungen erstaunlich erosionsresistent erscheinen.

Tab. 1: Rötliche Braunerde (1) Standorteigenschaften

H:	3448300
R:	5359229
Höhe:	541 m ü. NHN
Hangneigung:	34°
Exposition:	NO
Vegetation/ Nutzung:	Fichtenforst
Gestein:	Fließerden oberes Rotliegendes (Schramberg-Formation)
Bodentyp:	(reliktisch beackerte) rötliche Mull-Normbraunerde



Abb. 4: Rötliche Braunerde aus dem oberen Rotliegenden

Tab. 2: Rötliche Braunerde (2) Standorteigenschaften

H:	3448722
R:	5359418
Höhe:	533 m ü. NHN
Hangneigung:	13°
Exposition:	320° NNW
Vegetation/ Nutzung:	Fichtenforst mit Waldwachtelweizen im Unterwuchs
Gestein:	Murensediment über oberem Rotliegenden (Schramberg-Formation)
Bodentyp:	reliktisch beackerte rötliche Moder-Normbraunerde



Abb. 5: Rötliche Braunerde aus Murenmaterial über oberem Rotliegenden

Tab. 3: Podsol Standorteigenschaften

H:	3448806
R:	5359534
Höhe:	557 m ü. NHN
Hangneigung:	22°
Exposition:	330° NNW
Vegetation/ Nutzung:	Fichtenforst mit Eibe, im Unterwuchs Blaubeere und Sphagnum-Moos
Gestein:	Buntsandstein-Hangschutt
Bodentyp:	Bändchenpodsol



Abb. 6: Podsol aus Buntsandstein-Hangschutt

4 Interpretation der Ergebnisse

4.1 Rötliche Braunerde aus oberem Rotliegenden

Die rötliche Braunerde zeigt eine einheitliche Mineralzusammensetzung. Auch die Körnung ist – abgesehen vom Ah-Horizont – sehr homogen. Im gesamten Profil ist Hämatit nachweisbar (Abb. 9a). Allerdings nimmt der Goethitanteil zum Oberboden hin zu. Dies wird als einsetzende Verbraunung unter den aktuellen klimatischen Bedingungen angesehen. Respektive ist der Hämatitanteil reliktisch.

Die Tonmineralzusammensetzung ist divers mit Anteilen von Kaolinit, Illit, sekundärem Chlorit (HIV) und Wechsellagerungsmineralen (Abb 9b). Auch sie zeigt einen Gradienten mit einer Zunahme des sekundären Chlorits auf Kosten des Illits in Richtung Oberboden. Dieser Gradient wird ebenso der aktuellen Verwitterung zugeschrieben.

Die Basen- und insbesondere die Calziumsättigung ist äußerst gering (Tab. 4d) und bedingt einen sehr niedrigen pH-Wert (Tab. 4c), der sich im Bereich des Oxidpuffers bewegt. Dies zeigt sich auch an den hohen Anteilen an austauschbarem Aluminium (Tab. 4d). Aus standortskundlicher und pflanzenernährerischer Sicht handelt es sich daher um äußerst schwierige Standorte.

Bemerkenswert sind die hohen und zum Unterboden hin zunehmenden Werte für pflanzenverfügbaren Phosphor (Tab. 4c). Um diese Ergebnisse abzusichern, wurden sie neben CAL auch mit Bray 1 Lösung extrahiert. Letztere Analyse bestätigte den Trend. Dieser harrt noch einer Erklärung.

Auffällig ist auch die relativ tiefe Humusanreicherung (Tab. 4c). Normalerweise ist bei diesem niedrigen pH und entsprechend hoher Al-Sättigung keine Humusform Mull zu erwarten. Möglich wäre auch bei dieser Hangneigung eine ehemalige Ackernutzung bei Handbearbeitung (s. a. Bodenprofil 2).

4.2 Rötliche Braunerde aus Murenmaterial über Rotliegendem

Die Geländeposition dieses Bodenprofils ist außergewöhnlich. Die geomorphologische Form wird als Mure interpretiert, die wohl im ausklingenden Glazial aufgrund des Schmelzens des Permafrostes entstanden ist, so wie das aktuell häufig in den Alpen zu beobachten ist. Da aber keine Datierung vorliegt, kann das Ereignis auch später stattgefunden haben.

Der Grobboden zeigt einen Gradienten von oben nach unten im Profil, mit einem überwiegenden Anteil von Buntsandsteinmaterial im Oberboden und zunehmenden Anteilen von vor allem Granit/Gneis in Richtung Unterboden. Diese Tendenz zeigt sich auch in den RBA-Pulveraufnahmen der Feinerde (Abb. 10).

Bei der Körnung nehmen die Sandanteile nach oben im Profil ab, die Tonanteile aber zu. Es gibt mehrere Argumente eine Schichtung anzunehmen. Im Bv-Cv Horizont ist der Grobsandanteil extrem hoch, das gS/mS Verhältnis ist größer eins (Tab. 5b) und sowohl Fe_t als auch Ti_t sind deutlich niedriger als im darüber liegenden Horizont (Tab 5c).

Die tiefe Anreicherung von Humus lässt eine ehemalige Ackernutzung wahrscheinlich werden; das wird auch an den Nachbarstandorten durch Vegetation und Horizontmächtigkeiten deutlich. Der C_{org}-Gradient zeigt aber auch, dass die ehemalige Ackernutzung schon Jahrzehnte zurückliegt.

Das $Fe_{d/t}$-Verhältnis (Tab. 5c) legt eine aktuelle Verbraunung nahe.

4.3 Podsol aus Buntsandstein-Hangschutt

Eine Besonderheit dieses Profiles ist der durch Sphagnen gebildete mächtige Ol-Horizont, der direkt in einen Oh-Horizont übergeht. Dies entspricht nicht der unter diesen Bedingungen zu erwartenden Horizontabfolge eines Rohhumus. Bei den hier vorkommenden Sphagnen handelt es sich nicht um die Arten, die in Hochmooren die hH-Horizonte aufbauen! Da es sich hier um ein terrestrisches Profil ohne Grundwasseranschluss handelt, wurde der oberste Horizont auch als O- und nicht als H-Horizont angesprochen.

Die „Sesquioxid"- und die Humusanreicherungszone im Unterboden überlappen und es treten von beiden Formen Bänder auf, die auf Verlagerung mit Starkregenereignissen in diesem extrem sandigen Substrat zurückzuführen sind. Auch treten Akkumulationszonen an der Unterseite von Steinen auf.

Das Profil ist extrem sauer, mit pH-Werten an der Profilobergrenze von unter 3 (Tab. 6b). Trotzdem sind diese Horizonte extrem gut durchwurzelt (Tab. 6a), was an der Tatsache liegt, dass es sich zum einen um angepasste Vegetation handelt (z. B. Blaubeere) und zudem die relative Al-Sättigung hier bei nur 0-1% liegt und zusätzlich die absoluten Werte an austauschbarem K, Ca und Mg höher liegen als im Unterboden (Tab. 6c).

Offensichtlich führt der niedrige pH-Wert im Zusammenspiel mit ausreichender löslicher organischer Substanz und starker Sickerung bei hohem Niederschlag aber sandiger Textur durch die Podsolierung zu einer quantitativen Verlagerung der Al^{3+}-Ionen.

Das hohe Al-Angebot führt dann im Unterboden zur Bildung sekundärer Chlorite (Abb. 11), heute auch Hydroxy-Interlayered Vermiculite genannt.

Das königswasserlösliche Titan zeigt sein Maximum im Bbhs-Horizont (Tab. 6b). Dies legt nahe, dass unter diesen extremen Podsolbedingungen auch Titan mobil wird und vertikal verlagert werden kann.

4.4 Standortvergleich

Die Bodenkarte (Abb. 8) zeigt die hohe räumliche Variabilität der Bodentypenverteilung. Zwar dominieren die Braunerden, davon etwa die Hälfte vom rötlichen Typ im abgedeckten Kartiergebiet, aber es treten auch verbreitet stauwasser- und grundwasserdominierte Böden auf; darunter auch Kolluvisol-Gleye, die an Tschernitzen erinnern aber eine niedrige Basensättigung aufweisen. Die im Wesentlichen durch das obere Rotliegende dominierten roten Unterböden ziehen sich in einem Bogen durch das Kartiergebiet. Sie finden sich sowohl in flachen als auch steilen Hangpositionen und es gibt Übergänge zu den Buntsandsteinprofilen durch diverse Hangverlagerungsprozesse.

Weit verbreitet finden sich reliktische Ap-Horizonte sowohl unter Wald als auch Wiese. Insbesondere in der Nähe des Sulzer- (bzw. Dieterles-) Hofes finden sich auch starke Zeichen der anthropogenen Veränderung durch die Anlage von Be- und Entwässerungsgräben, durch Schürfgruben etc. Auf die Retranslokation hangaufwärts von erodiertem Oberbodenmaterial wurde zuvor schon hingewiesen.

Alle analysierten Profile unter Wald weisen niedrige pH-Werte auf. Aufgrund der besseren trophischen Bedingungen scheinen aber Rotliegend-Standorte gegenüber denen auf Buntsandstein für die ehemalige Ackernutzung präferiert worden zu sein.

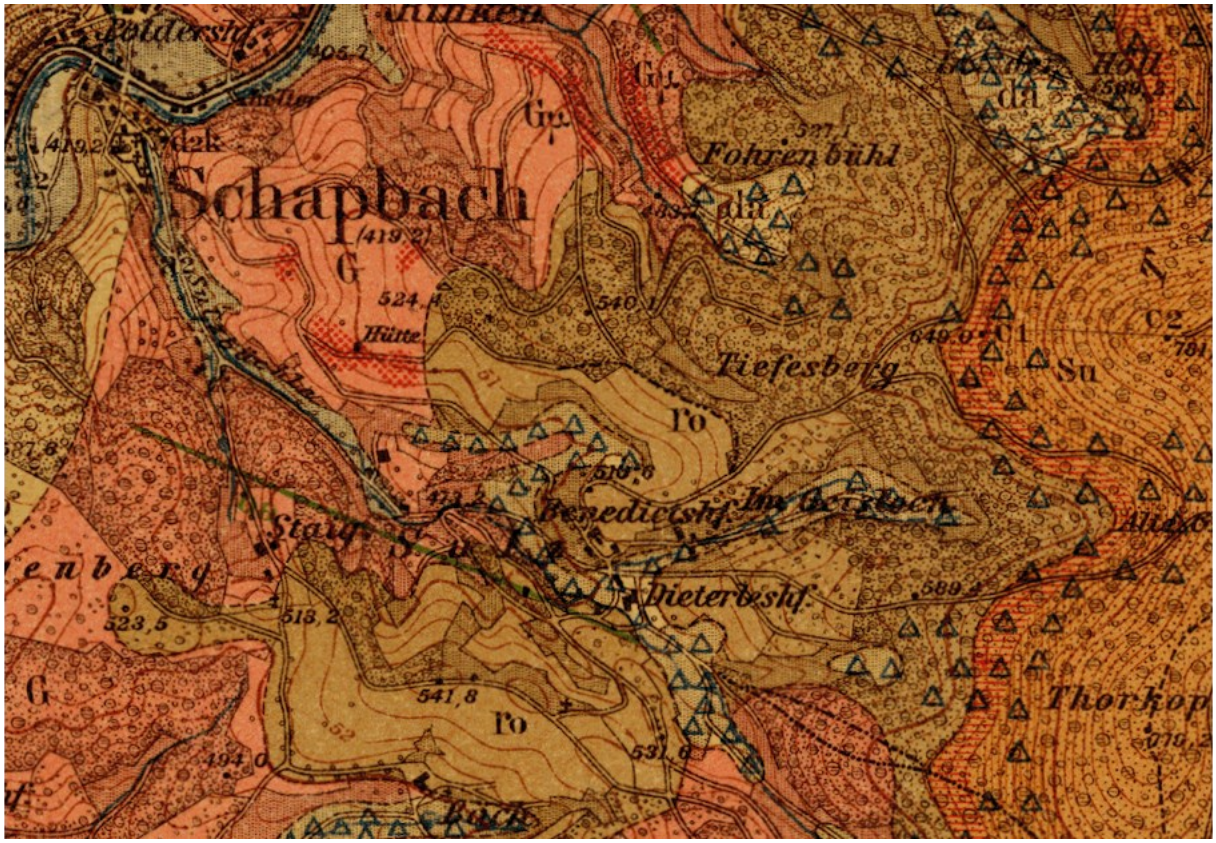


Abb. 7: Ausschnitt aus der geologischen Karte für das Exkursionsgebiet (Nr. 7615, 1 : 25000, G = Granit, ro = oberes Rotliegendes, su = unterer Buntsandstein)

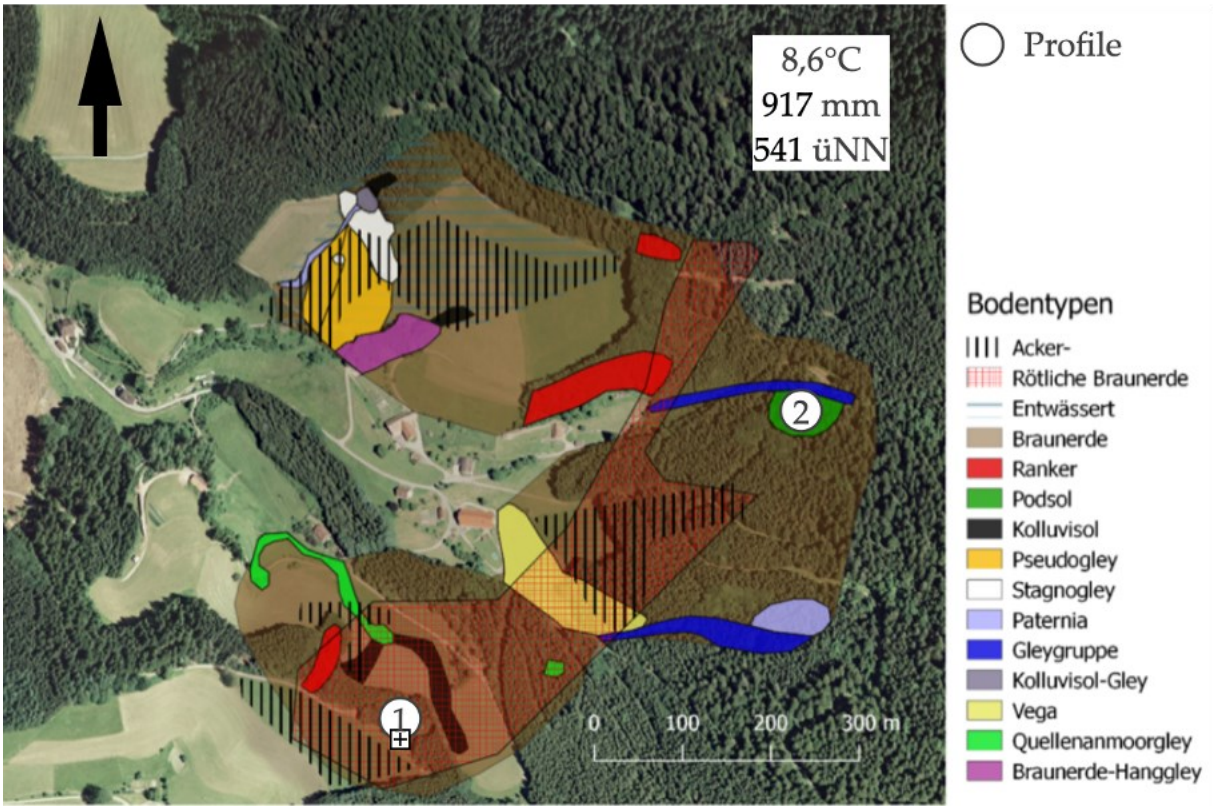


Abb. 8: Bodentypenkarte (ca. 1 : 10.000) der hinteren Sulz

5 Bodenanalysen

5.1 Bodenprofil 1: Rötliche Braunerde aus oberem Rotliegenden

Tab. 4a: Analysedaten rötliche Braunerde

Tiefe [cm]	Horizont KA5/6	Farbe Munsell	Bodenart	Steine [Gew.-%]	Gefügeform	Durchwurze-lungs-intensität	Carbonat [%]
+3	Ol	-	-	0	-	-	0
–16	Ah	7,5YR5/2	Ls4	38	krü	W5	0
–26	IIAh-Bv	2,5YR3/3	Ls4	49	krü-subpol	W4	0
–60	Bv1	2,5YR 4/4	Ls4	38	subpol-gran	W2	0
–100	Bv2	2,5YR4/6	LS4	52	gran-subpol	W2	0

Tab. 4b: Analysedaten rötliche Braunerde: Körnung

Horizont	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-art
	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
Ah	30	24	10	6	6	6	18	18	64	Ls4
IIAhBv	21	26	12	7	6	6	22	19	59	Ls4
Bv1	21	27	11	7	6	6	22	19	59	Ls4
Bv2	20	27	12	6	6	6	23	18	59	Ls4

Tab. 4c: Analysedaten rötliche Braunerde: Bodenchemische Eigenschaften I

Horizont	pH [$CaCl_2$]	C_{org} [Masse-%]	N_t [Masse-%]	C/N	P (CAL) [mg kg^{-1}]	K (CAL) [mg kg^{-1}]	P (Bray1) [mg kg^{-1}]	K (Bray1) [mg kg^{-1}]
Ah	3,6	5,80	0,40	14,5	9,1	35,1	29,8	72,5
IIAh-Bv	4,0	1,74	0,14	12,4	10,8	<0,1	23,2	40,1
Bv1	4,1	0,99	0,09	11,0	22,8	<0,1	65,5	26,4
Bv2	4,2	0,70	0,07	10,0	21,4	<0,1	61,0	23,1

Tab. 4d: Analysedaten rötliche Braunerde: Bodenchemische Eigenschaften II

Horizont	KAK_{eff} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS_{eff} [%]	KAK_{pot} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS_{pot} [%]	Na [$mmol_c$ kg^{-1}]	K [$mmol_c$ kg^{-1}]	Ca [$mmol_c$ kg^{-1}]	Mg [$mmol_c$ kg^{-1}]	Al [$mmol_c$ kg^{-1}]	Al+H [$mmol_c$ kg^{-1}]
Ah	80	8	333	2	0,4	2,8	0,8	2,3	65	74
IIAh-Bv	47	5	184	1	0,4	1,3	0,1	0,8	42	45
Bv1	33	6	149	1	0,2	1,2	0,1	0,4	29	31
Bv2	31	5	143	1	0,2	1,1	0,0	0,1	23	30

Tab. 4e: Analysedaten rötliche Braunerde Bodenchemische Eigenschaften III

Horizont	Fe_o [g kg^{-1}]	Fe_d [g kg^{-1}]	Al_o [g kg^{-1}]	Al_d [g kg^{-1}]	Mn_d [mg kg^{-1}]	Fe_o/Fe_d
Ah	4,1	10,4	4,7	5,8	266	0,4
IIAhBv	4,2	10,6	5,0	4,9	269	0,4
Bv1	3,5	10,5	5,2	5,3	289	0,3
Bv2	2,9	10,1	6,0	5,4	263	0,3

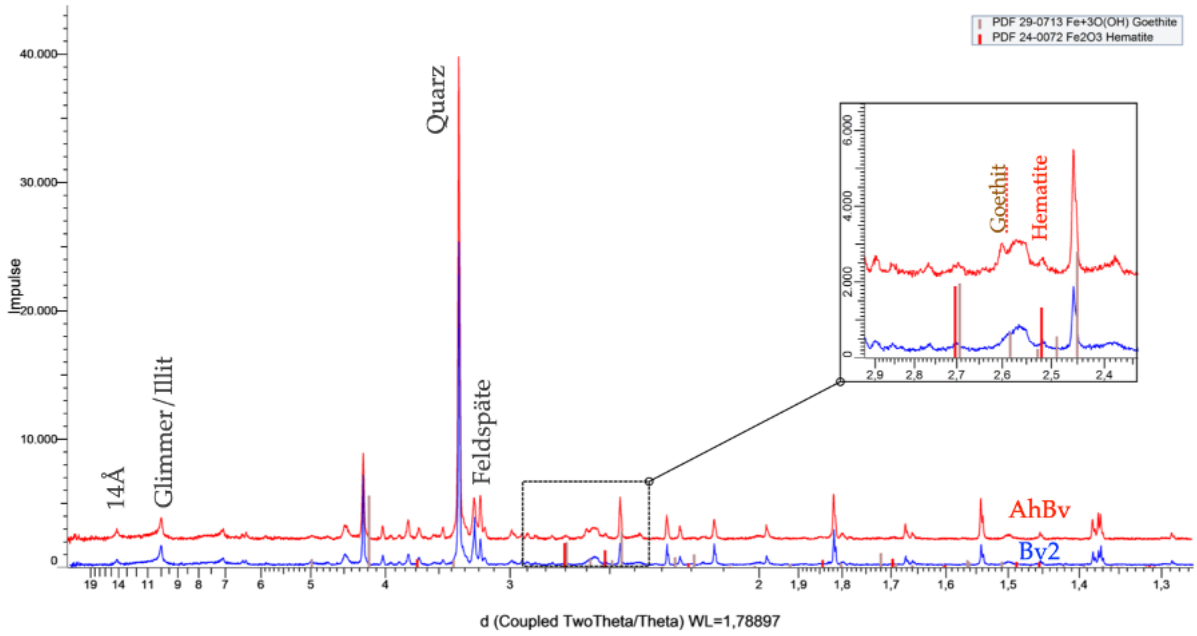


Abb. 9a: RBA Diagramme der rötlichen Braunerde (1), Gesamtmineralzusammensetzung (Pulver, Cobalt-Röhre)

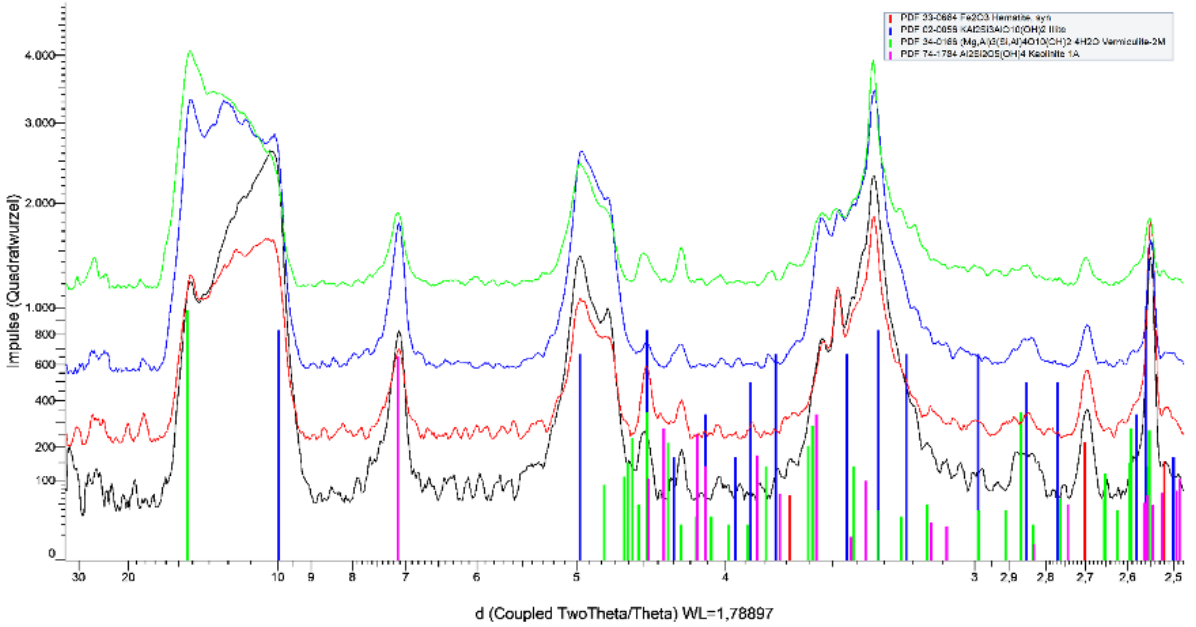


Abb. 9b: RBA Diagramme der rötlichen Braunerde (1), Tonmineralzusammensetzung (Textur, Mg-belegt, Cobalt-Röhre)

5.2 Bodenprofil 2: Rötliche Braunerde (2) aus Murenmaterial über oberem Rotliegenden

Tab. 5a: Analysedaten rötliche Braunerde (2)

Tiefe [cm]	Horizont KA6	Steine [Gew.-%]	Farbe Munsell	Gefügeform	Durchwurzelungsintensität	Carbonat [%]	Lagerungsd. [kg dm-3]
+6	Ol	0	-	-	-	0	-
+4	Of	0	-	-	W3	0	-
–6	Ah1	-0	5YR2,5/1	krü	W4	0	-
–20	Ah2	19	5YR2,5/1	krü-sobpol	W3	0	0,84
–32	rAp	12	5YR4/3	subpol-einz	W2	0	1,18
–56	Bv	17	2,5YR4/4	subpol-einz	W2	0	1,19
91+	IIBv-Cv	34	2,5YR3/4	einzel	W0	0	1,52

Tab. 5b: Analysedaten rötliche Braunerde (2): Körnung

Horizont	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Bodenart
	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	
Ah1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ah2	23	25	10	9	5	7	21	21	58	Ls4
rAp	25	32	11	7	6	7	11	20	68	St3
Bv	26	28	14	7	7	6	10	20	68	St3
IIBv-Cv	44	30	12	5	2	2	4	10	87	St2

Tab. 5c: Analysedaten rötliche Braunerde (2): Bodenchemische Eigenschaften I

Horizont	pH [$CaCl_2$]	C_{org} [Masse-%]	N_t [Masse-%]	C/N	Fe_d [Masse-%]	*Fe_t [Masse-%]	$Fe_{d/t}$	*Ti_t [mg kg^{-1}]
Ah1	3,2	9,70	0,70	13,5	-	2,12	-	77
Ah2	3,6	3,60	0,30	11,6	1,21	2,93	0,41	96
rAp	4,0	1,10	0,10	11,6	1,17	2,41	0,49	103
Bv	4,1	0,60	0,10	11,8	0,89	2,30	0,39	97
IIBv-Cv	4,3	0,10	0,00	6,8	0,59	1,89	0,31	71

* Königswasseraufschluss

Tab. 5d: Analysedaten rötliche Braunerde (2): Bodenchemische Eigenschaften II

Horizont	KAK_{pot}	BS_{pot}	Na	K	Ca	Mg	Al	*Al-Sätt.
	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[%]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[%]
Ah1	558	2	1,8	6,2	1,19	3,2	2,3	15,7
Ah2	302	1	0,8	1,8	0,11	0,7	5,2	1,7
rAp	152	1	0,5	0,8	0,07	0,2	11,2	7,4
Bv	97	2	0,6	0,7	0,02	0,2	10,2	10,5
IIBv-Cv	63	1	0,4	0,3	0,01	0,0	2,7	4,3

* bezogen auf analysierte Kationen (Na+K+Ca+Mg+Al)

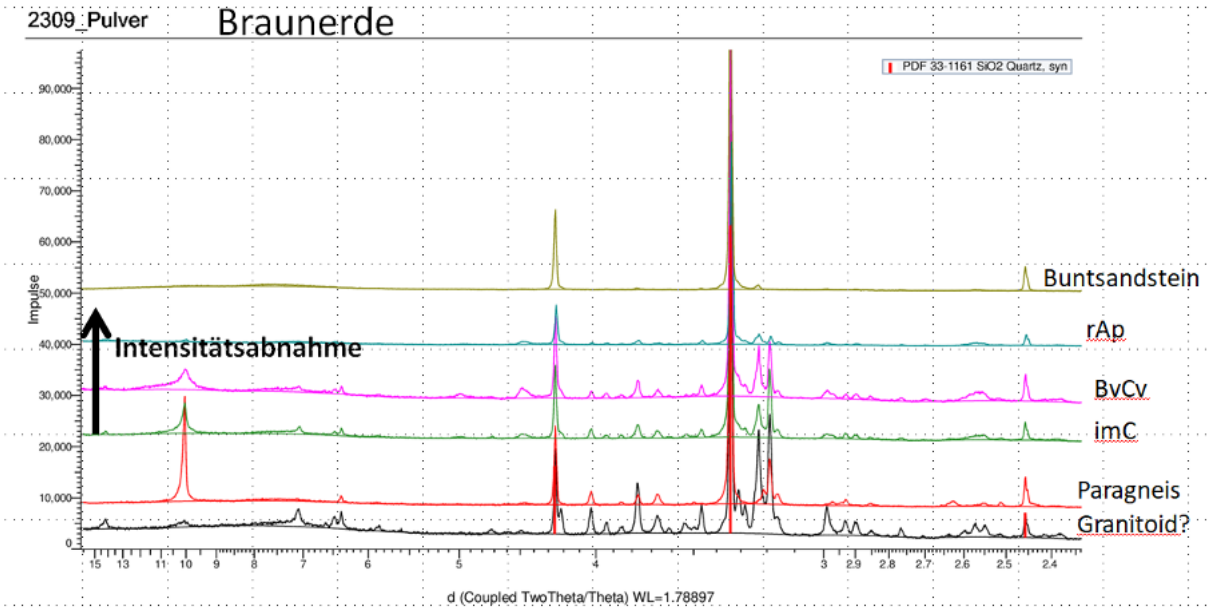


Abb. 10: Röntgendiffraktogramme der rötlichen Braunerde (2). (Die Probe im C repräsentiert ein Handstück aus dem untersten Horizont), (Pulver, Cobalt-Röhre)

5.3 Bodenprofil 3: Podsol aus Buntsandstein-Hangschutt

Tab. 6a: Analysedaten Podsol

Tiefe [cm]	Horizont KA5	Horizont KA6	Farbe Munsell	Gefüge	Durch -wurzelung	Carbonat [%]
+30	L	Ol		-	-	0
+10	Oh	Oh	7,5YR2,5/1	krü	W5	0
–4	Aeh	Ee-Ah	7,5YR2,5/1	krü-subpol	W5	0
–13	Ahe	Ah-Ee	7,5YR3/2	einzelk	W3	0
–38	Ae	Ee	7,5YR 4/4	einzelk	W3	0
–86	Bbhs	Kbhs	7,5YR3/4	hüllen	W1	0
–105	Bv	Bv	5YR 4/4	einzel-subp.	W0	0
105+	Bv-Cv	Bv-Cv	5YR4/6	kohärent	W0	0

Tab. 6b: Analysedaten Podsol: Bodenchemische Eigenschaften I

Horizont	pH [$CaCl_2$]	C_{org} [Masse-%]	N_t [Masse-%]	C/N	Fe_d [Masse-%]	$*Fe_t$ [Masse-%]	$Fe_{d/t}$	$*Ti_t$ [mg kg^{-1}]
Oh	2,5	47,90	2,00	23,5	-	-	-	-
Aeh	2,7	7,60	0,30	22,7	0,29	1,93	0,15	19
Ahe	3,0	1,50	0,10	24,9	0,40	1,92	0,21	17
Ae	3,2	0,60	0,00	19,7	0,14	1,44	0,10	11
Bbhs	3,9	2,10	0,10	27,0	0,61	1,81	0,34	25
Bv	4,2	0,60	0,00	16,0	0,24	1,68	0,14	18
Bv-Cv	4,2	0,50	0,00	13,2	0,20	1,62	0,12	15

Tab. 6c: Analysedaten Podsol: Bodenchemische Eigenschaften II

Horizont	KAK_{pot} [$mmol_c\ kg^{-1}$]	BS_{pot} [%]	Na [$mmol_c\ kg^{-1}$]	K [$mmol_c\ kg^{-1}$]	Ca [$mmol_c\ kg^{-1}$]	Mg [$mmol_c\ kg^{-1}$]	Al [$mmol_c\ kg^{-1}$]	*Al-Sätt. [%]
Oh	1485	4	5,2	18,5	11,2	21,3	0,1	0
Aeh	277	1	0,7	1,5	0,5	1,1	0,0	1
Ahe	61	2	0,5	0,3	0,1	0,2	0,0	1
Ae	27	3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,0	5
Bbhs	276	0	0,7	0,4	0,0	0,1	3,9	76
Bv	66	1	0,4	0,1	0,0	0,0	1,9	77
Bv-Cv	70	1	0,4	0,2	0,0	0,0	2,5	81

* bezogen auf analysierte Kationen (Na+K+Ca+Mg+Al)

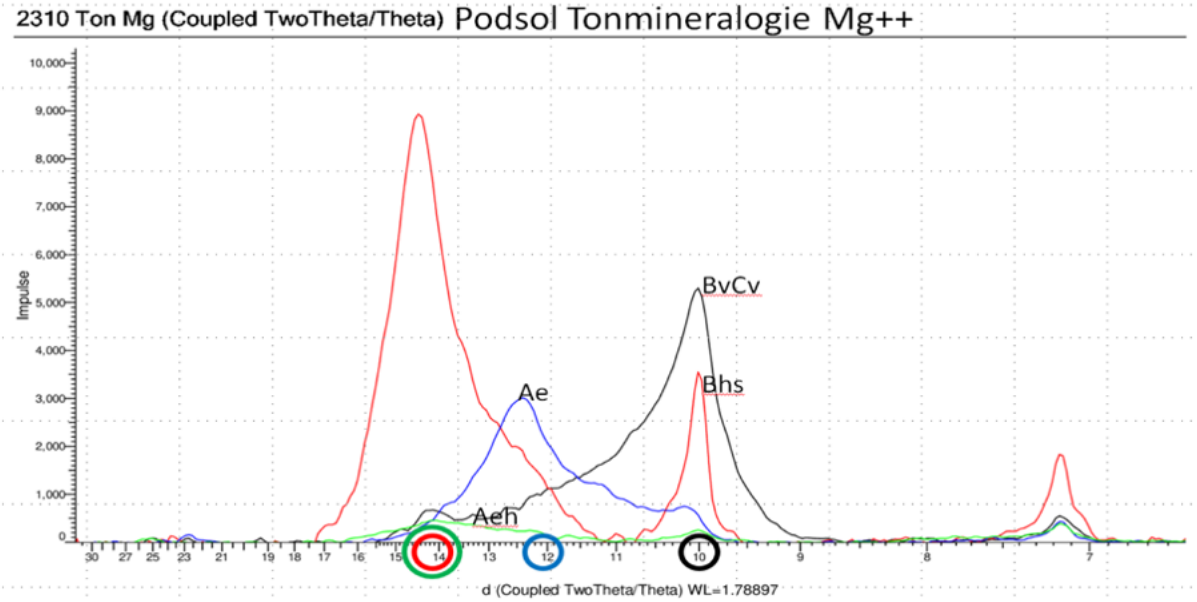


Abb. 11: Röntgendiffraktogramme (Textur, Mg-belegt) der Tonfraktion des Podsols

Literatur

Ad-hoc AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. KA5. BGR (Hrsg.) Hannover.

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung. KA6. BGR (Hrsg.) Hannover.

Geyer, O.F., Gwinner M. P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg. Schweizerbart. Stuttgart.

Göttner-Abendroth, H. (2014): Matriarchale Landschaftsmythologie: Von der Ostsee bis Süddeutschland. Kohlhammer. Stuttgart.

Hansjakob, H. (1899): Erzbauern. Neudruck im Hansjakob-Verlag der Stadt Haslach, 12. Auflage 2002, Haslach im Kinzigtal.

Oltmanns, F. (1922): Das Pflanzenleben des Schwarzwaldes. Badischer Schwarzwaldverein (Hrsg.), Freiburg.

Poschlod, P. (2017): Geschichte der Kulturlandschaft: Entstehungsursachen und Steuerungsfaktoren der Entwicklung der Kulturlandschaft, Lebensraum- und Artenvielfalt in Mitteleuropa. Ulmer. Stuttgart.

Schmid, K. (1989): Schapbach im Wolftal. Chronik einer Schwarzwaldgemeinde. Hrsg. Gemeindeverwaltung Bad Rippoldsau-Schapbach. Rombach Verlag, Freiburg.

Wilmanns, O. (2001): Exkursionsführer Schwarzwald: Eine Einführung in Landschaft und Vegetation. Ulmer. Stuttgart.

Anhang

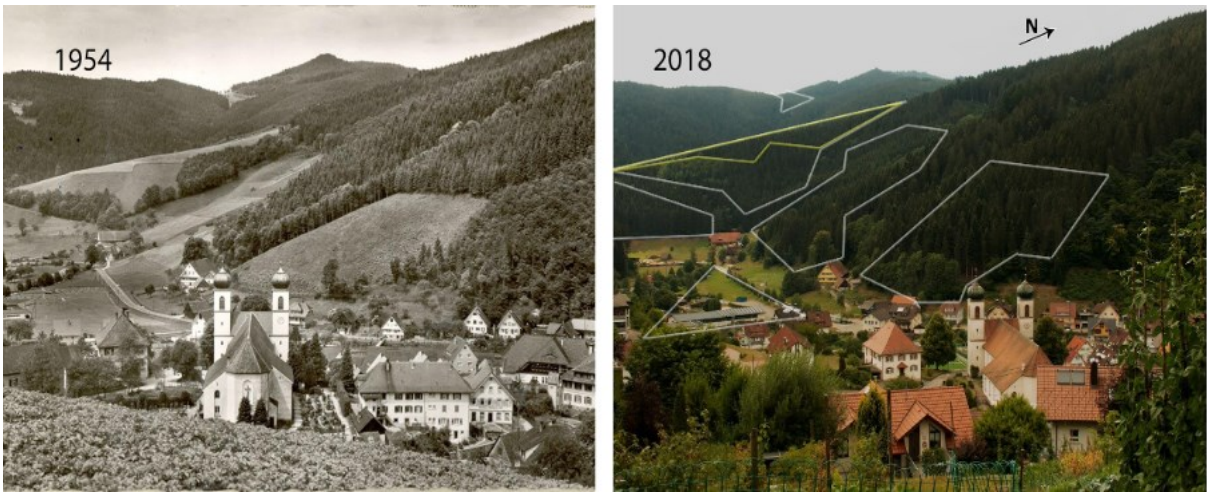


Abb. A1: Bildvergleich der Landnutzung zwischen 1954 und 2018. Blick vom Polderberg in westliche Richtung auf den Ortskern Schapbachs und die dahinter liegenden Berge

Artenliste Felsen Burgbach

Biotopnummer: 275162371165

Fläche: 0,0050 ha

Beeinträchtigung / Beeinträchtigungsgrad des Teilbiotops:

Freizeit/Erholung / mittel

1. Lebensraumtyp: Silikatfelsen mit Felsspaltenvegetation (99%)

Arten im Gesamtbiotop:

RL	Wissenschaftl. Artname	Deutscher Artname	Jahr	Q/Be
Flechten				
	Chrysothrix chlorina		2008	ab
Höhere Pflanzen/Farne				
*	*Acer pseudoplatanus*	Berg-Ahorn	1997	ab
*	*Asplenium trichomanes*	Schwarzstieliger Strichfarn	1997	ab
*	*Athyrium filix-femina*	Wald-Frauenfarn	1997	ab
*	*Betula pendula*	Hänge-Birke	1997	ab
*	*Calluna vulgaris*	Heidekraut	1997	ab
*	*Carex pilulifera*	Pillen-Segge	1997	ab
*	*Convallaria majalis*	Maiglöckchen	1997	ab
*	*Corylus avellana*	Gewöhnliche Hasel	1997	ab
*	*Cystopteris fragilis*	Zerbrechlicher Blasenfarn	1997	ab
*	*Cytisus scoparius*	Gewöhnlicher Besenginster	1997	ab
*	*Deschampsia flexuosa*	Draht-Schmiele	1997	ab
*	*Dryopteris carthusiana* agg.	Artengruppe Dornfarn	1997	
*	*Dryopteris filix-mas* agg.	Artengruppe Männlicher Wurmfarn	1997	
*	*Fagus sylvatica*	Rotbuche	1997	ab
*	*Frangula alnus*	Faulbaum	1997	ab
*	*Fraxinus excelsior*	Gewöhnliche Esche	1997	ab
*	*Galium odoratum*	Waldmeister	1997	ab
*	*Geranium robertianum*	Ruprechtskraut	1997	ab
*	*Gymnocarpium dryopteris*	Eichenfarn	1997	ab
*	*Ilex aquifolium*	Gewöhnliche Stechpalme	2008	ab
*	*Juniperus communis*	Gewöhnlicher Wacholder	1997	ab
*	*Luzula luzuloides*	Weiße Hainsimse	1997	ab
*	*Melampyrum pratense*	Wiesen-Wachtelweizen	1997	ab
*	*Oxalis acetosella*	Wald-Sauerklee	1997	ab
*	*Picea abies*	Gewöhnliche Fichte	1997	ab
^	*Polypodium vulgare* agg	Artengruppe Tüpfelfarn	1997	
*	*Polystichum aculeatum* agg.	Artengruppe Gelappter Schildfarn	1997	
*	*Populus tremula*	Espe	1997	ab
*	*Pteridium aquilinum*	Adlerfarn	1997	ab
*	*Quercus petraea*	Trauben-Eiche	1997	ab
*	*Rubus idaeus*	Himbeere	1997	ab
*	*Rubus sectio Rubus*	Artengruppe Brombeere	1997	ab
*	*Sorbus aria*	Echte Mehlbeere	1997	ab
*	*Sorbus aucuparia*	Gewöhnliche Vogelbeere	1997	ab
*	*Vaccinium myrtillus*	Heidelbeere	1997	ab
V	*Vaccinium vitis-idaea*	Preiselbeere	1997	ab
*	*Vinca minor*	Kleines Immergrün	1997	ab

Vögel				
*	*Falco peregrinus*	Wanderfalke	1997	ab

Quelle: ab = Balensiefen, A., * ungefährdet, V Vorwarnliste

Artenliste Magerwiese westlich Burgbach

Biotopname: Magerwiese W Burgbach

Biotopnummer: 375152370155 Quelle: MaBe = Behrens, Martin

Rote Liste: * = ungefährdet ^ = nicht bewertet

RL	Wissenschaftl. Artname	Deutscher Artname	Jahr	Q/Be	Menge
Höhere Pflanzen/Farne					
*	*Agrostis capillaris*	Rotes Straußgras	2016	MaBe	
^	*Alchemilla vulgaris* agg.	Artengruppe Gewöhnlicher Frauenmantel	2016	MaBe	m
*	*Anemone nemorosa*	Busch-Windröschen	2016	MaBe	z
*	*Anthoxanthum odoratum*	Gewöhnliches Ruchgras	2016	MaBe	z
*	*Arrhenatherum elatius*	Glatthafer	2016	MaBe	z
*	*Bistorta officinalis*	Wiesen-Knöterich	2016	MaBe	m
*	*Cardamine pratensis*	Wiesen-Schaumkraut	2016	MaBe	w
*	*Dactylis glomerata*	Wiesen-Knäuelgras	2016	MaBe	w
*	*Deschampsia flexuosa*	Draht-Schmiele	2016	MaBe	z
*	*Festuca rubra*	Echter Rotschwingel	2016	MaBe	d
*	*Galium album*	Weißes Wiesenlabkraut	2016	MaBe	w
*	*Galium saxatile*	Harz-Labkraut	2016	MaBe	z
*	*Geranium sylvaticum*	Wald-Storchschnabel	2016	MaBe	m
*	*Heracleum sphondylium*	Wiesen-Bärenklau	2016	MaBe	w
*	*Hieracium murorum*	Wald-Habichtskraut	2016	MaBe	w
*	*Holcus mollis*	Weiches Honiggras	2016	MaBe	z
	Knautia maxima s. l.	Wald-Witwenblume (i. w. S.)	2016	MaBe	z
*	*Leucanthemum ircutianum*	Wiesen-Margerite	2016	MaBe	w
*	*Lotus corniculatus*	Gewöhnlicher Hornklee	2016	MaBe	z
*	*Luzula campestris*	Hasenbrot	2016	MaBe	z
*	*Luzula multiflora*	Vielblütiges Hasenbrot	2016	MaBe	w
*	*Luzula sylvatica*	Wald-Hainsimse	2016	MaBe	z
*	*Meum athamanticum*	Bärwurz	2016	MaBe	w
*	*Pimpinella major*	Große Pimpernell	2016	MaBe	m
*	*Stellaria graminea*	Gras-Sternmiere	2016	MaBe	m
*	*Veronica chamaedrys*	Gamander-Ehrenpreis	2016	MaBe	z
*	*Veronica officinalis*	Wald-Ehrenpreis	2016	MaBe	z
*	*Viola riviniana*	Hain-Veilchen	2016	MaBe	m
Moose					
*	*Pleurozium schreberi*		2016	MaBe	d
	Polytrichum spec.		2016	MaBe	w
*	*Rhytidiadelphus squarrosus*		2016	MaBe	d
	Sphagnum spec.		2016	MaBe	w

Artenliste Kartierpraktikum Schapbach Hintere Sulz 4.-9.6.2018

a. Grünland

b. Wald

a. Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Familie
Achillea millefolium L. s.str.	Gemeine Schafgarbe	Asteraceae
Agrostis canina L.	Sumpf-Straussgras	Poaceae
Agrostis capillaris L.	Gemeines Straussgras	Poaceae
Ajuga pyramidalis L.	Pyramiden-Günsel	Lamiaceae
Ajuga reptans L.	Kriechender Günsel	Lamiaceae
Alchemilla vulgaris auct.	Gemeiner Frauenmantel	Rosaceae
Anemone nemorosa L.	Buschwindröschen	Ranunculaceae
Angelica sylvestris L.	Wald-Engelwurz	Apiaceae
Anthoxanthum odoratum L.	Ruchgras	Poaceae
Arrhenatherum elatius (L.) J. & C. Presl	Gewöhnlicher Glatthafer	Poaceae
Bellis perennis L.	Gänseblümchen	Asteraceae
Bistorta officinalis Delarbre	Schlangen-Knöterich	Polygonaceae
Briza media L.	Gewöhnliches Zittergras	Poaceae
Caltha palustris L.	Sumpfdotterblume	Ranunculaceae
Campanula patula L. s.str.	Wiesen-Glockenblume	Campanulaceae
Cardamine pratensis L.	Wiesen-Schaumkraut	Brassicaceae
Carex caryophyllea Latourr.	Frühlings-Segge	Cyperaceae
Carex cespitosa L.	Rasen-Segge	Cyperaceae
Carex flava L.	Gelbe Segge	Cyperaceae
Carex leporina L.	Hasenpfoten-Segge	Cyperaceae
Carex nigra (L.) Reichard	Braune Segge	Cyperaceae
Carex pallescens L.	Bleiche Segge	Cyperaceae
Carex panicea L.	Hirse-Segge	Cyperaceae
Carex pilulifera L.	Pillen-Segge	Cyperaceae
Carex pulicaris L.	Floh-Segge	Cyperaceae
Carex sp.	Segge	Cyperaceae
Centaurea jacea L. s.str.	Wiesen-Flockenblume	Asteraceae
Centaurea nigra L.	Schwarze Flockenblume	Asteraceae
Centaurea nigrescens Willd.	Schwärzliche Flockenblume	Asteraceae
Cerastium holosteoides FR.	Quellen-Hornkraut	Caryophyllaceae
Cirsium palustre (L.) Scop.	Sumpf-Kratzdistel	Asteraceae
Crepis paludosa (L.) Moench	Sumpf-Pippau	Asteraceae
Cynosurus cristatus L.	Gemeines Kammgras	Poaceae
Dactylis glomerata L.	Knäuelgras	Poaceae
Dactylorhiza maculata (L.) Soó	Geflecktes Knabenkraut	Orchidaceae
Danthonia decumbens (L.) DC.	Dreizahn	Poaceae
Epilobium palustre L.	Sumpf-Weidenröschen	Onagraceae
Equisetum fluviatile L.	Teich-Schachtelhalm	Equisetaceae
Euphrasia rostkoviana HAYNE s.str.	Gemeiner Augentrost	Orobanchaceae
Festuca ovina L.	Schaf-Schwingel	Poaceae
Festuca pratensis HUDS. s.str.	Wiesen-Schwingel	Poaceae
Festuca rubra L. s.str.	Rot-Schwingel	Poaceae
Filipendula ulmaria (L.) Maxim.	Echtes Mädesüß	Rosaceae
Galium mollugo L.	Gemeines Labkraut	Rubiaceae
Galium palustre L.	Sumpf-Labkraut	Rubiaceae

Galium uliginosum L.	Moor-Labkraut	Rubiaceae
Gymnadenia conopsea (L.) R. Br.	Mücken-Händelwurz	Orchidaceae
Heracleum sphondylium L. s.str.	Wiesen-Bärenklau	Apiaceae
Hieracium lactucella WALLR.	Öhrchen-Habichtskraut	Asteraceae
Hieracium pilosella L.	Kleines Habichtskraut	Asteraceae
Hieracium sp.	Habichtskraut	Asteraceae
Holcus lanatus L.	Wolliges Honiggras	Poaceae
Hypochaeris radicata L.	Gewöhnliches Ferkelkraut	Asteraceae
Impatiens glandulifera ROYLE	Indisches Springkraut	Balsaminaceae
Juncus articulatus L.	Glieder-Binse	Juncaceae
Juncus effusus L.	Flatter-Binse	Juncaceae
Knautia arvensis (L.) Coult.	Acker-Witwenblume	Caprifoliaceae
Lathyrus pratensis L.	Wiesen-Platterbse	Fabaceae
Leontodon helveticus MÉRAT	Schweizerischer Löwenzahn	Asteraceae
Leontodon hispidus L. s.str.	Steifhaariger Löwenzahn	Asteraceae
Leucanthemum ircutianum DC.	Wiesen-Margerite	Asteraceae
Lolium perenne L.	Englisches Raigras	Poaceae
Lotus corniculatus L. s.str.	Gewöhnlicher Hornklee	Fabaceae
Lotus pedunculatus CAV.	Sumpf-Hornklee	Fabaceae
Luzula campestris (L.) DC.	Feld-Hainsimse	Juncaceae
Luzula luzuloides (LAM.) Dandy & Wilmott s.str.	Weißliche Hainsimse	Juncaceae
Lychnis flos-cuculi L.	Kuckucks-Lichtnelke	Caryophyllaceae
Mentha aquatica L.	Wasserminze	Lamiaceae
Myosotis scorpioides L.	Sumpf-Vergissmeinnicht	Boraginaceae
Orchis morio L.	Kleines Knabenkraut	Orchidaceae
Pimpinella major (L.) Huds.	Große Bibernelle	Apiaceae
Pimpinella saxifraga L.	Kleine Bibernelle	Apiaceae
Plantago lanceolata L.	Spitzwegerich	Plantaginaceae
Poa annua L.	Einjähriges Rispengras	Poaceae
Poa pratensis L.	Wiesen-Rispengras	Poaceae
Poa trivialis L. s.str.	Gewöhnliches Rispengras	Poaceae
Polygala vulgaris L. s.str.	Gewöhnliches Kreuzblümchen	Polygalaceae
Potentilla erecta (L.) Raeusch.	Blutwurz	Rosaceae
Prunella vulgaris L.	Gemeine Brunelle	Lamiaceae
Ranunculus aconitifolius L.	Eisenhutblättriger Hahnenfuß	Ranunculaceae
Ranunculus acris L. s.str.	Scharfer Hahnenfuß	Ranunculaceae
Ranunculus flammula L.	Brennender Hahnenfuß	Ranunculaceae
Ranunculus repens L.	Kriechender Hahnenfuß	Ranunculaceae
Rhinanthus minor L.	Kleiner Klappertopf	Orobanchaceae
Rubus sp.		Rosacea
Rumex acetosa L.	Wiesen-Sauerampfer	Polygonaceae
Salix caprea L.	Sal-Weide	Salicaceae
Sarothamnus scoparius L.	Besenginster	Fabaceae
Saxifraga granulata L.	Knöllchen-Steinbrech	Saxifragaceae
Scirpus sylvaticus L.	Wald-Simse	Cyperaceae
Senecio aquaticus HILL	Wasser-Greiskraut	Asteraceae
Senecio erucifolius L.	Raukenblättriges Greiskraut	Asteraceae
Stellaria alsine GRIMM	Bach-Sternmiere	Caryophyllaceae
Stellaria graminea L.	Gras-Sternmiere	Caryophyllaceae
Succisa pratensis MOENCH	Gewöhnlicher Teufelsabbiss	Caprifoliaceae

Taraxacum officinale WEBER	Gewöhnlicher Löwenzahn	Asteraceae
Thymus pulegioides L. s.str.	Gewöhnlicher Thymian	Lamiaceae
Trifolium pratense L. s.str.	Rotklee	Fabaceae
Trifolium repens L. s.str.	Weißklee	Fabaceae
Trisetum flavescens (L.) P. Beauv.	Wiesen-Goldhafer	Poaceae
Valeriana dioica L.	Sumpf-Baldrian	Caprifoliaceae
Veronica anagallis-aquatica L.	Blauer Wasser-Ehrenpreis	Plantaginaceae
Veronica chamaedrys L.	Gamander-Ehrenpreis	Plantaginaceae
Veronica filiformis Sm.	Faden-Ehrenpreis	Plantaginaceae
Veronica montana L.	Berg-Ehrenpreis	Plantaginaceae
Veronica officinalis L.	Echter Ehrenpreis	Plantaginaceae
Veronica scutellata L.	Schild-Ehrenpreis	Plantaginaceae
Vicia villosa ROTH s.str.	Zottige Wicke	Fabaceae
Viola palustris L.	Sumpf-Veilchen	Violaceae

b. Wissenschaftlicher Name	**Deutscher Name**	**Familie**
Abies alba MILL.	Weißtanne	Pinaceae
Acer pseudoplatanus L.	Bergahorn	Sapindaceae
Agrostis stolonifera L.	Kriechendes Straussgras	Poaceae
Ajuga reptans L.	Kriechender Günsel	Lamiaceae
Anemone nemorosa L.	Buschwindröschen	Ranunculaceae
Athyrium filix-femina (L.) Roth	Wald-Frauenfarn	Woodsiaceae
Betula pendula ROTH	Hänge-Birke, Weiss-Birke	Betulaceae
Cardamine sp.	Schaumkraut	Brassicaceae
Carex pallescens L.	Bleiche Segge	Cyperaceae
Carex pilulifera L.	Pillen-Segge	Cyperaceae
Castanea sativa MILL.	Edelkastanie	Fagaceae
Circaea sp.	Hexenkraut	Onagraceae
Corylus avellana L.	Gemeine Hasel	Betulaceae
Deschampsia flexuosa (L.) Trin.	Draht-Schmiele	Poaceae
Digitalis purpurea L.	Roter Fingerhut	Plantaginaceae
Dryopteris dilatata (HOFFM.) A. Gray	Breitblättriger Dornfarn	Dryopteridaceae
Dryopteris filix-mas (L.) Schott	Gemeiner Wurmfarn	Dryopteridaceae
Epipactis helleborine (L.) Crantz	Breitblättrige Sumpfwurz	Orchidaceae
Fagus sylvatica L.	Rotbuche	Fagaceae
Fragaria vesca L.	Wald-Erdbeere	Rosaceae
Frangula alnus MILL.	Faulbaum	Rhamnaceae
Fraxinus excelsior L.	Gemeine Esche	Oleaceae
Galium palustre L.	Sumpf-Labkraut	Rubiaceae
Galium rotundifolium L.	Rundblättriges Labkraut	Rubiaceae
Geranium robertianum L. s.l.	Stinkender Storchschnabel	Geraniaceae
Hedera helix L.	Gemeiner Efeu	Araliaceae
Ilex aquifolium L.	Europäische Stechpalme	Aquifoliaceae
Impatiens parviflora DC.	Kleinblütiges Springkraut	Balsaminaceae
Lonicera alpigena L.	Alpen-Heckenkirsche	Caprifoliaceae
Lonicera xylosteum L.	Rote Heckenkirsche	Caprifoliaceae
Luzula luzuloides (LAM.) Dandy & Wilmott s.l.	Weißliche Hainsimse	Juncaceae
Luzula sylvatica (HUDS.) Gaudin	Wald-Hainsimse	Juncaceae
Lysimachia nemorum L.	Hain-Gilbweiderich	Primulaceae
Lysimachia vulgaris L.	Gewöhnlicher Gilbweiderich	Primulaceae

Melampyrum pratense L.	Wiesen-Wachtelweizen	Orobanchaceae
Mycelis muralis (L.) Dumort.	Mauerlattich	Asteraceae
Oxalis acetosella L.	Waldsauerklee	Oxalidaceae
Picea abies (L.) H. Karst.	Gemeine Fichte	Pinaceae
Polygonatum multiflorum (L.) All.	Vielblütige Weißwurz	Asparagaceae
Prunus avium L. /S	Vogelkirsche	Rosaceae
Pseudotsuga menziesii (MIRB.) Franco	Gewöhnliche Douglasie	Pinaceae
Pteridium aquilinum (L.) Kuhn	Adlerfarn	Dennstaedtiaceae
Quercus petraea LIEBL.	Traubeneiche	Fagaceae
Quercus robur L.	Stieleiche	Fagaceae
Rosa sp.	Rose	Rosaceae
Rubus sp.	Brombeere	Rosaceae
Sambucus nigra L.	Schwarzer Holunder	Adoxaceae
Sambucus racemosa L.	Roter Holunder	Adoxaceae
Senecio fuchsii C. C. GMEL.	Fuchs-Greiskraut	Asteraceae
Sorbus aucuparia L.	Vogelbeere	Rosaceae
Stellaria media (L.) Vill.	Gewöhnliche Vogelmiere	Caryophyllaceae
Teucrium scorodonia L.	Salbei-Gamander	Lamiaceae
Trifolium dubium SIBTH.	Kleiner Klee	Fabaceae
Vaccinium myrtillus L.	Heidelbeere	Ericaceae
Viola reichenbachiana BOREAU	Wald-Veilchen	Violaceae

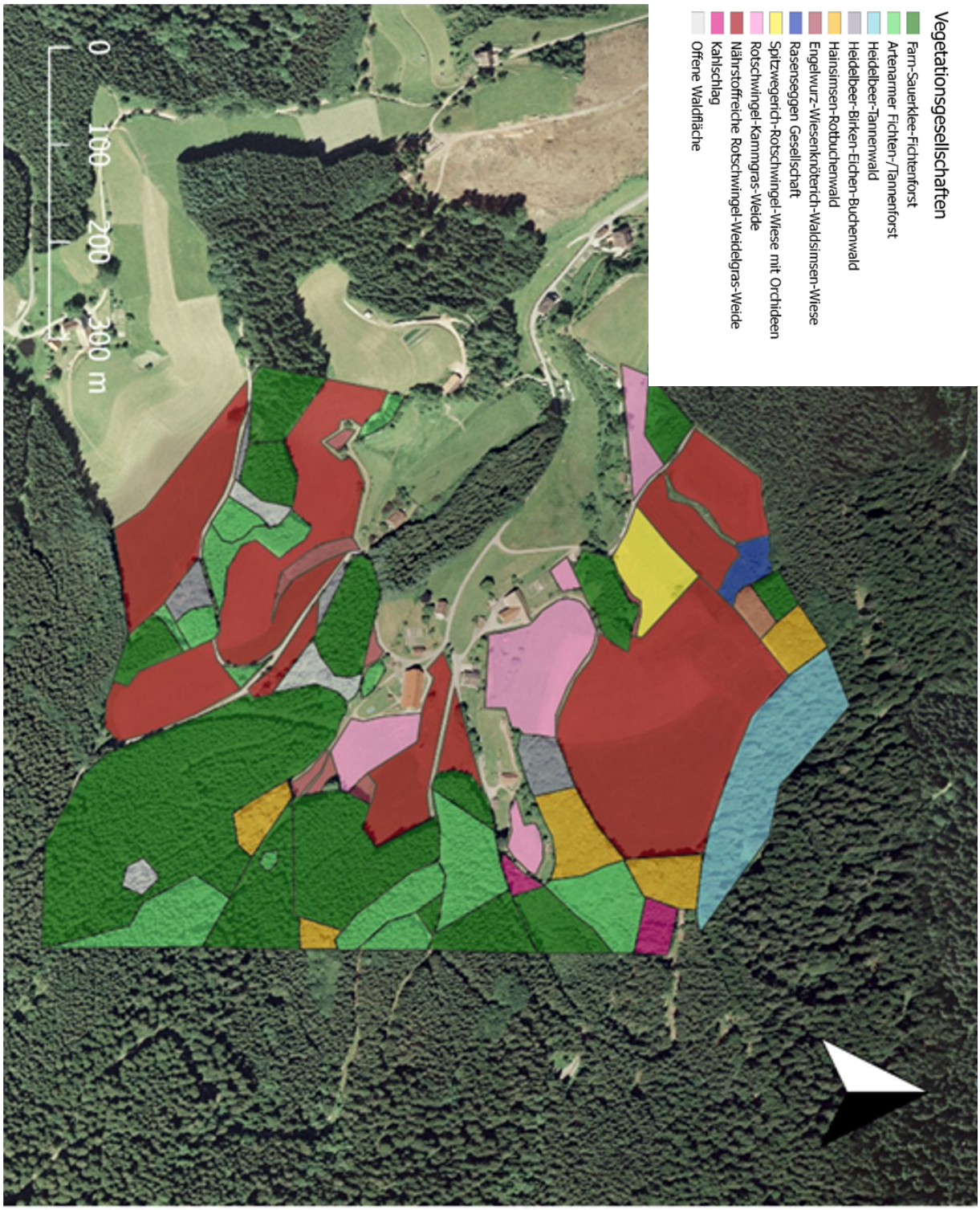


Abb. A2: Vegetationskarte des Exkursionsgebietes Hintere Sulz

E16: Was uns Kolluvien und begrabene Böden erzählen – Prähistorische Landnutzung in SW-Deutschland

Sascha Scherer[1], Benjamin Höpfer[2], Jessica Henkner-Sennock[3]

[1]Universität Mainz, Geographisches Institut, [2]Kantonsarchäologie Aargau, Schweiz, [3]Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau

1 Einleitung

Böden verraten uns nicht nur viel über die rezente, sondern auch über die historische und prähistorische Landnutzung. Vor allem Kolluvien und die darunter begrabenen Böden enthalten viele Informationen zu vergangenen Subsistenzpraktiken (z.B. Ackerbau und Viehzucht) und den damit einhergehenden Veränderungen des Reliefs oder der Vegetationszusammensetzung (Henkner et al. 2017; Scherer et al. 2021a, b). Bei dieser Ganztagesexkursion besuchen wir Standorte prähistorischer Siedlungen in Südwest-Deutschland auf der Baar (Fürstenberg) und im Hegau (Anselfingen), die im Zuge eines Forschungsprojekts der Universität Tübingen (SFB 1070) untersucht wurden. Im Zentrum der Exkursion stehen die Ergebnisse der archäopedologischen Analysen mehrlagiger Kolluvien und der darunter begrabenen Böden. Es wird die Nutzung von archäobotanischen (Phytolithen, Holzkohlespektren) und molekularen Markeranalysen (Brand-, Fäkal-, Getreidemarker) als Proxies für die Rekonstruktion von Landnutzungs- und Subsistenzpraktiken vorgestellt und diskutiert. Gleichzeitig dient die Pedo- und Chronostratigraphie der Kolluvien der Rekonstruktion der Landnutzungs- und Besiedlungsgeschichte. Die Datierungen der kolluvialen Horizonte erfolgte mittels der Radiokohlenstoffmethode (^{14}C) an Holzkohlefragmenten und der optisch stimulierten Lumineszenz (OSL) an Sediment- und Bodenproben. Der vegetationsgeschichtliche Hintergrund wird durch palynologische Untersuchungen nahegelegener Pollenprofile aus Mooren gestützt und trägt dazu bei, die lokalen bodenkundlichen und archäologischen Ergebnisse im regionalen Kontext zu diskutieren.

2 Exkursionsgebiet

Die Exkursion führt uns in die Landschaften der Baar nach Fürstenberg (Landkreis Schwarzwald-Baar) und nach Anselfingen im Hegau (Landkreis Konstanz). Die zwei Standorte wurden aufgrund ihrer intensiven Besiedlungsgeschichte seit dem Neolithikum ausgewählt (Abb. 1).

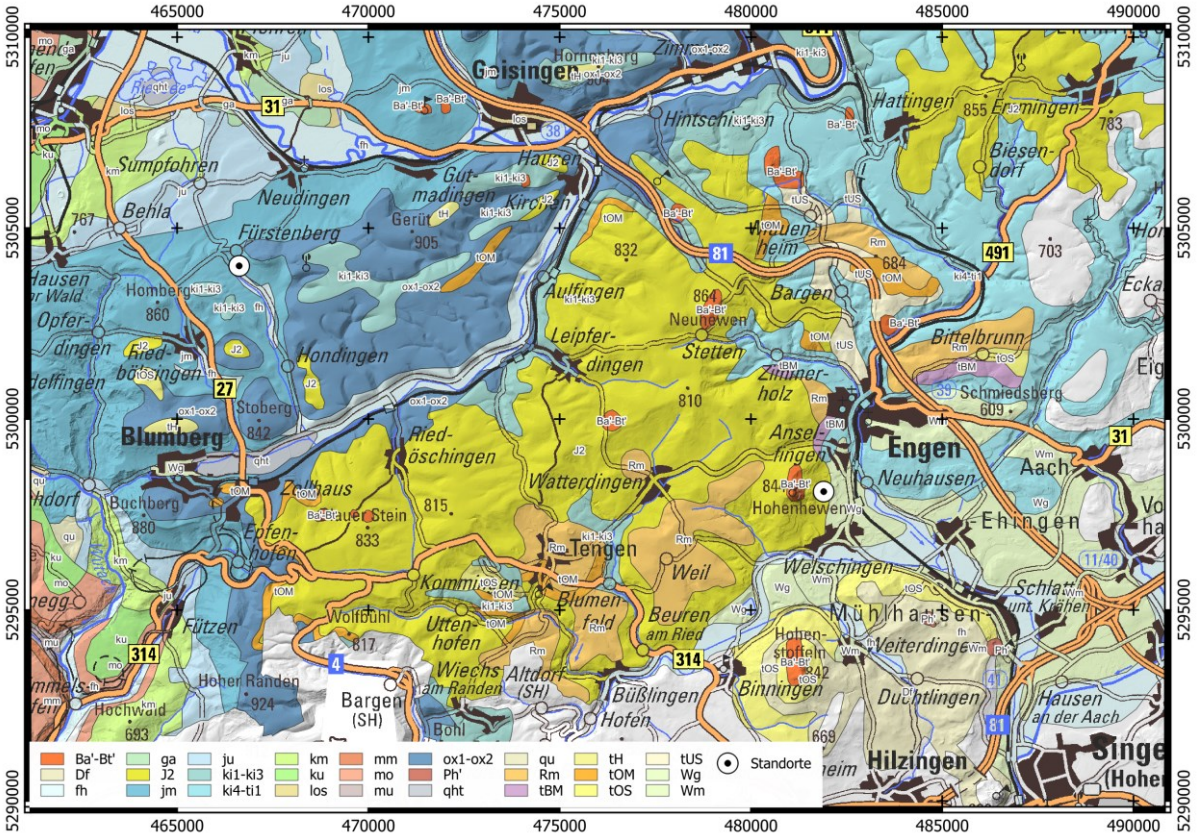


Abb. 1: Untersuchungsgebiet der Exkursion mit den beiden Standorten am Fürstenberg (Baar) und in Engen-Anselfigen (Hegau)

2.1 Naturraum

Als Teil des Südwestdeutschen Schichtstufenlands erstreckt sich die **Baar** als Hochmulde zwischen Schwarzwald und Schwäbischer Alb auf einer Höhe von etwa 700 – 800 m NN. Charakteristisch für die Baar sind die Täler der Donau und ihrer Quellflüsse Brigach und Breg. Geologisch dominieren die Kalk- und Dolomitgesteine des Muschelkalks und die Ton- und Mergelgesteine des Keupers und Juras. Die Abgrenzung zur Hochfläche der Schwäbischen Alb bildet der Obere Jura und zum Schwarzwald der Buntsandstein. Die Baar erstreckt sich über die Bodenregionen der Berg- und Hügelländer mit hohem Anteil an nichtmetamorphen carbonatischen und silikatischen Sedimentgesteinen. Der Untersuchungsstandort am Fürstenberg liegt in einer Bodengroßlandschaft mit hohem Anteil an Sand- und Mergelgesteinen, stellenweise im Wechsel mit Lösslehm. Fließerden bilden vielerorts das Ausgangssubstrat der Bodenbildung. Braunerden, Pseudogleye, Pararendzinen, Pelosole und Kolluvisole sind die dominierenden Bodentypen. Die jährliche mittlere Lufttemperatur beträgt 7 – 8 °C, die jährliche Niederschlagssumme liegt bei 800 – 900 mm. Heute wird der Fürstenberg über die Donauzuflüsse entwässert, während die Zuflüsse der Wutach, die in den Rhein entwässert, wenige hundert Meter südwestlich des Fürstenbergs entspringen.

Der **Hegau** grenzt als Teil des nordwestlichen Alpenvorlands im Süden an die beiden Bodenseearme Überlinger See und Untersee und im Norden an die Südabdachung der Schwäbischen Alb. Für den Hegau charakteristisch sind die miozänen Vulkanschlote, die durch fluviale und glaziale Erosion herauspräpariert wurden, was zur großflächigen Abtragung der vulkanischen Ablagerungen geführt hat.

Geologisch dominieren glaziale und glazifluviale Sedimente der letzten Eiszeit, Sedimente der Jüngeren Juranagelfluh (v.a. im Nordwesten) und vulkanische Ablagerungen (Deckentuff) sowie Gesteine aus den Schlotfüllungen (Nephelinit, Phonolith). Der Hegau liegt größtenteils in der Bodenregion der Jungmoränenlandschaften. Ausgangsgesteine der Bodenbildung sind Fließerden und verwittertes Festgestein der Jüngeren Juranagelfluh, des miozänen Vulkanismus und des Würmglazials (Kies, Sand, Schluff, Ton). Braunerden, Parabraunerden, Ranker und Pararendzinen sind die prägenden Bodentypen. An den steilen Mittel- und Unterhängen der Vulkankegel finden sich oft Kolluvisole. Das Klima ist mäßig warm mit 7,5 – 8,5 °C jährlicher mittlerer Lufttemperatur. Die jährliche Niederschlagssumme beträgt 700 – 825 mm. Der höchste Punkt im Hegau ist der Vulkan Neuhewen mit 867 m, die niederen Lagen am Bodensee reichen bis etwa 400 m NN.

2.2 Vegetationsgeschichte

Für die beiden Untersuchungsstandorte bei Fürstenberg und Anselfingen werden die Pollenprofile des Plattenmoos (Sudhaus et al. 2006) und des Steißlinger Sees (Lechterbeck 2001; Eusterhues et al. 2002) vergleichend herangezogen. Das Plattenmoos ist ein Hochmoor 25 km nordwestlich des Standorts Fürstenberg, am Übergang zwischen Baar und Schwarzwald. Der Steißlinger See entwickelte sich aus einem Toteisloch am Ende der letzten Eiszeit und liegt ca. 15 km südöstlich des Standorts Anselfingen. Im Boreal (8700 – 7300 BCE) war um das Plattenmoos ein Eichenmischwald vorherrschend (*Quercus, Fraxinus, Corylus, Tilia, Acer*) und die Präsenz natürlicher Feuer war im Gegensatz zum Praeboreal (9600 – 8700 BCE) rückläufig. Die Vegetation um den Steißlinger See wurde von der Hasel (*Corylus*) dominiert (bis zu 70% der Pollensumme). Diese war vergesellschaftet mit einem sich langsam entwickelnden Eichenmischwald (*Quercus, Ulmus*). Das Atlantikum (7300 – 3700 BCE) brachte für die Vegetation um das Plattenmoos zunächst wenig Veränderung. Die Fichte (*Picea*) aus dem Einzugsgebiet der Schwäbischen Alb etablierte sich nur kurz. Eine größere Veränderung brachten Buche (*Fagus*) und Tanne (*Abies*). Beide Baumarten wanderten aus dem Schwarzwald ein und verdrängten die Fichte und den Eichenmischwald nachhaltig. Am Steißlinger See etablierte sich ein wärmeliebender Laubmischwald mit der Buche als dominierender Baumart und verdrängte den Eichenmischwald auf trockenere Standorte. Erste Anzeichen anthropogener Vegetationsveränderung können für den Steißlinger See seit dem Mittleren Atlantikum (Linearbandkeramik, 5500 – 5000 BCE) identifiziert werden, wobei der Einfluss im Verlauf des Subboreals (3700 – 450 BCE) deutlich zunahm. Erste Anzeichen großflächiger Entwaldung im Zusammenhang mit ackerbaulicher Nutzung (v.a. Rückgang von *Fagus*) datieren in die Frühbronzezeit (1900 BCE). Damit vergesellschaftet war die Zunahme an Haselpollen. Um das Plattenmoos ist starker menschlicher Einfluss erst ab der frühen Eisenzeit zu erkennen (Hallstatt Periode, 800 – 450 BCE). Im Subatlantikum (seit 450 BCE) sind beide Pollenprofile vergleichbar: Phasen der natürlichen Sukzession wechselten sich ab mit Phasen anthropogener Einflussnahme, wobei Pollen von Getreide- und Ruderalarten kontinuierlich zunahmen. *Fagus* und *Quercus* waren die prägenden Baumarten um den Steißlinger See, *Fagus* und *Abies* am Plattenmoos.

2.3 Besiedlungsgeschichte

Erste Spuren menschlicher Präsenz sind auf der **Baar** ab dem Mesolithikum (Präboreal bis frühes Atlantikum) mit spärlichen Funden zu nennen (Miera 2020). Die umliegenden Höhenlagen des Schwarzwalds und Jura wurden vermutlich saisonal genutzt. Dauerhafte Siedlungen sind ab dem Frühneolithikum (Atlantikum, ca. 5500 BCE) anzunehmen, wobei die Befundlage bis zum Ende des Neolithikums generell sehr dünn ist. Es ist davon auszugehen, dass zunehmend auch die Mittelgebirgslagen besiedelt wurden. Bis in die Frühbronzezeit waren aber offenbar die Hauptfließgewässer (Donau und Neckar) als wichtige Kommunikationsachsen ein maßgeblicher Standortfaktor, weshalb Besiedlungsspuren vor allem entlang der Flüsse dokumentiert sind. Eine Verdichtung und Ausdehnung der Besiedlung ist ab der mittleren Bronzezeit (ca. 1600 – 1300 BCE) dokumentiert. In der frühen Eisenzeit (ca. 800 – 450 BCE) entstand bei Villingen-Schwenningen einer der größten prähistorischen Grabhügel Europas, der 'Magdalenenberg'. Trotz des schlechten Forschungsstands zur ländlichen Besiedlung der Baar wird er als Ausdruck einer wohlhabenden frühkeltischen Bevölkerung gewertet (Knopf et al. 2015). Für die jüngere Eisenzeit sinkt die Anzahl der archäologischen Funde abermals. Ein wahrscheinlich in frühclaudischer Zeit (ca. 50 CE) entstandenes Militärlager markiert den Obergermanisch-Rätischen Limes. Nach der militärischen Besetzung wurde die Baar ein Teil der befriedeten Provinz Germania Superior, es entstanden *villae rusticae* (Gutshöfe) und *vici* (Kleinstädte, z.B. Brigobannis-Hüfingen).

Der **Hegau** gilt als eine der fundreichsten Kulturlandschaften Baden-Württembergs (Hald und Kramer 2011), was auf eine intensive und langanhaltende Nutzung und Besiedlung der Landschaft hindeutet. In erster Linie wird dies mit einem milden Klima und fruchtbaren Böden erklärt. Zudem gilt der Landkreis Konstanz als besonders gut erforscht. Die ältesten Funde sind aus der Petersfelshöhle im Brudertal bei Engen bekannt und datieren ins Jungpaläolithikum ('Magdalénien', ca. 18.000 – 12.000 BCE). Aus dem Frühneolithikum sind Funde der Linearbandkeramischen Kultur bekannt, die sich ab ca. 5500 BCE von Südosteuropa aus bis nach Nordeuropa ausbreitete. An wenigen Standorten im Hegau wurden zudem Funde der 'La Hoguette' Kultur entdeckt. Diese wird mit einer frühen Ausbreitung der neolithischen Lebensweise über den westmediterranen und westeuropäischen Raum in Verbindung gebracht, ist nördlich der Alpen aber sehr selten belegt. Hervorzuheben sind die Pfahlbausiedlungen entlang des Bodenseeufers. Ufer- und Moorsiedlungen entstanden im gesamten nördlichen Alpenvorland seit Beginn des Jungneolithikums (ca. 4000 BCE) bis zum Ende der Spätbronzezeit (ca. 800 BCE). Oft scheint die Besiedlung über mehr oder weniger langanhaltende Phasen zwischen den Seeufern und dem Landesinnern zu wechseln, sodass über den Charakter der ‚Pfahlbauten' seit jeher kontrovers diskutiert wird (Menotti 2003; Köninger 2015). Eine solche Phase, in der die Seeufer weitestgehend aufgelassen wurden und sich die Besiedlung im Landesinnern merklich verdichtete, ist die mittlere Bronzezeit (Menotti 2001). Im Vergleich zur Frühbronzezeit und den vorangegangenen neolithischen Epochen vervielfacht sich die Anzahl der bekannten Fundstellen jenseits des Bodenseeufers und zeigt, dass die Landschaft flächendeckend besiedelt und genutzt worden sein muss (Höpfer 2025). Aus der älteren Eisenzeit sind im Hegau vor allem zahlreiche Grabhügel und einige Siedlungsplätze bekannt, während die jüngere Eisenzeit (Latènezeit) spärlicher belegt ist. Im heutigen Konstanz bestand bis zur Zeit der römischen Okkupation ein spätkeltisches 'Oppidum', eine städtische

Großsiedlung von wahrscheinlich überregionaler Bedeutung. Aus der römischen Kaiserzeit stammen vor allem zahlreiche Gutshöfe, die teils auch auf den Randhöhen lagen.

3 Beschreibung der Standorte und Bodenprofile

3.1 Standort I: Baar (Fürstenberg)

Der Fürstenberg ist ein Zeugenberg der Oberjura-Schichtstufe im Südosten der Baar am südwestlichen Ausläufer der Schwäbischen Alb (Abb. 2). Angrenzend liegt der Ort Hüfingen-Fürstenberg. Auf dem Plateau liegen Bankkalksteine der Wohlgeschichtete-Kalke-Formation (Oberjura) vor. Auf den Hängen findet sich umgelagerter Kalkverwitterungslehm mit wechselnden Lösslehmanteilen. Im Liegenden zur Wohlgeschichteten-Kalke-Formation stehen die Ton- bis Kalkmergelgesteine der Impressamergel-Formation an und darunter Ton-, Mergel- und Sandsteine des Mitteljura (Wutach-, Variansmergel-, Dentalienton-, Hamitenton-, und Gosheimer-Formation). Diese Formationen sind rund um den Fürstenberg von pleistozänen Fließerden und im oberen Bereich von Oberjura-Hangschutt überdeckt. Rutschungen sind am Fürstenberg nur am nordexponierten Hang kartiert. Im Talbereich des Mühlbachs streicht die Achdorf- und Wedelsandstein-Formation aus, die aber von holozänen Kolluvien und Auensedimenten überdeckt werden (Abb. 5). An der Geländeoberfläche finden sich kantengerundete Kalksteine des Oberjuras und karbonatisch gebundene Sandsteine des Mitteljuras, die vermutlich keinen weiten Transport erfahren haben, sowie Quarzite, Amphibolite, Schiefer und andere Gesteine aus dem Schwarzwald, die fluvial transportiert wurden. Das Profil ‚Fue 8' ist in eine Catena am südwestlich exponierten Hang des Fürstenbergs eingebettet und befindet sich an dessen Hangfuß (Abb. 3, 4).

Das Fürstenbergplateau mit seinen mittelalterlichen bis neuzeitlichen Befestigungsanlagen stand immer wieder im Fokus archäologischer Untersuchungen (Miera 2020). Im Hinblick auf seine ur- und frühgeschichtliche Nutzung stammen wichtige Erkenntnisse vor allem von ausgiebigen Geländebegehungen (Wagner 2014). Einige Steinartefakte und Scherben von Keramikgefäßen sind zwar nur allgemein als neolithisch anzusprechen, einzelne Stücke deuten jedoch auf einen Schwerpunkt im Jungneolithikum (ca. 4000 – 3000 BCE) hin. Eine erneute Nutzung ist den Oberflächenfunden dann erst wieder in der späten Bronze- bzw. Urnenfelderzeit (ca. 1200 – 800 BCE) abzulesen. Für diesen Zeitraum gilt die Besiedlung exponierter Höhenlagen als typisch. Auch für die frühe Eisenzeit (ca. 800 – 450 BCE) und die römische Kaiserzeit ist auf dem Fürstenberg ein Fundniederschlag zu verzeichnen, der wohl der strategischen Lage des Fürstenbergs geschuldet ist. Ein römischer Gutshof bestand am westlichen bis nordwestlichen Hangfuß des Fürstenbergs, im heutigen Ort Fürstenberg (Mayer-Reppert, 1995). Kaum 500 m nordwestlich des Fue 8-Profils fanden 2022 archäologische Rettungsgrabungen im Vorfeld einer Überbauung an der 'Hondinger Straße' statt (unpubliziert; freundl. Mitt. A. Höfler, Fa. Archaeotask GmbH). In dem Baugebiet traten vor allem prähistorische Siedlungsspuren zutage. Das Fundaufkommen war insgesamt spärlich, wies aber hauptsächlich in die Bronzezeit. Dabei wurden mehrere Brandgräber aus der späten Bronzezeit dokumentiert. Wahrscheinlich liegen mehrere Besiedlungsphasen vor, darunter Spätbronzezeit sowie möglicherweise Mittel- und Frühbronzezeit.



Abb. 2: Blick vom Wartenberg auf den Fürstenberg mit der Donau im Vordergrund (Foto: K. Rilling, LGRB RP Freiburg)



Abb. 3: Blick auf den Fürstenberg entlang der südwestlich exponierten Catena mit den Profilen Fue 8 (im Vordergrund) und 9 (Foto: K. Rilling, LGRB RP Freiburg)

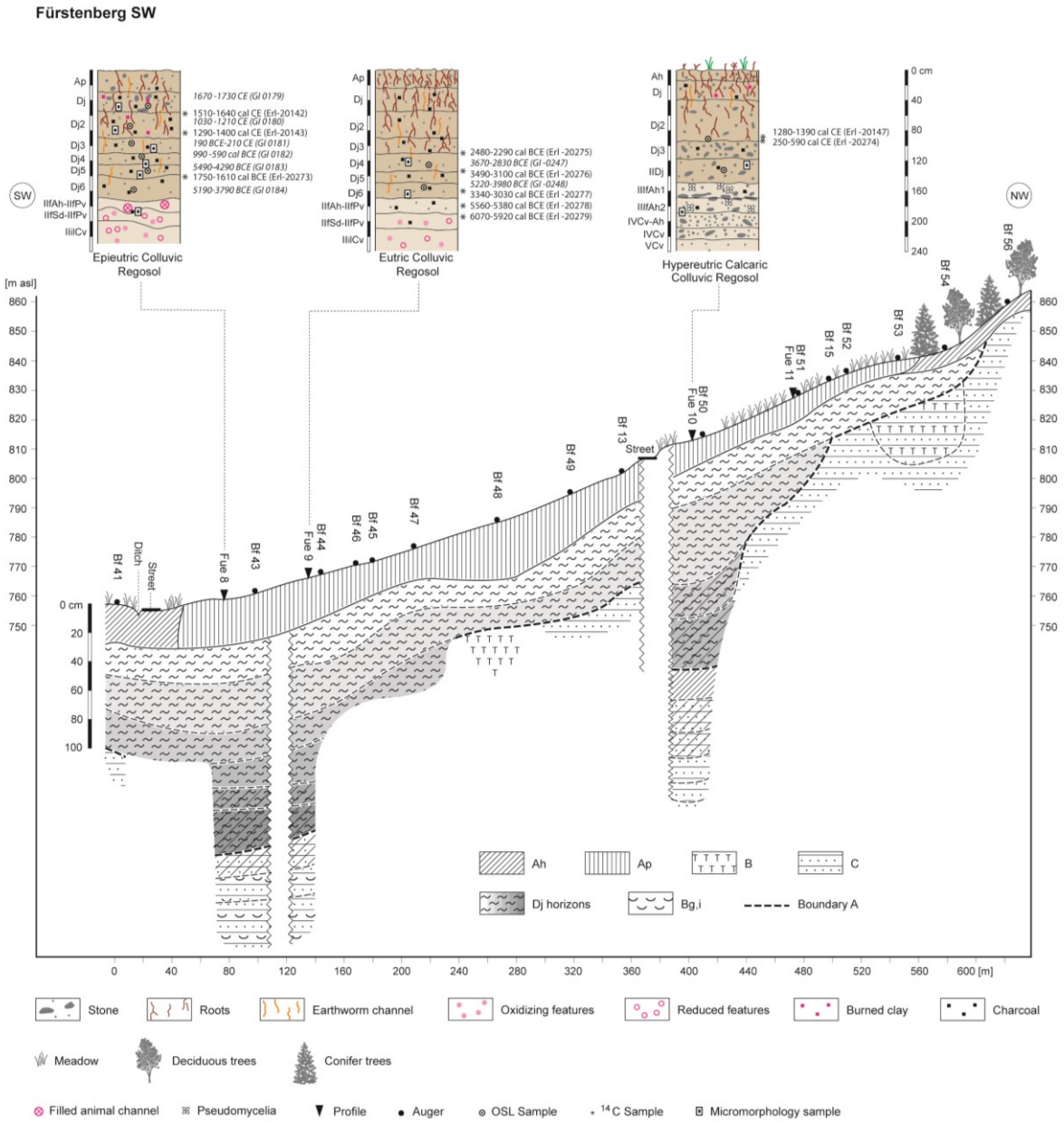


Abb. 4: Südwestlich exponierte Catena am Fürstenberg auf der Baar (basierend auf Henkner et al. 2017)

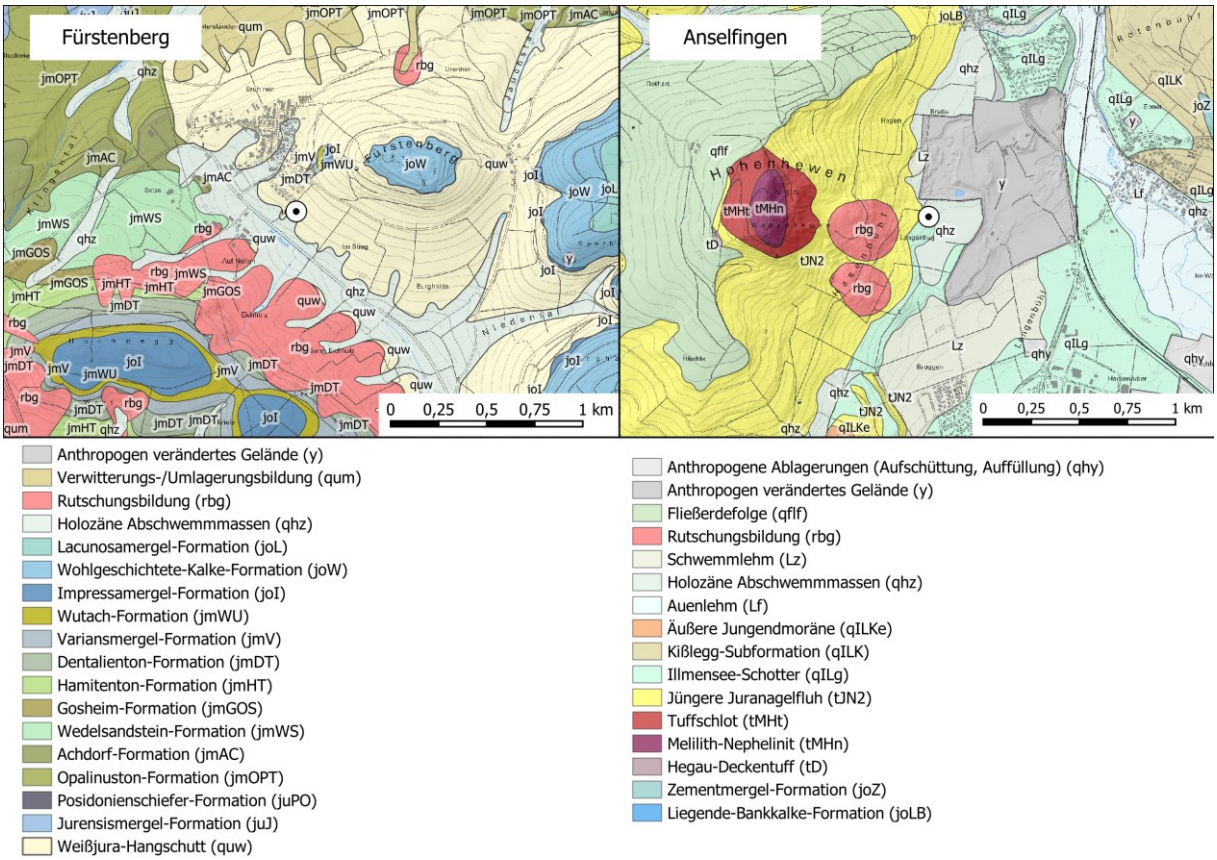


Abb. 5: Geologische Formationen der Standorte Fürstenberg (Baar) und Anselfingen (Hegau) auf Basis der GK50

Pedostratigraphie

Das Profil am Fürstenberg zeigt einen rezenten Pflughorizont (Ap) und darunter sechs Phasen kolluvialer Ablagerung (Dj – Dj6) mit einer Mächtigkeit von insgesamt 170 cm. Unterhalb der kolluvialen Horizonte findet sich ein begrabener Boden mit Pseudogley (stagnic)- und Pelosol (vertic)-Merkmalen. Dieses Substrat entstand aus der Verwitterung des anstehenden Ton- und Mergelsteins aus dem Mittleren Jura. Nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA6, AG Boden 2024) ist das Profil als Kolluvisol über Pseudogley-Pelosol klassifiziert (basierend auf der Aufnahme von Henkner et al. 2017). Eine Übersetzung (Eberhardt et al. 2014) in die World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB 2022) ergab: Epieutric Colluvic Regosol (Aric, Pantoclayic, Humic, Bathyruptic, Bathythaptomollic) (Abb. 6).

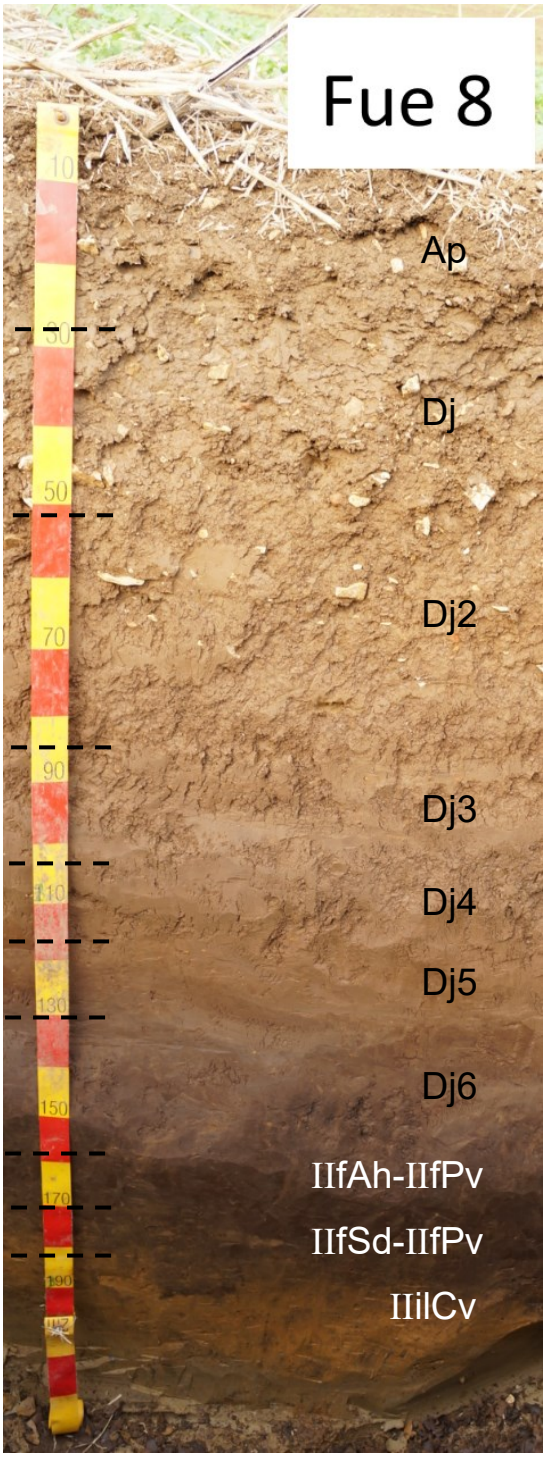


Abb. 6: Profil am Fürstenberg (Baar)

Chronostratigraphie

Die Datierung der kolluvialen Horizonte zeigt grundsätzlich eine Alterszunahme mit der Tiefe und eine Altersinversion für die OSL-Alter (Tab. 1 und 2). Die OSL-Datierungen deuten auf unterschiedliche Ereignisse hin, die zwischen 0,31 ± 0,03 ka BP (Moderne) im Dj Horizont und 6,9 ± 0,6 ka BP (Frühneolithikum) in den Horizonten Dj5 und Dj6 liegen. Die Horizonte Dj6 und Dj5 ergaben innerhalb ihrer Standardabweichungen vergleichbare OSL-Alter (6,5 ± 0,7 und 6,9 ± 0,6 ka BP) und zeigen eine Sedimentation im Früh- bis Jungneolithikum an. Radiokohlenstoffalter aus den gleichen Horizonten sind deutlich jünger und datieren einen Zeitraum zwischen dem Endneolithikum und der Späten Bronzezeit. Die Altersdiskrepanz zwischen den zwei Datierungsmethoden kann zwei Ursachen haben: (1) Das datierte Material aus Dj5 zeigt Indizien unvollständiger Belichtung. Damit könnte das Alter aus Dj5 potenziell überbestimmt sein. (2) Das datierte Holzkohlefragment wurde im Zuge der Pedo-/Bioturbation vertikal verlagert und in ältere Sedimente eingetragen. Das Problem der möglichen Verlagerung von kleinen Holzkohlefragmenten ist immer gegeben, weshalb für die Datierung der Sedimentationszeiträume die OSL-Alter verlässlicher erscheinen. Zwischen den Horizonten Dj5 und Dj4 (2,8 ± 0,2 ka BP) besteht auf Basis der OSL-Datierungen ein zeitlicher Hiatus von min. 3300 und max. 4900 Jahren, was auf eine Phase der geomorphologischen Stabilität und einsetzender Pedogenese hindeutet. Dies wird durch erhöhte Werte in den oberen 5 cm des Dj5-Horizonts des Chemical Index of Alteration (CIA, 75,9) und des Verhältnisses aus Dithionit-Citrat-löslichem zu Gesamteisen (Fe_d/Fe_t, 0,57) gestützt (Tab. 3). Die zweite Phase der Sedimentation und die Bildung von Dj4 datiert den Übergang von Spätbronze- zu älterer Eisenzeit. Sie kann mit der Besiedlung des Fürstenbergs und den Befunden der ‚Hondinger Straße' in Verbindung gebracht werden. Die entsprechenden Radiokohlenstoffalter ergeben erneut jüngere Alter (Latènezeit bis Römische Kaiserzeit), die mit der Sedimentation von Dj3 zusammenfallen (2,00 ± 0,2 ka BP). Letztere ist mit der Landnutzung im Umfeld der *villa rustica* im heutigen Hüfingen in Zusammenhang zu

bringen. Holzkohlen aus Dj3 datieren sowohl in die Römische Kaiserzeit als auch ins Spätmittelalter. Die Horizonte Dj2 und Dj sedimentierten während des Hochmittelalters (0,89 ± 0,09 ka BP) und der Frühmoderne (0,31 ± 0,03 ka BP), was auch durch die Radiokohlenstoffalter bestätigt werden kann.

Tab. 1: OSL (Optisch stimulierte Lumineszenz) Alter des Fue 8 Profils. De: Äquivalenzdosis der Probe, CAM: Central Age Model, MAM: Bootstrap Minimum Age Model, GI: Gießen, Bezugsjahr für Umrechnung in BCE/CE: 2010. Aus Henkner et al. (2017)

Horizont	Beprobungstiefe [cm]	Modell	De [Gy]	Alter [ka ± 1σ]	BCE/CE	Lab.-Code
Dj	48	CAM	1,17 ± 0,08	0,31 ± 0,03	1670-1730 CE	GI-0179
Dj2	75	CAM	3,38 ± 0,10	0,89 ± 0,09	1030-1210 CE	GI-0180
Dj3	100	CAM	6,56 ± 0,22	2,00 ± 0,20	190 BCE-210 CE	GI-0181
Dj4	115	CAM	8,57 ± 0,35	2,80 ± 0,20	990-590 BCE	GI-0182
Dj5	135	MAM	20,1 ± 0,90	6,90 ± 0,60	5490-4290 BCE	GI-0183
Dj6	162	MAM	22,3 ± 0,70	6,50 ± 0,70	5190-3790 BCE	GI-0184

Tab. 2: Radiokohlenstoffalter (^{14}C) des Fue 8 Profils. Erl: Erlangen, MAMS: Mannheim. Kalibration basierend auf IntCal13 und durchgeführt mit OxCal 4.2 (Reimer, 2013). Aus Henkner et al. (2017) und Scherer et al. (2021a)

Horizont	Beprobungs-tiefe [cm]	$\delta^{13}C$ [‰]	^{14}C [yr BP]	cal BCE/CE [1σ]	cal BCE/CE [2σ]	Lab.-Code
Dj2	60	-23,9	325 ± 36	CE 1510-1640	CE 1470-1650	ERL-20142
Dj2	80	-25,2	627 ± 34	CE 1290-1400	CE 1280-1400	ERL -20143
Dj3	95	-35,9	637 ± 26	CE 1300-1390	CE 1290-1400	MAMS-40212
Dj3	95	-35,2	2139 ± 21	BCE 330-120	BCE 350-90	MAMS-40213
Dj3/Dj4	110	-25,0	2095 ± 19	BCE 160-60	BCE 170-50	MAMS-40214
Dj3/Dj4	110	-33,3	1966 ± 22	CE 20-70	BCE 40 - CE 80	MAMS-40215
Dj4	115	-31,6	3101 ± 22	BCE 1410-1310	BCE 1430-1300	MAMS-40216
Dj5	135	-38,8	4101 ± 28	BCE 2840-2580	BCE 2860-2510	MAMS-40217
Dj5/Dj6	140	-25,9	2894 ± 19	BCE 1110-1050	BCE 1190-1010	MAMS-40218
Dj6	145	-24,3	3369 ± 50	BCE 1750-1610	BCE 1870-1520	ERL -20273
Dj6	145	-31,2	4338 ± 22	BCE 3010-2910	BCE 3010-2900	MAMS-40219
Dj6	160	-30,1	4389 ± 21	BCE 3080-2930	BCE 3090-2920	MAMS-40220
Dj6/IIfAh-IIfPv	170	-50,4	4162 ± 44	BCE 2870-2680	BCE 2890-2590	MAMS-40221

Tab. 3: Bodenchemische und -physikalische Eigenschaften des Fue 8 Profils (horizontweise gemittelt). Fe_d: Dithionit-Citrat-lösliches Eisen, Fe_t: Gesamteisen, CIA: Chemical Index of Alteration. Aus Henkner et al. (2017) und Scherer et al. (2021a)

Tiefe [cm]	Horizont	TN [%]	SOC [%]	C/N	$CaCO_3$ [%]	pH ($CaCl_2$)	Sand, Schluff, Ton [%]	Fe_d/Fe_t	CIA
0–30	Ap	0,34	3,0	9	3,3	7,3	7, 34, 59	0,36	59,2
–55	Dj	0,24	2,1	9	3,8	7,3	9, 30, 61	0,38	58,6
–90	Dj2	0,18	1,7	9	0,16	7,2	7, 30, 63	0,34	74,7
–110	Dj3	0,17	1,7	10	0,07	7,1	7, 32, 61	0,38	75,1
–125	Dj4	0,15	1,6	11	0,04	7,1	9, 35, 56	0,37	75,2
–140	Dj5	0,16	1,9	12	0,12	7,0	9, 39, 52	0,50	74,5
–170	Dj6	0,17	2,2	13	0,10	7,0	8, 39, 53	0,41	72,4
–185	IIfAh-IIfPv	0,12	1,3	11	0	6,9	11, 39, 50	0,34	74,4
–200	IIfSd-IIfPv	0,08	0,6	8	0	6,9	14, 30, 56	0,34	75,7
–230+	IIilCv	0,06	0,3	6	0	6,9	11, 30, 59	0,30	72,4

KA 6: Kolluvisol über Pseudogley-Pelosol
WRB: Epieutric Colluvic Regosol (Aric, Pantoclayic, Humic, Bathyruptic, Bathythaptomollic)

Landnutzungsmarker

Für das Profil am Fürstenberg (Fue 8) sind fünf Phasen der Sedimentation dokumentiert, die mit Besiedlungs- und Landnutzungsphasen korreliert werden können (Abb. 7, Henkner et al. 2017; Scherer et al. 2021a).

Früh- bis Jungneolithikum (5500 – 3800 BCE, Dj6 – Dj5)

Die Landnutzungsmarker zeigen einen ersten anthropogenen Einfluss auf die Landschaft zu dieser Zeit. Die Gehalte an pyrogenem Kohlenstoff (Black carbon, BC) nehmen von Dj6 zu Dj5 zu und belegen eine zunehmende Feueraktivität. Niedrige Anteile an hochkondensierten aromatischen Verbindungen und ein Verhältnis von B5CA/B6CA > 0,8 (Verhältnis zur Rekonstruktion der Feuertemperatur nach Wolf et al. 2013) deuten auf niedrige Verbrennungstemperaturen hin. Die höchsten BC-Gehalte im IIilCv-Horizont sind durch die niedrigen SOC-Werte (0,3%) zu erklären. Anhand der Phytolithen wird eine Landschaftsöffnung bereits vor der ersten Phase der Sedimentation angezeigt (erhöhte Anteile an Gras-Phytolithen gegenüber Baum-Phytolithen). Eine Nutzung der begrabenen Oberfläche vor der früh- bis jungneolithischen Sedimentationsphase wird auch durch eine erhöhte Ureaseaktivität bestätigt (Indiz für Eutrophierung). Das Baumartenspektrum wird von der Eiche dominiert und bleibt durch menschliche Aktivität am Fürstenberg zunächst unbeeinflusst. Die Steroidprofile werden von den pflanzlichen Lipiden (v.a. Sitosterol) dominiert. Anteile an omnivoren (Coprostanol und Epicoprostanol) und herbivoren (5β-Stigmastanol und Epi-5β-Stigmastanol) Fäkaleinträgen nehmen innerhalb der Horizonte Dj6 und Dj5 zu, spielen aber eine untergeordnete Rolle.

Hiatus zwischen Früh- bis Jungneolithikum (Dj5) und Urnenfelder bis Hallstattzeit (Dj4)

Ein Hiatus von 3300 bis 4900 Jahren ohne nennenswerte Sedimentation (basierend auf den OSL-Altern) entspricht im Wesentlichen dem archäologischen Fundniederschlag auf dem Fürstenbergplateau. Hinweise auf eine Nutzung des Unterhangbereichs in diesem Zeitraum geben aber die ^{14}C-Alter (Dj6: 1870 - 1520 BCE, Dj4: 1430 – 1300 BCE). Auch wenn sie im Bereich der untersuchten Catena offenbar nicht mit nennenswerter Sedimentation einherging, könnte diese früh- und mittelbronzezeitliche Nutzung mit

einem Teil der Grabungsbefunde aus der ‚Hondinger Straße' in Zusammenhang gebracht werden.

Urnenfelder bis Hallstattzeit (1000 – 600 BCE, Dj4)

Eine urnenfelder- bis hallstattzeitliche Besiedlung des Fürstenbergs ist durch Funde auf dem Plateau und der ‚Hondinger Straße' angezeigt und kann durch die Landnutzungsmarker bestärkt werden. Die Gehalte an BC sind am Übergang von Dj5 zu Dj4 erhöht und deuten auf eine gestiegene Feueraktivität hin. Dominierende Anteile an Gras-Phytolithen belegen eine offene Landschaft. Im Übergang von Dj4 zu Dj3 sind in den Holzkohlespektren zwei Veränderungen zu beobachten: (1) Beginn der Ausbreitung der Buche auf Kosten der Eiche; und (2) Vorkommen von Wachholder. Ersteres zeigt eine Veränderung der Baumartenzusammensetzung. Im Gegensatz zu *Quercus* gilt *Fagus* als schattentolerant und kann sich in dichteren Waldbeständen effizienter verjüngen. Das Vorkommen von Wachholder deutet auf die Verbreitung von Weideflächen hin. *Juniperus* gedeiht am besten in offenen Landschaften und wird sowohl für vergangene (Rösch 2012) und rezente Landschaften mit Weidewirtschaft in Verbindung gebracht. Für die Umgebung des Fürstenbergs kann deshalb von einer mosaikartigen Landschaft ausgegangen werden, bestehend aus teils dichten Waldbeständen (lokal/regional) und inselartigen Landnutzungsflächen (lokal). Erhöhte Werte an enzymatischer Aktivität (Urease/SOC) zeigen eine Eutrophierung der Sedimente des Dj4-Horizonts, die anhand der Steroidprofile auf Viehhaltung mit größeren Anteilen an Wiederkäuern hindeuten (erhöhte Anteile an 5β-Stigmastanol und Epi-5β-Stigmastanol).

La Tène bis Römisches Kaiserreich (200 BCE – 200 CE, Dj3)

Die Sedimentation von Dj3 zeugt per se von einer Landnutzung und kann vermutlich mit der römischen Besiedlung in Verbindung gebracht werden. Verschiedene Proxys scheinen dem allerdings gegenüberzustehen: Die Gehalte an BC und enzymatischer Aktivität nehmen ab und die Anteile an Baum-Phytolithen nehmen zu. Pflanzenlipide dominieren gegenüber Lipiden möglicher Fäkaleinträge. Möglicherweise ist dieser scheinbare Widerspruch durch Veränderungen der Landnutzungspraktiken zu erklären, wie bspw. der Nutzung eiserner Wendepflüge zur Erhaltung der Ackerflächen (statt periodischer Feuernutzung) und ständige Fruchtwechsel anstatt ausgiebiger Brachweide/Düngung.

Hochmittelalter (1030 – 1210 CE, Dj2) und Frühmoderne (1670 – 1730 CE, Dj)

Die beiden jüngsten Sedimentationsphasen stehen in Verbindung mit einer hochmittelalterlichen Siedlung und einer bis in die Gegenwart andauernden Landnutzung am Fürstenberg. Die Baumartenzusammensetzung verschiebt sich weiter zugunsten der Buche. Die Phytolithenspektren zeigen zunehmende Anteile an Gras- und Baum-Phytolithen, wohingegen der Anteil an verwitterten Phytolithen deutlich abnimmt. Geringe BC-Gehalte deuten an, dass die Nutzung von Feuer zur Landschaftsgestaltung seit dem Hochmittelalter eine geringere Rolle gespielt hat. Ansteigende Urease/SOC Verhältnisse sind in den obersten 100 cm des Profils durch eine erhöhte, rezente mikrobielle Aktivität maskiert und für eine Rekonstruktion vergangener Landnutzungen nicht interpretierbar.

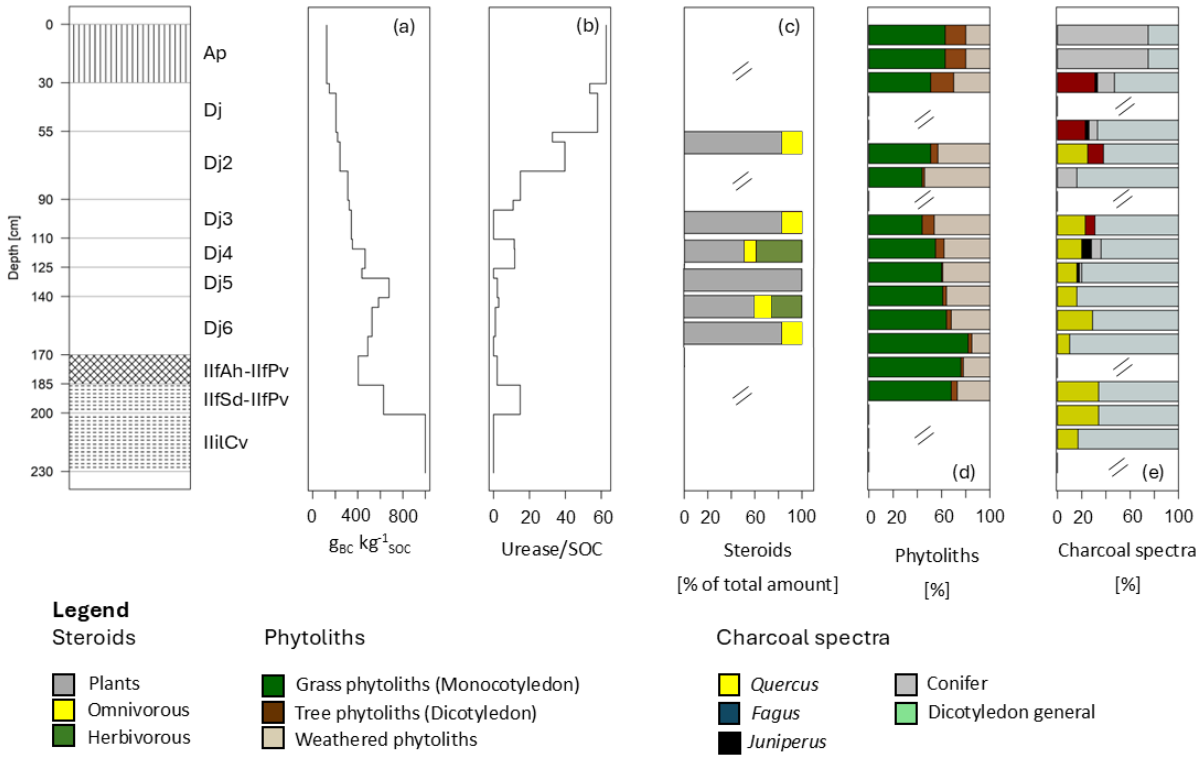


Abb. 7: Tiefenprofile der Landnutzungsmarker des Fue 8 Profils. a: Black carbon/C_{org}, b: Ureaseaktivität/C_{org}, c: Fäkalmarker (relative Steroidmengen), d: Phytolithenspektren, e: Holzkohlespektren. Angelehnt an Scherer et al. (2021a)

3.2 Standort II: Hegau (Anselfingen)

Die archäologische Ausgrabungsstelle in Engen-Anselfingen liegt im nordwestlichen Teil des Hegaus und am östlichen Hangfuß des Hohenhewen (Abb. 8). Im Rahmen von Rettungsgrabungen (Landesamt für Denkmalpflege Baden-Württemberg / Kreisarchäologie Konstanz) und eines Teilprojekts des SFB 1070 wurden im Umkreis der Ausgrabungen 13 Bodenprofile angelegt. Nördlich und westlich der Ausgrabungsstelle sind Kolluvisole aus Materialien der Jüngeren Juranagelfluh dokumentiert, südlich und südwestlich Kolluvisole aus melilith- und olivinführenden Nepheliniten. Die kolluvialen Horizonte überdecken fossile Bodenbildungen mit Pelosol-Merkmalen aus glazifluvialen Ablagerungen. Die archäologischen Funde und Strukturen sind in den begrabenen Böden eingebettet. Der Fokus der Exkursion richtet sich auf die Profile südlich der Ausgrabungsstelle (Abb. 9), in denen ein begrabener Pflughorizont (IIfAp) dokumentiert und analytisch nachgewiesen ist.

Zwischen den heutigen Ortschaften Welschingen im Süden und Anselfingen im Norden führten der Kiesabbau und die Erschließung von Neubaugebieten zu großflächigen archäologischen Untersuchungen. In der Konsequenz liegt hier eine umfangreiche Quellenlage vor (Ehrle et al. 2018; Hald et al. 2015). Die archäologischen Nachweise setzen im Frühneolithikum (Linearbandkeramik) ein. Darauf folgen mehrere jung- bis endneolithische Nutzungsphasen ('Hornstaader', 'Pfyner' und 'Horgener' Gruppe, Schnurkeramik- und Glockenbecherkultur). Diese sind hauptsächlich durch Grabfunde, seltener durch Siedlungsspuren nachgewiesen. Aus der Frühbronzezeit liegen sowohl Bestattungsplätze als auch Siedlungsbefunde vor. In der Mittelbronzezeit bestand auf der Kiesterrasse ein kleines, wohl weilerartiges – und damit für die flächige Besiedlung der

Region typisches – Dorf (Höpfer 2024). Diesem Dorf werden mindestens 20 Holzbauten – Nutz- und Wohnbauten unterschiedlicher Form und Größe – zugerechnet. Ein Kupferbarrenfragment, das mittels Element- und Bleiisotopenanalyse einem bronzezeitlichen Kupferabbaugebiet in den Ostalpen bei Salzburg zugewiesen werden konnte, belegt die Anbindung an überregionale Austauschsysteme (Höpfer et al. 2021). Urnenfelderzeitliche Funde streuen über die Kiesterrasse, wobei Einzelfunde vom Hohenhewen auf eine zeitgleiche Höhensiedlung hindeuten. Während der Späthallstatt- bis Frühlatènezeit (ca. 600 – 400 BCE) war die Terrasse großflächig besiedelt, wahrscheinlich in Form einzelner Gehöfte mit umliegenden Nutzflächen. In der späten Eisenzeit (ca. 200 – 100 BCE) bestand hier eine ländliche Großsiedlung, die sich nach neuesten Erkenntnissen über mehr als einen Quadratkilometer erstreckt haben könnte. Sie umfasste nicht nur Hofparzellen, sondern war zudem in größere, teils mit wehrhaften Gräben und Pallisaden gegeneinander abgegrenzte Areale gegliedert und umfasste mindestens ein Heiligtum (Bräuning 2019). Etwa zwei Jahrhunderte nach dieser spätkeltischen Siedlungsphase entstand auf der Kiesterrasse eine römische Ansiedlung. Im Gegensatz zu den meisten *villae rusticae* wurden diese Gebäude nie in Stein ausgebaut. Möglicherweise bestand eher ein funktionaler Zusammenhang mit einer hier vermuteten Straßenführung, im Sinne einer Wegstation für Reisende.

Pedostratigraphie

Das Profil **ABR SA2** (Abb. 10) zeigt einen rezenten Pflughorizont (Ap), gefolgt von sieben Phasen kolluvialer Ablagerung (Dj – Dj7) mit einer Mächtigkeit von 172 cm, die einen fossilen Pelosol aus glazifluvialen Substraten überdecken. Besonders für das Profil ist ein begrabener Pflughorizont (IIfAp), der durch Laboruntersuchungen (Mikromorphologie, molekulare Marker) bestätigt werden konnte. Das Kolluvium besteht aus Hangschuttmaterial des Hohenhewen mit wechselnden Anteilen an Grobbodenkomponenten (Abb, 5). Nach KA6 (AG Boden 2024) ist das Profil als Kolluvisol über Pelosol klassifiziert (WRB: Calcaric Pantocolluvic Regosol (Acric, Anoclayic, Humic, Endoraptic, Bathyloamic)).

Das Profil **ABR SA7** (Abb. 11) befindet sich wenige Meter westlich von Profil ABR SA2 und weist die gleichen Ausgangssubstrate der Bodenbildung auf (Kolluvisol aus melilith- und olivinführenden Nepheliniten; begrabener Pelosol aus glazifluvialen Substraten). In einer Tiefe von 30 – 65 cm wurde eine rezente Störung identifiziert. Unterhalb des 295 cm mächtigen Kolluviums konnte der begrabene Pflughorizont nachgewiesen werden.



Abb. 8: Blick auf den Hohenhewen und die östlich davon gelegene Kiesgrube (Foto: M. Blobel)



Abb. 9: Bodenkundliche / archäologische Sondagen zur Kartierung des begrabenen Pflughorizonts (IIfAp) südlich der Kiesgrube (Foto: J. Hald)

Chronostratigraphie

Insgesamt liegen 30 OSL und 76 Radiokohlenstoffalter aus den 13 Bodenprofilen vor (Scherer et al. 2021b; Scherer et al. in Vorb.).

Für die Profile ABR SA2 und ABR SA7 zeigen die Datierungen der begrabenen Böden und der kolluvialen Horizonte mehrheitlich eine positive Korrelation zwischen Alter und Tiefenstufe (Tab. 5 und 6). In den IIfAp-Horizonten sind für beide Profile mittelbronzezeitliche OSL-Alter nachgewiesen (3,5 ± 0,3 ka BP), die durch Radiokohlenstoffalter aus identischen Tiefenstufen bestätigt werden können (ABR SA2: 1430 – 1230 BCE, 1500 – 1400 BCE; ABR SA7: 1490 – 1300 BCE). Eine fortwährende Nutzung der Ackerfläche in der Eisenzeit (Hallstatt/La Tène) gilt als ebenso wahrscheinlich wie eine eisenzeitliche Überdeckung der IIfAp-Horizonte (ABR SA2, Dj7: 2,6 ± 0,2 ka BP; sowie weitere unpublizierte Alter). Endneolithische bis frühbronzezeitliche OSL-Alter aus dem begrabenen Ackerhorizont im Profil ABR SA7, sowie früh- bis jungneolithische Alter aus dem IIPv-IIICv-Horizont im Profil ABR SA2 belegen eine Nutzung der begrabenen Oberfläche vor der Mittelbronzezeit, die Entsprechungen im vorher geschilderten Quellenbestand findet. Unter Einbeziehung aller vorhandenen Datierungen sind es sechs OSL- und sechs Radiokohlenstoffalter aus fünf verschiedenen Profilen, die in die mittlere Bronzezeit datieren. Sie belegen, dass die begrabene Oberfläche bis in die Mittelbronzezeit hinein genutzt wurde und es am Standort bis dahin nicht zu einer nennenswerten Bodenverlagerung gekommen ist. Weitere Sedimentations- und Landnutzungsphasen am Standort Anselfingen sind für den Übergang Spätbronze- zu Urnenfelderzeit, die Eisenzeit (Hallstatt/La Tène), die Römische Kaiserzeit, das Mittelalter und die Moderne beschrieben.



Abb. 10: Profil ABR SA2 in Anselfingen (Hegau)

Landnutzungsmarker

Am Standort Anselfingen lag der Fokus auf der Rekonstruktion mittelbronzezeitlicher Landnutzung in Verbindung mit der angrenzenden zeitgleichen Siedlung. Entsprechend wurde die Probenauswahl für bestimmte analytische Ansätze getroffen. Eine nachfolgende Interpretation der Ergebnisse bezieht sich ausschließlich auf die Horizonte, die der mittleren Bronzezeit zugeordnet werden können (Scherer et al. 2021b; Scherer et al. in Vorb.).

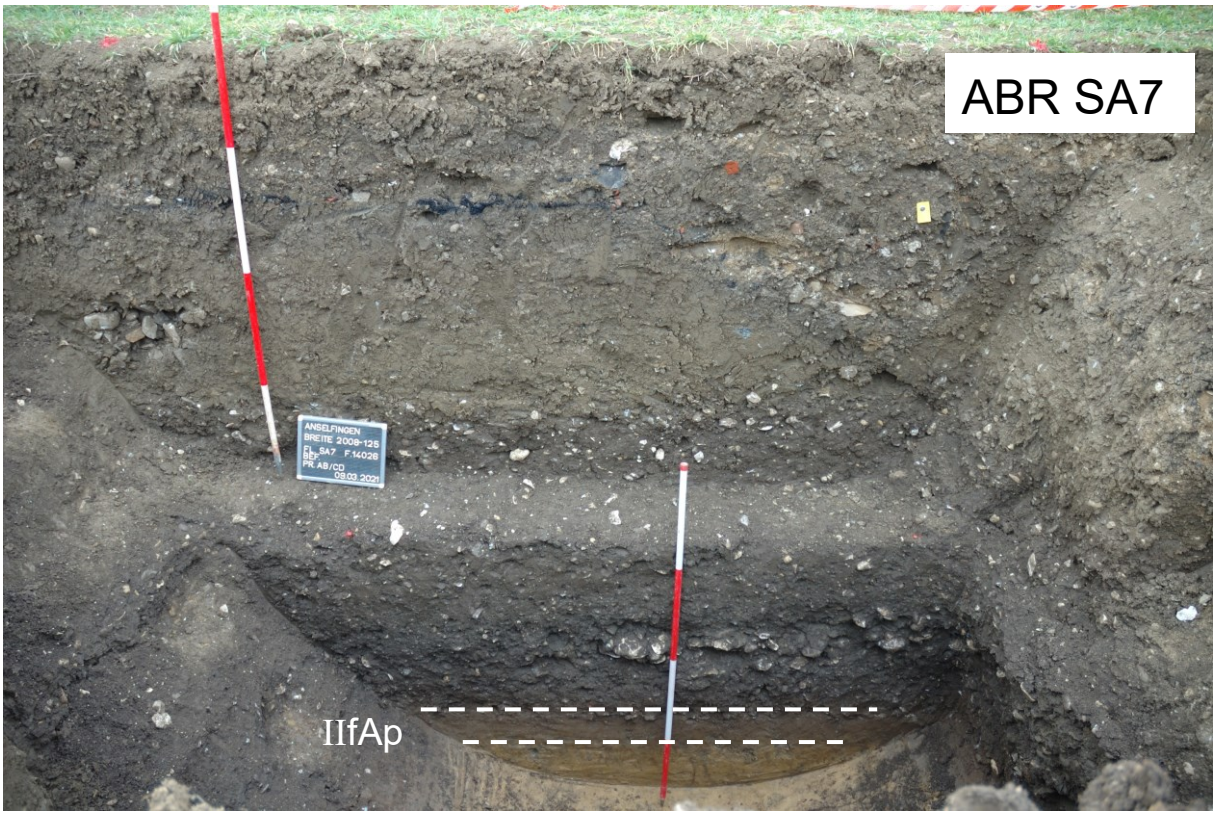


Abb. 11: Profil ABR SA7 in Anselfingen (Hegau)

Mittelbronzezeitlicher Ackerbau

Die Besonderheit am Standort Anselfingen ist die räumliche und zeitliche Verbindung einer mittelbronzezeitlichen Siedlung mit einer zeitgleichen Ackerfläche, die kolluvial überdeckt ist. Basierend auf den OSL-Datierungen wurde die Ackerfläche bis in die mittlere Bronzezeit genutzt und spätestens im Verlauf der frühen Eisenzeit überdeckt. Im Zuge einer 2021 durchgeführten Kartierung/Sondierung (Abb. 9), konnte der IIfAp-Horizont in insgesamt fünf Profilen nachvollzogen werden, wodurch sich eine Mindestausdehnung der Ackerfläche von 0,2 ha und eine (erhaltene) Maximalausdehnung von 0,5 ha ergibt (35 m in Nord-Süd; 50 m in Ost-West).

Neben der Präsenz mittelbronzezeitlicher Sedimentations- und Landnutzungsphasen konnte die Verwendung eines Pflugs mikromorphologisch bestätigt werden. Das Auftreten einer fast rechteckigen Fläche (heller Bereich im linken Schliffviertel) mit schrägen, um etwa 45° zu einer Seite geneigten Bändern aus abwechselnd grobem und feinem Material ist typisch für die Bodenbearbeitung mit Ardern oder einfachen Pflügen, bei der das Material in Klumpen umgelagert wird (Abb. 12).



Abb. 12: Dünnschliff aus dem begrabenen Pflughorizont des ABR SA2 Profils (IIfAp, 6 cm × 9 cm; aus 190 – 200 cm Tiefe). Aus Scherer et al. (2021b)

Darüber hinaus wurden eine Reihe von archäobotanischen, bodenbiologischen und molekularen Analysen durchgeführt, die den Befund einer mittelbronzezeitlichen Ackerfläche untermauern (u.a. Abb. 13). Ein höheres Verhältnis von Ureaseaktivität zu mikrobiellem Biomassekohlenstoff im IIfAp-Horizont (Urease/C_{mic}) deutet auf eine Eutrophierung hin, die als organische Düngung interpretiert werden könnte. Dieser Befund wird auch durch erhöhte $\delta^{15}N$ Werte (> 8 ‰), die an Sedimentproben aus dem IIfAp gemessen wurden, bestärkt (Scherer et al. in Vorb.).

Die höchsten Urease/C_{mic}-Verhältnisse wurden am Übergang von Dj6 zu Dj5 identifiziert und sind am ehesten mit einer Sedimentation und Landnutzung in der Eisenzeit in Verbindung zu bringen. Eine genauere zeitliche Interpretation ist aufgrund fehlender Alter in Dj5 nicht möglich. Die Phytolithenspektren aus IIfAp und Dj7 zeigen eine Dominanz an Gras-Phytolithen gegenüber Phytolithen, die aus der Baum- und Gebüschvegetation stammen oder die aufgrund von Fragmentierung nicht eindeutig einer Gruppe zugeordnet werden können. Daraus lässt sich für die mittlere Bronzezeit eine geöffnete Landschaft ableiten, wie sie auch aus den nahegelegenen Pollenprofilen hervorgeht (Scherer et al. 2021b).

Tab. 4: Bodenchemische und -physikalische Eigenschaften des ABR SA2 und ABR SA7 Profils in Anselfingen (horizontweise gemittelt). Aus Scherer et al. (2021b) und Scherer et al. (in Vorb.)

Profil	Tiefe [cm]	Horizont	TN [%]	TOC [%]	C/N	$CaCO_3$ [%]	pH ($CaCl_2$)	Sand, Schluff, Ton [%]
ABR SA2	0–27	Ap	0,27	2,2	8	11	7,3	22, 31, 47
	–40	Dj	0,16	1,2	7	10	7,3	20, 30, 50
	–66	Dj2	0,12	0,8	7	10	7,4	19, 31, 50
	–80	Dj3	0,11	0,8	8	9	7,4	27, 28, 45
	–95	Dj4	0,11	0,8	8	11	7,4	28, 29, 43
	–123	Dj5	0,12	0,9	8	8	7,4	27, 28, 45
	–150	Dj6	0,10	0,8	8	8	7,4	29, 28, 43
	–172	Dj7	0,10	0,8	8	6	7,4	29, 29, 42
	–193	IIfAp	0,08	0,6	8	2	7,2	27, 31, 42
	–220+	IIPv-IIICv	0,09	0,5	6	1	7,2	24, 25, 51
ABR SA7	0–30	Ap	0,17	3,3	20	n.a.	7,4	30, 39, 31
	286–295	Dj5	0,10	1,1	11	1,3	7,5	28, 40, 32
	295–305	IIfAp	0,08	0,8	10	0,6	7,2	27, 40, 33
	340–350	IIICv	0,04	-	-	n.a.	7,6	17, 48, 35

KA 6: Kolluvisol über Pelosol
WRB: Calcaric Pantocolluvic Regosol (Acric, Anoclayic, Humic, Endoraptic, Bathyloamic)

Tab. 5: OSL (Optisch stimulierte Lumineszenz) Alter des ABR SA2 und ABR SA7 Profils in Anselfingen. De: Äquivalenzdosis der Probe, CAM: Central Age Model, MAM: Bootstrap Minimum Age Model, GI: Gießen, Bezugsjahr für Umrechnung in BCE/CE: 2010. Aus Scherer et al. (2021b) und Scherer et al. (in Vorb.)

Profil	Horizont	Beprobungs-tiefe [cm]	Modell	De [Gy]	Alter [ka ± 1σ]	BCE/CE	Lab.-Code
ABR SA2	Dj2	60	MAM	1,1 ± 0,1	0,37 ± 0,04	1630 ± 40 CE	GI-742
	Dj7	170	CAM	7,4 ± 0,2	2,6 ± 0,2	600 ± 200 BCE	GI-743
	IIfAp	185	MAM	10,5 ± 0,7	3,5 ± 0,3	1500 ± 300 BCE	GI-744
	IIPv-IIICv	213	MAM	16,5 ± 1,7	6,4 ± 0,7	4400 ± 700 BCE	GI-745
ABR SA7	Dj4	265	MAM	3,3 ± 0,2	1,4 ± 0,1	600 ± 100 CE	GI-940
	Dj5/IIfAp	295	MAM	10,2 ± 0,8	4,0 ± 0,4	2000 ± 400 BCE	GI-941
	IIfAp	300	MAM	8,7 ± 0,7	3,5 ± 0,3	1500 ± 300 BCE	GI-942
	IIfAp	304	MAM	10,0 ± 0,6	4,5 ± 0,3	2500 ± 300 BCE	GI-943

Tab. 6: Radiokohlenstoffalter (^{14}C) des ABR SA2 und ABR SA7 Profils in Anselfingen. Kalibration basierend auf IntCal13 und durchgeführt mit OxCal 4.2 (Reimer 2013). Aus Scherer et al. (2021b) und Scherer et al. (in Vorb.)

Profil	Horizont	Beprobungs-tiefe [cm]	$\delta^{13}C$ [‰]	^{14}C [yr BP]	cal BCE/CE [1σ]	cal BCE/CE [2σ]	Lab.-Code
ABR SA2	Dj	30–35	-26,0	300 ± 23	CE 1520-1640	CE 1500-1650	MAMS-40268
	Dj2	60–65	-24,0	670 ± 19	CE 1290-1380	CE 1280-1390	MAMS-40269
	Dj2	60–65	-27,0	350 ± 17	CE 1490-1630	CE 1470-1630	MAMS-40270
	Dj2/Dj3	65–70	-29,4	310 ± 19	CE 1520-1640	CE 1500-1650	MAMS-40271
	Dj3	75–80	-17,8	960 ± 19	CE 1030-1150	CE 1020-1150	MAMS-40272
	Dj4	85–90	-28,0	660 ± 17	CE 1290-1380	CE 1280-1390	MAMS-40273
	Dj4	90–95	-38,0	1280 ± 26	CE 680-770	CE 670-770	MAMS-40274
	Dj6	135–140	-25,7	2220 ± 18	BCE 360-210	BCE 370-210	MAMS-40275
	Dj6	140–145	-32,2	2640 ± 23	BCE 820-800	BCE 830-800	MAMS-40276
	Dj6	140–145	-48,3	2480 ± 37	BCE 760-540	BCE 780-430	MAMS-40277
	Dj6	145–150	-74,0	2510 ± 55	BCE 790-540	BCE 800-430	MAMS-40278
	Dj7	150–155	-48,6	2900 ± 35	BCE 1130-1020	BCE 1210-980	MAMS-40279
	Dj7	150–155	-25,8	2930 ± 21	BCE 1190-1060	BCE 1210-1050	MAMS-40280
	Dj7	160–165	-31,7	2880 ± 21	BCE 1110-1020	BCE 1190-980	MAMS-40281
	Dj7	160–165	-36,8	2320 ± 26	BCE 400-380	BCE 410-270	MAMS-40282
	Dj7/IIfAp	170–175	-17,9	3370 ± 20	BCE 1690-1640	BCE 1740-1620	MAMS-40283
	Dj7/IIfAp	170–175	-40,8	2820 ± 28	BCE 1110-930	BCE 1050-910	MAMS-40284
	IIfAp	185–190	-41,0	3080 ± 39	BCE 1400-1290	BCE 1430-1230	MAMS-40285
	IIfAp	185–190	-39,3	3160 ± 22	BCE 1490-1410	BCE 1500-1400	MAMS-40286
	IIPv-IIlCv	190–195	-36,7	3760 ± 22	BCE 2200-2140	BCE 2280-2050	MAMS-40287
	IIPv-IIlCv	190–195	-34,0	3740 ± 22	BCE 2200-2060	BCE 2200-2040	MAMS-40288
ABR SA7	Dj3	170–175	-27,7	183 ± 17	CE 1670-1950	CE 1660-1950	MAMS-50771
	Dj4	280–285	-27,6	2940 ± 19	BCE 1210-1120	BCE 1220-1060	MAMS-50772
	Dj5	290–295	-22,5	3543 ± 18	BCE 1930-1780	BCE 1950-1780	MAMS-50773
	Dj5/IIfAp	295–300	-37,3	3494 ± 23	BCE 1880-1770	BCE 1890-1750	MAMS-50774
	IIfAp	295–300	-31,8	3504 ± 20	BCE 1880-1770	BCE 1890-1750	MAMS-50775
	IIfAp	300–305	-42,4	3132 ± 25	BCE 1440-1320	BCE 1490-1300	MAMS-50776
	IIfAp-IIPv	305–310	-39,6	2602 ± 29	BCE 800-780	BCE 810-770	MAMS-50777
	IIfAp-IIPv	310–315	-25,4	2437 ± 19	BCE 720-420	BCE 750-410	MAMS-50778

Innerhalb der Gras-Phytolithen überwiegen die Anteile an Blatt und Stängel, wohingegen Phytolithen, die dem Blütenstand zuzuordnen sind, sehr geringe Anteile aufweisen. Im Kontext einer prähistorischen Ackerfläche gibt das Phytolithenspektrum Hinweise auf Erntetätigkeit, da der ökonomisch wertvolle Teil einer Getreidepflanze (das Korn) dem System durch Ernte entzogen wird.

Auch in den archäologischen Grabungsbefunden fanden sich Hinweise auf die mittelbronzezeitliche Landnutzung. Verkohlte Getreidekörner aus Feuerstellen spiegeln das Getreideartenspektrum der mittleren Bronzezeit wider, bestehend aus Nacktweizen (*Triticum aestivum/turgidum*), Einkorn (*Triticum monococcum*), Emmer (*Triticum dicoccum*), Gerste (*Hordeum distichon/vulgare*) und Dinkel (*Triticum spelta*) (Scherer et al. 2021b). Gelagert wurden die Getreidevorräte vermutlich in kleinen, gestelzten Speicherbauten, von denen in Anselfingen rund zehn dokumentiert sind (Höpfer et al. 2024). Dieses Getreideartenspektrum konnte durch den Nachweis von Miliacin (molekularer Marker für Rispenhirse, *Panicum miliaceum*) in den

Horizonten der begrabenen Ackerfläche, sowie den aufliegenden kolluvialen Horizonten erweitert werden, wodurch eine Kultivierung der Rispenhirse ab der mittleren Bronzezeit als wahrscheinlich gilt (Scherer et al. in Vorb.). Aus Pollenprofilen und Makroresten ging bisher hervor, dass die Rispenhirse im nordwestlichen Alpenvorland erst ab der Spätbronzezeit unter Kultur genommen wurde (Rösch et al. 2014). Diese neuen Erkenntnisse am Standort Anselfingen reihen sich in einen aktualisierten Forschungsstand ein, nach dem die Verbreitung der Rispenhirse auf Basis radiokohlenstoffdatierter Hirsekörner in Mitteleuropa spätestens ab dem 14. Jh. BCE wahrscheinlich ist (Filipović et al. 2020).

Ausstehende Fäkalmarkeranalysen (Steroide und Gallensäuren) sollen den Befund der mittelbronzezeitlichen Ackerfläche bestärken und speziell die Verwendung von organischem Dünger näher beleuchten.

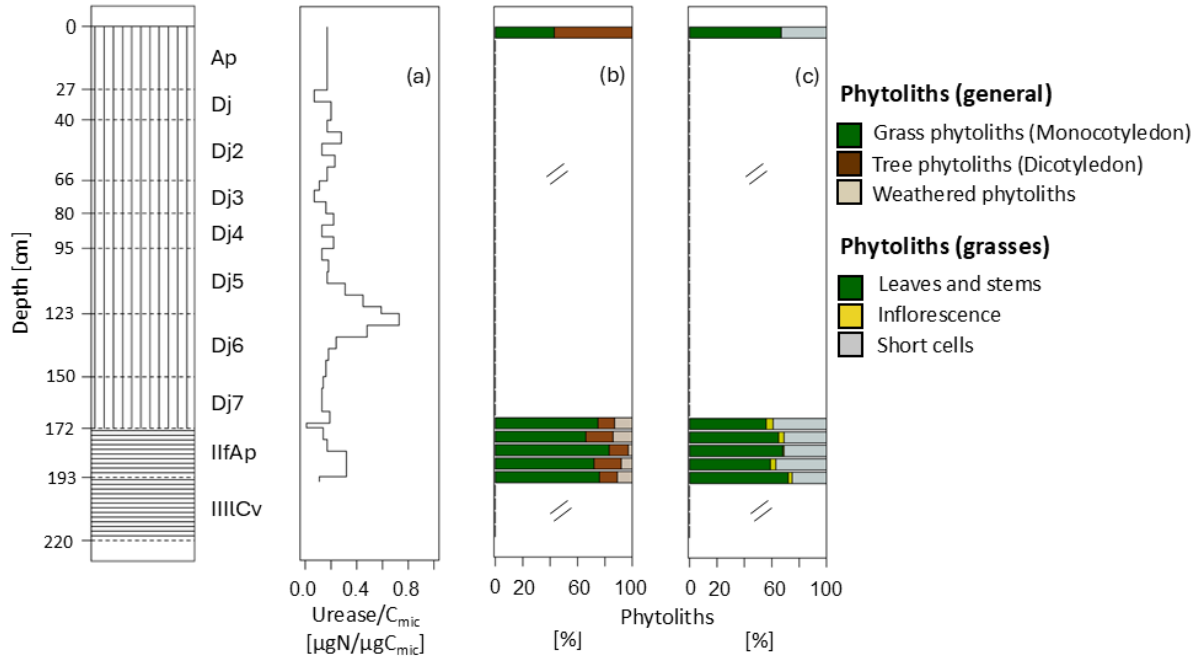


Abb. 13: Tiefenprofile der Landnutzungsmarker des ABR SA2 Profils. a: Ureaseaktivität/C mikrobieller Biomasse, c: Phytolithenspektren (allgemein), d: Photoliithenspektren (Gräser). Angelehnt an Scherer et al. (2021b)

4 Synthese

Am Fürstenberg auf der Baar und in Anselfingen im Hegau wurden Kolluvien als Geoarchive genutzt, um Phasen der Landnutzung und die damit verbundenen Subsistenzpraktiken vor dem Hintergrund des archäologischen Quellenbestands zu rekonstruieren.

Am Fürstenberg sind fünf Phasen der Sedimentation dokumentiert, die vom Jung-/Endneolithikum bis zur Moderne reichen. In Anselfingen sind vier Sedimentationsphasen dokumentiert, wovon diejenigen, die in die Eisenzeit, Römische Kaiserzeit und Moderne datieren, mit dem Standort Fürstenberg übereinstimmen. Ein auffälliger Unterschied zwischen den beiden Standorten besteht hinsichtlich der ersten Phase der Sedimentation, die am Fürstenberg ins Jung-/Endneolithikum, in Anselfingen in die Mittelbronzezeit datiert. Zudem ist für den Standort Fürstenberg eine Phase geomorphologischer Stabilität von 3300 bis 4900 Jahren nachgewiesen.

Für beide Standorte konnte eine Landschaftsöffnung und eine Veränderung der

Baumartenverteilung nachvollzogen werden, die wohl mit Phasen menschlicher Besiedlung in Zusammenhang standen. Phasen der Viehhaltung sind durch die Identifikation von Fäkalmarkern angedeutet. Für den Standort Anselfingen konnte durch die Phytolithenspektren, mikromorphologische Dünnschliffanalysen und molekulare Markeranalysen an den Horizonten der begrabenen Ackerfläche mittelbronzezeitlicher Ackerbau nachgewiesen werden. Neben dem bekannten Getreideartenspektrum (Nacktweizen, Emmer, Einkorn, Gerste, Dinkel) gilt durch den Nachweis von Miliacin auch die Kultivierung der Rispenhirse in der Mittelbronzezeit als wahrscheinlich.

5 Methoden

Die Bodenansprache wurde nach der KA5 (Ad-hoc-AG Boden, 2005) durchgeführt und mit freundlicher Unterstützung von E. Eberhardt in die Klassifikation der KA6 (Ad-hoc-AG Boden 2024) übersetzt. Zusätzlich wurden die Ansprachen in die WRB-Klassifikation übersetzt (IUSS Working Group 2015; Eberhardt et al. 2014).

Bodenproben wurden horizontweise als Mischproben genommen. Die kolluvialen Horizonte wurden separat beprobt (teilweise in 5 cm Schritten). Proben zur Untersuchung der enzymatischen Aktivität, von Holzkohlespektren und mikromorphologischer Prozesse wurden separat entnommen. Holzkohlefragmente zur Radiokohlenstoffdatierung wurden entlang der Profiltiefen entnommen. Für die Datierung mittels OSL wurden Stahlzylinder horizontal in die Profilwand gehämmert.

Die Analysen des pH-Werts der Bodenlösung, Carbonatgehalts, Korngrößenverteilung, C und N Gehalte und Lagerungsdichten, sowie die Herstellung mikromorphologischer Dünnschliffe wurden an der Universität Tübingen (Bodenkunde und Geomorphologie) durchgeführt. Die Datierungen der OSL-Proben wurden an der Universität Gießen (Physische Geographie, Prof. Dr. M. Fuchs) und die der Holzkohlen in Jena (Max-Planck-Institut für Biogeochemie) und Mannheim (Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie) durchgeführt.

Die Bestimmung der Ureaseaktivität und des mikrobiellen Biomassekohlenstoffs wurden an der Universität Hohenheim durchgeführt (Bodenbiologie, betreut durch Prof. Dr. E. Kandeler, Dr. C. Poll, Dr. S. Marhan). Die Analyse von Benzol Carboxylsäuren als Marker für schwarzer Kohlenstoff (Black carbon) wurde an der Universität Bonn durchgeführt (Allg. Bodenkunde und Bodenökologie, Prof. Dr. E. Lehndorff, aktuell Universität Bayreuth, Bodenökologie BayCEER). Lipidanalysen wurden an der Universität Bayreuth durchgeführt (betreut durch Prof. Dr. E. Lehndorff). Phyolithen wurden an der Universität Bordeaux (Forschungszentrum Archäometrie für angewandte Physik in der Archäologie, Dr. M. Toffolo), an der Universität Tübingen (Naturwissenschaftliche Archäologie, Dr. K. Wroth) und an der Universität Würzburg (Geoarchäologie und Quartärforschung, Jun.-Prof. Dr. J. Meister) analysiert. Anthrakologische Untersuchungen wurden an der Universität Tübingen (Naturwissenschaftliche Archäologie, PD Dr. Katleen Deckers) durchgeführt. Die Analyse von Miliacin wurde an der Universität Mainz (Bodengeographie, Dr. S. Scherer) durchgeführt. Detaillierte Methodenbeschreibungen für die Datierungsmethoden und Landnutzungsmarker sind aus Henkner et al. (2017), Scherer et al. (2021a, b) und Scherer et al. (in Vorb.) zu entnehmen.

Literatur

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover.

Bohn, U., Neuhäusl, R., Gollub, G., Hettwer, C., Neuhäuslová, Z., Raus, T. (2003): Map of the Natural Vegetation of Europe. Scale 1: 2.500.000. Landwirtschaftsverlag, Münster.

Bräuning, A. (2019): Eine ländliche Großsiedlung der Eisenzeit bei Welschingen und Anselfingen (Stadt Engen, Konstanz). In: Fichtl, S., Barral, P., Pierrevelcin, G., Schönfelder, M. (Hrsg.), Les agglomérations ouverte de l'Europe celtique (IIIe-Ier s.av. J.C). Table ronde internationale Gluxen-Glenne, 28, 29 et 30 octobre 2015. Offene Großsiedlungen im keltischen Europa (3.-1. JH.v. Chr.). Internationaler Workshop Glux-enGlenne, 28., 29. und 30. Oktober 2015. Mémoires d'Archéologie du Grand Est 4, Strasbourg, 313–332.

Eberhardt, E., Schad, P., Berner, T., Lehmann, C., Walthert, L., Pietsch, D. (2014): Ableitungsschlüssel KA5 (2005) nach WRB (2007), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Germany.

Eusterhues, K., Lechterbeck, J., Schneider, J., Wolf-Brozio, U.: Late-and Post-Glacial evolution of Lake Steisslingen (I).: Sedimentary history, palynological record and inorganic geochemical indicators, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 187: 341–371,

Ehrle, J., Hald, J., Höpfer, B. (2017): Zehn Jahre Rettungsgrabung im Kieswerk Kohler bei Anselfingen: ein Resümee. Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2017: 44–49.

Filipović, D., Meadows, J., Corso, M.D., Kirleis, W., Alsleben, A., Akeret, Ö., Bittmann, F., Bosi, G., Ciută, B., Dreslerová, D., Effenberger, H., Gyulai, F., Heiss, A.G., Hellmund, M., Jahns, S., Jakobitsch, T., Kapcia, M., Klooß, S., Kohler-Schneider, M., Kroll, H., Makarowicz, P., Marinova, E., Märkle, T., Medović, A., Mercuri, A.M., Mueller-Bieniek, A., Nisbet, R., Pashkevich, G., Perego, R., Pokorný, P., Pospieszny, Ł., Przybyła, M., Reed, K., Rennwanz, J., Stika, H.-P., Stobbe, A., Tolar, T., Wasylikowa, K., Wiethold, J., Zerl, T. (2020): New AMS ^{14}C dates track the arrival and spread of broomcorn millet cultivation and agricultural change in prehistoric Europe. Scientific Reports 10: 13698.

Hald. J. und Kramer, W. (2011): Archäologische Schätze im Kreis Konstanz. Hegau-Bibliothek 147, Singen.

Hald, J., Häußler, G., Höpfer, B. (2015): Neue archäologische Ausgrabungen in der eisenzeitlichen Siedlung von Welschingen, Flur „Guuhaslen". Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2014, 2015: 120–123.

Henkner, J., Ahlrichs, J.J., Downey, S., Fuchs, M., James, B.R., Knopf, T., Scholten, T., Teuber, S., Kühn, P. (2017): Archaeopedology and chrono-stratigraphy of colluvial deposits as a proxy for regional land use history (Baar, southwest Germany). Catena 155: 93–113.

Höpfer, B., Deckers, K., Scherer, S., Kühn, P., Scholten, T., Knopf, T. (2024): Mittelbronzezeitliche Siedlungsfunde aus Engen-Anselfingen (Lkr. Konstanz, Baden-Württemberg): Erste Einblicke in Struktur und Organisation der Siedlung, in K.-H. Willroth (ed.) Elemente bronzezeitlicher Siedlungslandschaften: 77–102 (Studien zur nordeuropäischen Bronzezeit 5). Kiel/Hamburg: Wachtholtz Verlag.

Höpfer, B., Lutz, J., Krutter, S., Scherer, S., Kühn, P., Scholten, T., und Knopf T. (2021): Mitterbergkupfer am Bodensee? Ein Gusskuchenfragment aus der mittelbronzezeitlichen Siedlung von Engen-Anselfingen (Lkr. Konstanz, Baden-Württemberg). Archäologisches Korrespondenzblatt 51 (4): 501–516.

Höpfer, B. (2025): Mittelbronzezeitliche Landnutzung in Gunst- und Ungunsträumen des nordwestlichen Alpenvorlands. Die Fundstellen Engen-Anselfingen 'Breite' im Hegau sowie Leutkirch 'Untere Auen' und 'Urlauer Tann' im Westallgäu in ihrem regionalen Kontext. RessourcenKulturen 30 (Tübingen).

IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. Wien, Österreich.

Köninger, J. (2015): Bronze Age lacustrine settlements in the Circum-Alpine region: chronology, architectural styles,

occupational patterns, and much more, in: The end of the Lake-Dwellings in the Circum-Alpine Region, herausgegeben von: Menotti, F., United Kingdom, 15–67.

Lechterbeck, J. (2001): "Human Impact" oder "Climatic Change"? Zur Vegetationsgeschichte des Spätglazials und Holozäns in hochauflösenden Pollenanalysen laminierter Sedimente des Steisslinger Sees (Südwestdeutschland), Institut und Museum für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen, 25.

Menotti, F. (2001): “The missing period”: Middle bronze age lake-dwellings in the Alps, Archaeopress, United Kingdom, 184 S.

Menotti, F. (2003): Cultural response to environmental change in the Alpine lacustrine regions: The displacement model. Oxford Journal of Archaeology 22: 375–396.

Mayer-Reppert, P. (1995): Brigobannis: das romische Hüfingen. Führer zu archaologischen Denkmalern in Baden-Württemberg 19. Theiss, Stuttgart.

Miera, J. (2020): Ur- und frühgeschichtliche-Siedlungsdynamiken zwischen Gunst- und Ungunsträumen in Südwestdeutschland: Landschafts-archäologische Untersuchungen zur Baar und den angrenzenden Naturräumen des Schwarzwaldes und der Schwäbischen Alb. RessourcenKulturen 10 (Tübingen).

Reimer, P. (2013): IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. Radiocarbon 55 (4): 1869–1887.

Rösch, M. (2012): Vegetation und Wald-nutzung im Nordschwarzwald wärend sechs Jahrtausenden anhand von Profundalkernen aus dem Herrenwieser See. Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde 47: 43–64.

Rösch, M., Fischer, E., Kleinmann, A., Lechterbeck, J., Tserendorj, G., Wick, L. (2014): Bronzezeitliche Landnutzung im diachronen Vergleich – Fallbeispiele aus Südwestdeutschland, in: Ressourcen und Rohstoffe in der Bronzezeit, Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg, herausgegeben von: Nessel, B., Heske, I., and Brandherm, D., 13-27.

Scherer, S., Deckers, K., Dietel, J., Fuchs, M., Henkner, J., Höpfer, B., Junge, A., Kandeler, E., Lehndorff, E., Leinweber, P., Lomax, J., Miera, J., Poll, C., Toffolo, M.B., Knopf, T., Scholten, T., Kühn, P. (2021a): What’s in a colluvial deposit? Perspetives from archaeopedology, Catena 198: 1–15.

Scherer, S., Höpfer, B., Deckers, K., Fischer, E., Fuchs, M., Kandeler, E., Lechterbeck, J., Lehndorff, E., Lomax, J., Marhan, S., Marinova, E., Meister, J., Poll, C., Rahimova, H., Rösch, M., Wroth, K., Zastrow, J., Knopf, T., Scholten, T., Kühn, P. (2021b): Middle Bronze Age land use practices in the northwestern Alpine foreland – a multi-proxy study of colluvial deposits, archaeological features and peat bogs. SOIL 7: 269–304. ,

Sudhaus, D., Friedmann, A., Mäckel, R. (2006): Late-Glacial and Holocene geomorphodynamics and landscape development in the Eastern Black Forest.

Wagner, H. (2014): Von der Steinzeit zur Stadt. Neue Forschungen zur Besiedlungsgeschichte des Fürstenbergs. Schriften des Vereins für Geschichte und Naturgeschichte der Baar 57: 33–62.

Wolf, M., Lehndorff, E., Wiesenberg, G.L.B., Stockhausen, M., Schwark, L., Amelung, W. (2013): Towards reconstruction of past fire regimes from geochemical analysis of charcoal. Organic Geochemistry 55: 11–21.

E17: Böden und Wälder im und um den Nationalpark Schwarzwald: Bodenkundlicher Querschnitt durch den perhumiden Nordschwarzwald und waldökologische Konsequenzen

Friederike Lang[1], Karl Stahr[2], Kenton Stutz[1], Jörg Niederberger[1,3], Rebekka Maier[4], Stefanie Gärtner[5], Gerhard Milbert[3], Klaus Kaiser[6], Bruno Glaser[6]

[1]Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur Bodenökologie, [2]Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, [3]DBG AG Humusformen, [4]Regierungspräsidium Freiburg, LGRB, [5]Nationalpark Schwarzwald, [6]Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Bodenwissenschaften

1 Einleitung

Der Nordschwarzwald ist aus Kristallin und Buntsandstein aufgebaut, aus denen sich periglaziale und glaziale Deckschichten entwickelt haben. Die Böden reichen von Regosolen über Braunerden, Podsolen, Böden mit Eisenbändchen, zu Stagnogleyen, Hanggleyen und Mooren. Neben den wichtigen bodenbildenden Prozessen soll die Ausbildung der Humuskörper den Schwerpunkt der Exkursion bilden sowie die Klassifikation der Bodentypen und Humusformen nach KA 5 und KA 6. Aufgaben für den Nationalpark sind der Erhalt kulturell bedingter Standorte (Grinden) sowie Monitoring der Waldentwicklung mit ihren natürlicher Störungen (z.B. Gradation von Buchdrucker nach Windwurf in fichtendominierten Ökosystemen) mit den Veränderungen durch den Klimawandel (wie z.B. Trockenheit oder Klimaerwärmung). Die Wechselwirkungen dieser Veränderungen mit den Bodeneigenschaften werden ebenfalls thematisiert.

Für den Großteil der Bodenanalysen konnten wir auf die Daten aus Stahr et al. (2011) zurückgreifen. Die Profile 4 und 5 wurden neu analysiert.

2 Exkursionsgebiet

Der Oberrheingraben ist auch Teil einer tektonischen Bruchzone, die sich vom Mittelmeerraum bis nach Südnorwegen erstreckt. Zwischen Basel im Süden und dem Rhein-Main-Gebiet im Norden ist er als morphologische Senke mit einer 30 bis 50 km breiten flachen Basis und steilen Flanken ausgebildet. Die Absenkung entlang der SSW–NNE verlaufenden Verwerfungen seit dem Eozän sowie die Hebung, Erosion und Taleinschnitte in den angrenzenden Gebirgszügen haben ein einzigartiges Gebiet mit großen landschaftlichen Variationen entstehen lassen.

Durch die Hebung der Vogesen und des Schwarzwaldes wurden die Sedimente der Perm-, Trias- und Jurazeit erodiert. Nur in den nördlichen Teilen bedecken noch die Untertrias und teilweise das vom Buntsandstein überdeckte Perm die Gebirgszüge mit Erhebungen bis zu ca. 1000 m ü. NHN (Hornisgrinde 1164 m). Die südöstlichen Berge mit den höchsten Gipfeln (Grand Ballon in den Vogesen 1424 m ü. NHN und Feldberg im Schwarzwald 1493 m ü. NHN) werden von Grundgebirgs-

gesteinen wie Granit und Gneis dominiert. Die Westseite des Schwarzwaldes wird als Rheinische Seite bezeichnet, wo das Erosionsniveau etwa 400 m tiefer liegt als auf der „Donauseite“ an der Ostrampe.

Aufgrund der starken pleistozänen Erosion ist die rheinische Seite durch zahlreiche schroffe, tief eingeschnittene, zum Rhein hin entwässernde Täler mit V-förmigen Querschnitten gekennzeichnet, die durch dazwischenliegende scharfkantige Erhebungen getrennt sind. Es kommen nur wenige morphologische Ebenen vor. Auf der Ostabdachung des Schwarzwaldes dominieren, aufgrund der geringen Erosionseffizienz in diesem Gebiet, flache Hochlandgebiete des danubischen Typs das Relief. In der Regel sind die Ebenen hier durch nicht so tief eingeschnittene Mulden- und Auentäler gegliedert.

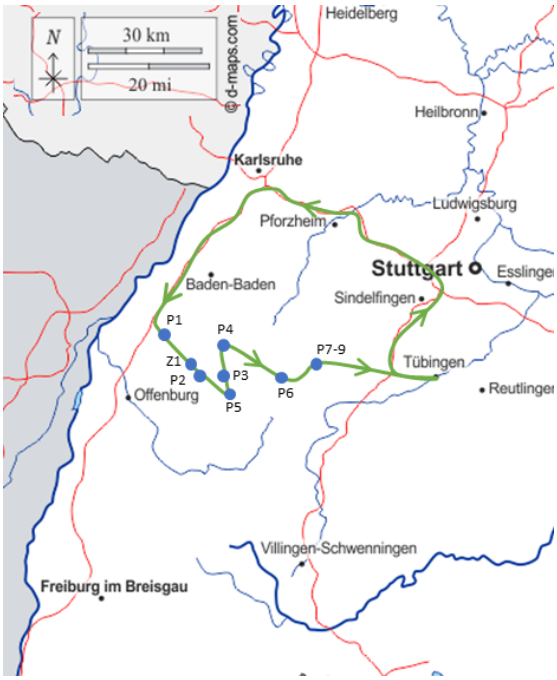


Abb. 1: Kartenausschnitt von Baden-Württemberg mit in Blau dargestellter Lage der Exkursionsprofile P1-P9 (Z: Zusatzprofil)

Die Hebung der Vogesen und des Schwarzwaldes führte auch zur Auffüllung des Rheingrabens mit mächtigen tertiären und quartären Sedimenten. Die quartären Sande und Kiese an der Oberfläche reichen bis zu den Ausläufern, während mesozoische und tertiäre Sedimente in tektonischer Tieflage konserviert wurden. Mit unserer Exkursion präsentieren wir eine W–O Querschnitt durch den Nordschwarzwald, beginnend mit einem Standort, der von der Lössakkumulation am Westrand des Schwarzwaldes dominiert ist, über einen steilen Anstieg zum Hochplateau des Nordschwarzwaldes und erfahren und diskutieren schließlich typische Bodengesellschaften im Bereich der Ostabdachung (Abb. 1).

2.1 Geologie und Geomorphologie

Der Nordschwarzwald ist durch eine zweistöckige Landschaft mit einer kristallinen Basis und einer dicken Sedimentschicht gekennzeichnet. Bei den kristallinen Gesteinen handelt es sich um paläozoische, hauptsächlich granitische Plutonite als Intrusionen in metamorphe Gneise unterschiedlicher Art aus dem Paläozoikum und Proterozoikum. Während des Paläozoikums wurden auch einige saure Vulkangesteine gebildet und verbunden mit der vulkanischen Aktivität ältere Gesteine und Sedimente erodiert. Lediglich im Becken von Baden-Baden oder im Südschwarzwald bei Badenweiler sind Reste devonischer und karbonischer Schiefer und Kohlenschiefer sowie Kalk- und Sandsteine erhalten. Vor der Überschreitung des Deutschen Meeres in der frühen Trias waren die Mulden und Kanäle der Berge mit permischen roten Kiesen und Sanden gefüllt. Dann wurde der Buntsandstein (frühe Trias) über einer fast flachen Landschaft (Peneplain) sedimentiert. Im Schwarzwald gliedert sich der Buntsandstein in die lithostratigraphischen Untergruppen des unteren, mittleren und oberen Buntsandsteins.

Der untere Buntsandstein besteht aus Tigersandstein, der zum ehemaligen Becken im Norden hin von tonigem Bröckelschiefer

unterlagert ist. Der Tigersandstein ist ein weicher, feinkörniger, geschichteter Sandstein, der nur unterrundete Körner aus Quarz, Feldspäten und Glimmer aufweist. Der Sandstein ist durch Carbonate zementiert. Nach Lösung der Carbonate bilden Weicheisen- und Manganoxidkonkremente das typische Aussehen des Sandsteins.

Der mittlere oder Hauptbuntsandstein besteht aus drei Schichten. Das basale Ecksche Konglomerat (smC1) ist ein kiesiger roter Sandstein mit einer Mächtigkeit von im Allgemeinen 60 m. Die Kiese bestehen neben Quarz aus Graniten, Gneisen und paläozoischen Sedimenten. Dieser Sandstein hat einen relativ hohen Anteil an Feldspäten und Carbonaten, jedoch keine Glimmer. Etwa 100 m der Hauptschicht bestehend aus dem sogenannten Bausandstein. Dieser Teil besteht fast ausschließlich aus Quarz der mittleren Sandfraktion. Der Gehalt an Feldspat, Glimmer und Hämatit ist sehr gering. Die Zementierung erfolgt durch Carbonate oder Kieselsäure. Darüber befindet sich das Hauptkonglomerat, wiederum ein kiesiger Sandstein, der stets durch Kieselsäure zementiert ist und ausschließlich Quarzkies aufweist.

Darüber liegt der obere Buntsandstein, der mehr Feinsand und mehr Glimmer und Tone aufweist als die unteren Schichten. Dieser Sandstein wird Plattensandstein genannt, hat eine Mächtigkeit von 50 m und ist von einem ca. 5 m mächtigen, reinem roten Ton, das Röt, bedeckt. Die Muschelkalkschicht (mittlere Trias) ist die natürliche Ost- und Nordgrenze des Schwarzwaldes. Innerhalb der Abfolge des sandigen Buntsandsteins gibt es bis zu 7 tonige Einlagerungen, die als Überreste alter Böden erkannt wurden.

2.2 Klima

2.2.1 Schwarzwald allgemein

Das Klima des Schwarzwalds, der in seiner Längserstreckung quer zu den vorherrschenden, niederschlagsbringenden Westwinden liegt, ist deutlich ozeanisch geprägt. Die Niederschlagsmengen sind hoch und die Winter relativ mild. Charakteristisch ist ein starker Gradient mit rasch ansteigenden Jahresmittelwerten von 1100 mm Niederschlag am westlichen Fuß des Schwarzwalds auf bis zu 2100 mm in den höchsten Lagen. Die im Südwesten, jenseits des Rheingrabens gelegenen Hochvogesen fangen bereits einen Teil der Niederschläge ab, so dass die Niederschlagsmengen im Südschwarzwald nicht über denen des weniger hohen Nordschwarzwalds liegen. Am relativ niedrig gelegenen Westrand des Mittleren Schwarzwalds betragen die durchschnittlichen Jahresniederschläge verbreitet nur 1000–1100 mm. In Lee-Lage erfolgt auf der Ostabdachung des Schwarzwalds wieder eine allmähliche Abnahme der Niederschläge auf 1000 mm bei Villingen bzw. 800 mm südlich von Pforzheim. Die Jahresdurchschnittstemperaturen ändern sich naturgemäß mit der Höhenlage. Sie betragen am Fuß des Schwarzwalds im Westen und Norden ca. 9,5 °C. In den höchsten Lagen sinken sie auf ca. 5,5 °C im Norden und 3,5 °C im Süden. Am Ost- und Südrand des Mittelgebirges steigen die Werte wieder auf 6–8 °C an. Das gelegentliche Auftreten von Inversionswetterlagen führt zu zeitlich begrenzten Abweichungen von diesen Verhältnissen. Auch reliefbedingte, kleinklimatische Besonderheiten haben ein differenziertes Muster der Temperaturverteilung zur Folge (LGRB Wissen 2024).

2.2.2 Nationalpark

Das Nationalparkgebiet ist durch ein ozeanisch geprägtes, kühles und sehr niederschlagsreiches Klima gekennzeichnet und zeigt die höchsten Jahresniederschläge Baden-Württembergs (vgl. WaBoA 2012). In der Gipfelregion des Nordschwarzwaldes sind feuchtkalte Nebellagen häufig. Bezeichnend für den Nordschwarzwald sind zudem abnehmende Niederschläge von Süd nach Nord (abnehmende Höhenlage in Richtung Kraichgau) und von West nach Ost (Regenschatten auf der Leeseite) Eine ausgesprochen ozeanische Klimatönung schwächt sommerliche und winterliche Temperaturextreme im Gebiet deutlich ab.

Der Sommerniederschlag beträgt in etwa die Hälfte des Jahresniederschlags. Höhere Gebiete sind im Winter über Wochen bis Monate mit Schnee bedeckt. Das Wasseräquivalent der Schneedecke liegt bei 115 bis 138 mm Niederschlag. Entsprechend der Geländehöhe ist die Wasserspeicherung in der Schneedecke im Gebiet Ruhestein höher als im Nordteil des Nationalparks. Sie liegt im Nationalpark mit 582 mm für das Teilgebiet Hoher Ochsenkopf und 553 mm für das Teilgebiet Ruhestein geringfügig über dem Landesdurchschnitt (546 mm), wobei die Verdunstung in den Sommermonaten sehr viel höher ist als im Winterhalbjahr. Im Nationalparkgebiet verdunsten im Jahresmittel nur etwa 30 Prozent des einfallenden Niederschlages, während etwa 70 Prozent zur Grundwasserneubildung beitragen. Verantwortlich ist dafür hauptsächlich das kühle Klima mit allgemein geringeren Temperaturen, einer längeren Dauer der Schneebedeckung und einer kürzeren Vegetationsperiode (Nationalpark Schwarzwald 2021).

2.3 Böden

Die Bodengesellschaften am Gebirgsfuß und in der Gesamtfläche der kristallinen Gesteine weisen keine wesentlichen Unterschiede zum Südschwarzwald auf. Am Westhang kommen die kristallinen Gesteine bis zu einer Höhe von 900 m ü. NHN. vor. Im östlichen Teil meist nur in Tälern unter 500 m ü. NHN. In dem von Buntsandstein als Ausgangsmaterial dominierten Gebiet finden sich drei verschiedene Bodenlandschaften:

Braunerde-Stagnogley Bodenlandschaft auf Oberem Buntsandstein – Hochebene

In diesem Gebiet sind typischerweise Stagnogleye und sandige basenarme Braunerden verbreitet.

Messungen des Bodenwassershaushaltes zeigen, dass es dominante laterale Wasserbewegung gibt, die sowohl Sesquioxide als auch Basenkationen verlagert. An der unteren Grenze des oberen Buntsandsteins treten daher Ockererden auf, die regelmäßig mit Fe, P und Spurenelementen angereichert sind. Diese Böden weisen aufgrund der Anreicherung von Ferrihydrit andische Eigenschaften auf.

Braunerde-Podsol Bodenlandschaft der Hanglagen – Hänge, Täler und Ebene des mittleren Buntsandsteins

Alle Hänge im mittleren Buntsandstein sind durch podsolierte Böden gekennzeichnet. Im Allgemeinen nehmen die gebleichten E-Horizonte entlang des Hanges hangabwärts in ihrer Mächtigkeit zu. Liegt der gesamte Hang im mittleren Buntsandstein, so haben Ee und Ks eine ähnliche Mächtigkeit von bis zu 1,5 m. Wenn sich auf dem Plateau Reste des oberen Buntsandsteins befinden, nimmt die Podsolierung im oberen Teil des Hangs allmählich zu. Liegt im

unteren Teil des Hanges kristallines Gestein an, so findet sich häufig eine Regradierung zu einer sauren Braunerde innerhalb der periglazialen Schichten des Granits/Gneises. Die Ausbildung eines Bleichhorizontes wird durch niedrige Ton- und Eisengehalte sowie höhere Perkolationsraten begünstigt. Die Sandsteine innerhalb der gebleichten Horizonte enthalten oft noch Hämatit oder sind durch Verbraunung verändert. Die Steine im B-Horizont bleiben unverändert und sind im Allgemeinen nicht mit Eisen angereichert. Die periglazialen Schichten weisen im Allgemeinen einen höheren Schluff- und Tongehalt in den B- und K-Horizonten auf, und dieser ist im Allgemeinen höher als in den oberen und unteren Schichten. Dies ist auf eine gewisse Lössanreicherung während der Periglazialzeit zurückzuführen. Die Humusanreicherung sowie eine Wurzelmatte der Podsole tritt oft oberhalb der Schichtgrenze auf. Der untere Teil des Hanges ist oft auf Grund der landwirtschaftlichen Nutzung bis ins 20. Jahrhundert durch Erosion und Sedimentation verändert.

Bodenlandschaft des mittleren Buntsandsteins – Hochflächen und Westhänge (Grinden)

In der kühlen und perhumiden Landschaft des westlichen Höhenzuges des Nordschwarzwaldes ist in Höhenlagen über 900 m ü. NHN eine einzigartige Eisenbändchen-Bodenlandschaft zu finden. Der diagnostische Horizont (KA6: Kbs, Kbms) (Eisenbänder) ist 2–8 mm dick, oft in 2–3 einzelne Bänder unterteilt und hat eine dunkelrotbraune Farbe (10 R 3/6). Oft sind die Bänder sehr hart und brüchig (KA6: Kbms). Die Grenze ist auf beiden Seiten abrupt, aber oft gibt es eine diffuse goethitische Grenze auf der unteren Seite und einen lepidokrokitischen Übergang auf der oberen Seite. Befinden sich die Bänder in einem C-Horizont, können beide Seiten diffus und braun sein. Oberhalb der Bänder befindet sich oft eine dichte Matte aus Feinwurzeln. Die Oberfläche der Eisenbändchen ist stets in zwei Amplitudenstufen gewellt. Die Bänder folgen nicht dem Mikrorelief der eigentlichen Geländeoberfläche und sind in allen Mineralhorizonten mit Ausnahme der A-Horizonte zu finden.

Das Auftreten der Eisenbändchen ist relativ unabhängig von der eigentlichen Bodengenese. Daher können verschiedene Böden mit Eisenbändchen unterschieden werden. Der verbreitetste Bodentyp ist der Bändchenpodsol, der einen Kh-Horizont oberhalb und einen Ks-Horizont unterhalb der Eisenbänder (KA6: Kbms) aufweist. Er kommt auf Hängen und Kuppen vor. Auf Hochebenen und in flachen Hanglagen kann ein Bändchen-Stagnogley (nach KA 6 Podsol-Stagnogley mit Sd-Kbms-Horizont) beobachtet werden, der einen tiefen, nassen, gebleichten Sew-Horizont und keine Eisenanreicherung unterhalb der Bänder aufweist. Diese Stagnogleye können einen torfigen Oberboden aufweisen. An den niedrigeren Hängen finden sich häufig Böden mit unterschiedlichen Horizontkombinationen, sind jedoch immer mit Hangwassergleyen vergesellschaftet. Diese Böden weisen ebenfalls eine oder mehrere Eisenbändchen auf. Auch Manganoxide sind hier oft angereichert, allerdings nicht als Bändchen. Diese Böden werden als Bändchen-Hanggley bezeichnet. Eisenbändchen treten auch in einem eisenangereicherten Hanggley mit einem durchgehenden Oxidationshorizont (Ockererde) auf (Stahr 1973).

Nach der Bodengliederung der KA 6 fällt ein Teil dieser Böden als Ockerrheosole in die neue Bodenklasse der Rheosole in der Unterabteilung der Stau-, Haft- oder hangwassergeprägten Böden. Ob auch vorkommende Eisenbänder bei diesen Böden als Kbms definiert werden, ist bisher nicht beschrieben.

2.4 Vegetation und Landnutzung

Die großen klimatischen Unterschiede zwischen den Bergregionen und der Oberrheinebene spiegeln sich in der Vegetation, der Landnutzungsgeschichte und der heutigen Landnutzung wider. Aufgrund des günstigen Klimas und der fruchtbaren Böden wurden die lössbedeckten Flächen im Oberrheingraben bereits im Neolithikum kultiviert. Dagegen sind die feuchten Niederungen und die Gebirge von Vogesen und Schwarzwald mit dominierenden Laub- und Mischwäldern noch ohne menschlichen Einfluss auf die Vegetationsdecke in der Jungsteinzeit. Während der Eisenzeit erreichten die menschlichen Aktivitäten auch die Wälder der Moorgebiete. Die wachsende Bevölkerung hatte einen hohen Bedarf an Brennholz und Baumaterial. Die Wälder wurden gerodet, um landwirtschaftliche Flächen zu gewinnen. In den Tälern des Südschwarzwaldes wurden in den Flusssedimenten Schlacken und Scherben der Latène-Kultur gefunden, die auf frühen Bergbau in dieser Zeit hinweisen. Dadurch wurden die Böden an den Hängen erodiert. An den unteren konkaven Hängen und in den angrenzenden Auen wurden kolluviale Schichten und Schwemmsedimente abgelagert.

In der Römerzeit setzten sich diese Entwicklungen mit einer Ausweitung der Siedlungen und dem Aufbau einer systematischen Infrastruktur fort. Wichtige Straßen verliefen entlang des Vorgebirges auf beiden Seiten des Rheins. Es bestanden auch Querverbindungen zu den Siedlungen am Rhein und jenseits des Schwarzwaldes. Vermutlich importierten die Römer den Weinbau und führten den Obstbaumanbau ein, der das heutige Landschaftsbild prägt. Viele dieser Errungenschaften verschwanden nach dem Rückzug der Römer. Pollendiagramme aus dem Schwarzwald und dem Oberrheintal zeigen einen Rückgang des Getreideanbaus und eine Ausdehnung von Wiesen, Weiden und Wäldern. Wahrscheinlich besteht ein Zusammenhang mit einer Klimaverschlechterung und der Abwanderung der Menschen.

Mit der alemannischen Landerwerbsphase begann im frühen Mittelalter eine Periode, in der die Siedlungsflächen wieder erweitert wurden. Landwirtschaft, Bergbau und Holznutzung zur Herstellung von Glas und Holzkohle setzten sich durch. Waldrodungen, die früher als Weideflächen oder zur Streugewinnung genutzt wurden, endeten mit der regulären Forstwirtschaft im 19. Jahrhundert. Aufforstungen mit der schnell wachsenden Fichte wurden forciert. Das Grünland im Gebirge wurde für die Milchwirtschaft genutzt. Im Tiefland gibt es nur noch in Gebieten mit extremen Standortbedingungen wie den feuchten Auen von Ill, Elz und Schutter oder am Rhein südlich von Breisach ausgedehnte Wälder und Grünlandflächen.

Hochmoore im Grindenschwarzwald

Der Nordschwarzwald bietet mit seinen niederschlagsreichen und kühlen Hochlagen günstige Voraussetzungen für die Entstehung von Mooren. Moore sind im bodenkundlichen Sinne Böden aus Torf mit ≥ 15 Masse-% organischem Kohlenstoff und einer Mindestmächtigkeit von 30 cm. Im Buntsandstein-Schwarzwald nehmen Moore eine Fläche von 6,7 km² ein. Die ombrogenen, also vom Regenwasser gespeisten und sehr nährstoffarmen Hochmoore sind dabei in Flachlagen und Mulden der waldfreien Grinden-Hochflächen (Abb. 2) zu finden. Grinde stammt vom mittelhochdeutschen „Grint“.



Abb. 2: Stufenrand des Buntsandsteins im Grindenschwarzwald – Panoramablick vom Hochplateau der Hornisgrinde in östliche Richtung)

Im Schwäbischen ist „Grind“ ein eher derber Ausdruck für „Kopf“ oder für den „Schorf“ auf dem Kopf. Die Hochflächen werden größtenteils von der Geröllsandstein-Subformation, vom Kristallsandstein und randlich auch vom Badischen Bausandstein gebildet, während der Obere Buntsandstein fast überall abgetragen ist. Die Täler haben sich bis in das unterlagernde Kristallingestein eingeschnitten. Der von den westlichen Nebenflüssen der Murg zertalte Bereich ist besonders stark in einzelne Bergrücken und Hochplateaus aufgelöst. An der Traufkante im Westen befindet sich der höchste Gipfel des Nordschwarzwalds, die Hornisgrinde (1164 m ü. NHN) (LGRB Wissen 2024).

Die Randbereiche der Moore auf der Hornisgrinde wurden seit dem Mittelalter als Weide genutzt und regelmäßig brandgerodet. Im 19. Jahrhundert wurden Entwässerungsgräben gezogen, sowie Torf als Brennmaterial und Streu abgebaut. In den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde die Hornisgrinde als Start- und Landeplatz für Segelflieger genutzt und während des dritten Reiches von der Wehrmacht als Fliegerstützpunkt und nach Ende des Krieges 1945 durch das französische Militär übernommen. Bis in die 1990er Jahre blieben Gipfel und Randbereiche der Hornisgrinde in militärischer Nutzung und für die Öffentlichkeit unzugängliches militärisches Sperrgebiet. Entwässerungsgräben wurden angelegt und für den Bau von Wegen und Bunkeranlagen auch Torf entfernt (von Sengebusch 2010).

2.5 Nationalpark Schwarzwald

Erste Diskussionen um ein Großschutzgebiet im Nordschwarzwald gab es schon 1990. Mit dem „Gesetz zur Errichtung des Nationalparks Schwarzwald“ (Nationalparkgesetz-NLPG) entstand am 1.1.2024 der bisher einzige Nationalpark in Baden-Württemberg.

Der Nationalpark hat zwei Schutzzwecke: Prozessschutz sowie Biotop- und Artenschutz. Zum einen „das Wirken der natürlichen Umweltkräfte und die Dynamik der Lebensgemeinschaften weitestgehend frei von Eingriffen durch den Menschen zu gewährleisten (Prozessschutz) (NLPG §3(1)) oder nach dem Motto der deutschen Nationalparke „Natur Natur sein lassen“. Zum anderen die Erhaltung und Entwicklung naturnaher Ökosysteme mit ihrem Reichtum

an heimischen Arten. Konkret ist das der für den Nordschwarzwald typische Bergmischwald, Moore, Kare und kleinflächigere Sonderstandorte und die vom Menschen geschaffenen Hochweiden (Grinden), sowie Arten im Anhang II der EU Flora Fauna Habitat- und Vogelschutzrichtlinie. Die Nationalparkverwaltung hat die Aufgabe, die natürliche Dynamik und ökosystemare Abläufe zu monitoren und zu erforschen, dies schließt die Koordination externer Forschung ein. Weiterhin dient der Nationalpark der Umweltbildung und Erholung. Unter Gewährleistung der Schutzziele kann der Nationalpark zur Entwicklung des Umfelds (Bsp. Tourismus, Verkehrskonzept) beitragen.

Die Nationalparkfläche muss, um den Kriterien der Internationalen Union zum Schutz der Natur (IUCN) für Schutzgebiete der Kategorie II zu entsprechen, mindestens 10.000 ha umfassen. Die Fläche des Nationalparks beträgt 10.062 ha. Der Nationalpark Schwarzwald wurde als Entwicklungsnationalpark etabliert, d.h. ein weiteres IUCN-Kriterum, wonach 75% der Fläche unter Prozessschutz stehen. Dieses Ziel muss 30 Jahre nach Gründung erreicht werden.

Vor der Einrichtung des Schutzgebiets wurde die zweigeteilte Fläche unterschiedlich genutzt. Der Großteil der Fläche war Wirtschaftswald, aber auch Bannwälder und Naturschutzgebiete gingen im Nationalpark auf. Um die verschieden Schutzzwecke und Aufgaben zu erfüllen und die vorherige Nutzungsintensität einzubeziehen, wurde die Fläche in drei Zonen unterschiedlicher Funktion unterteilt: Kern-, Entwicklungs- und Managementzone (Abb. 3). Die erste Gebietsgliederung 2014 erfolgte mit einem großangelegten Beteiligungsprozess der Öffentlichkeit.

Kernzonen sind Flächen mit natürlicher Entwicklung weitgehend frei von menschlichen Eingriffen, die eigentlichen Prozessschutzflächen. Im Nordteil liegt in der Kernzone das Gebiet um den ehemaligen Bannwald Hoher Ochsenkopf und die Waldfläche der Stadt Baden-Baden. Im Südteil ging der älteste Bannwald Baden-Württembergs, der Wilde See (seit 1911 unter Schutz) neben anderen bereits naturnäheren Flächen in der Kernzone auf. Aktuell liegen 51,2% der Nationalparkfläche, 5.156 ha, in der Kernzone.

Die Flächen der Entwicklungszone (derzeit 2.137 ha, 21,2%) gehen spätestens nach 30 Jahren in die Kernzone über. Bis dahin können dort unter anderem Naturschutzmaßnahmen umgesetzt werden, z.B. Habitatpflegemaßnahmen für gefährdete Arten wie das Auerhuhn.

Auf einem Viertel der Nationalparkfläche, in der Managementzone, sind dauerhaft Eingriffe durch den Menschen möglich, vor allem zum Zweck des Biotop- und Artenschutzes. So liegen in dieser Zone die für den Nordschwarzwald typischen Grinden, die als FFH Lebensraumtyp Trockene Heiden mithilfe von Beweidung, offengehalten werden. Zur Offenhaltung werden traditionell Schafe und Hinterwälder Rinder genutzt, zunehmend auch Konik-Pferde und Heckrinder. Die Managementzonen umfassen einen mindestens 500 Meter breiten Pufferstreifen zu dem angrenzenden Kommunal- und Privatwald. In diesem Bereich findet intensives Borkenkäfermonitoring und gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen durch die Nationalparkverwaltung statt.

Voraussichtlich wird sich der Flächenzuschnitt bis Ende 2025 ändern. Derzeit laufen Abstimmungen und Beteiligungsprozesse zum „Lückenschluss“ zwischen den beiden Nationalparkteilen.

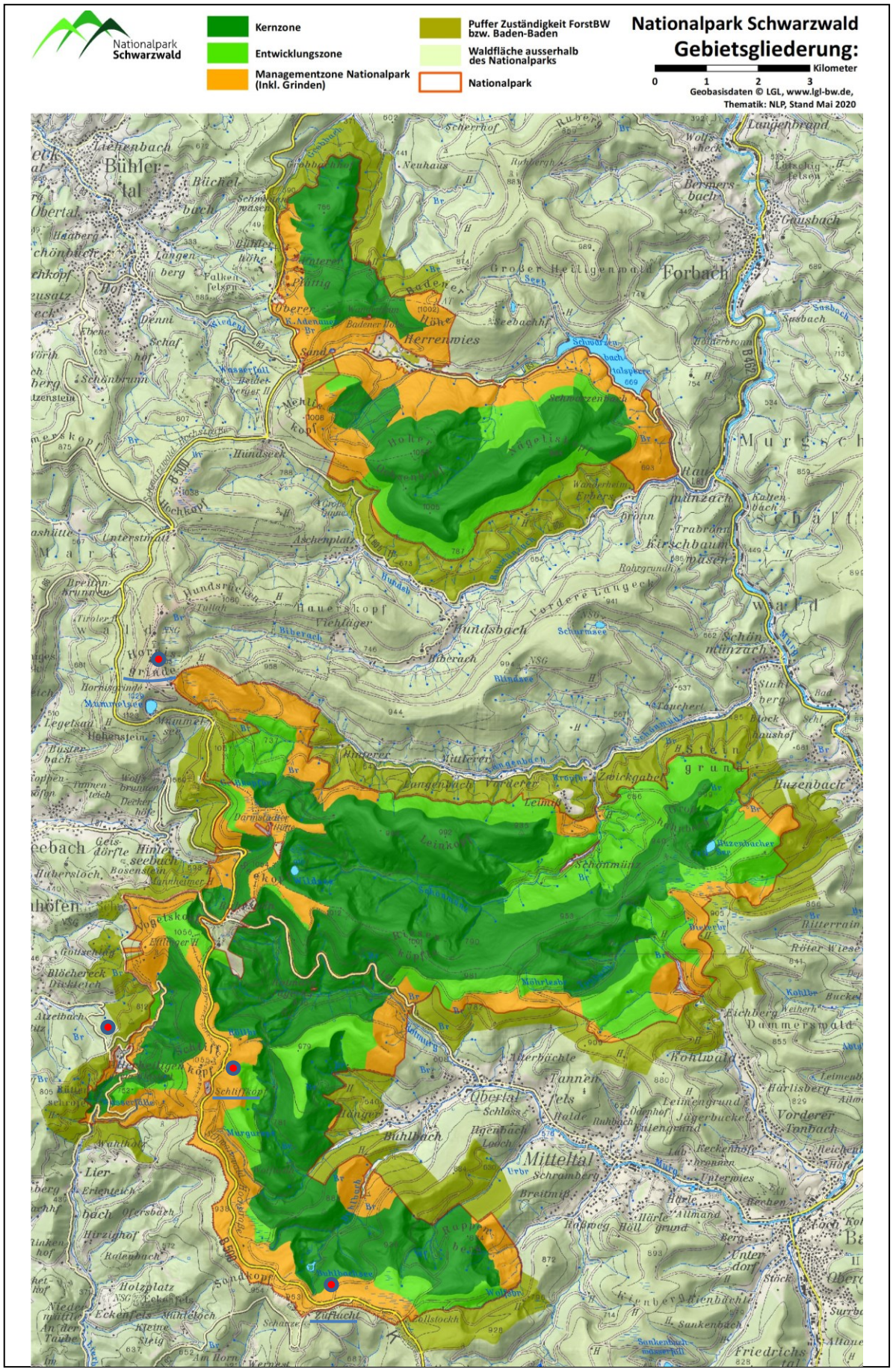


Abb. 3: Nationalpark Schwarzwald – Karte mit Gebietsgliederung (● Exkursionsprofile)

2.6 Weiterentwicklung der systematischen Humusformengliederung

Die Arbeitsgruppe Humusformen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft und die Arbeitsgruppe Boden im Arbeitskreis Forstliche Standortskartierung haben die systematische Gliederung der Humusformen seit 1992 weiterentwickelt (Tabelle 2.6.1). Die aktuelle Gliederung ist auf den Webseiten der AG (www.humusformen.de und www.humus-forms.eu) sowie in der KA 6 veröffentlicht.

Die Umwandlung der Streu zu Humus ist ein bodenbildender überwiegend biologischer Prozess:

Zerkleinerung+Humifizierung+Mineralisierung.

Mit einem morphogenetischen Ansatz betrachten wir die Merkmale der Streu und des Oberbodens als Resultat bodenbildender Prozesse. Durch diesen systematischen Ansatz unterscheidet sich die Systematik der Humusformen von einer rein nach Merkmalen gegliederten Klassifikation.

- Eine Humusformen-Systematik ist eine wissenschaftliche Gliederung des Humus in der Streuauflage und im Oberboden in definierte Einheiten. Die pedogenetisch angelegte Systematik der Humusformen als Teilbereich der Bodensystematik verwendet dazu Merkmale der Böden als Resultat der bodenbildenden Prozesse und Faktoren. Die morphologischen Bodenmerkmale werden dazu definiert und klassifiziert.

- Dabei wird die Vielfalt der Humus-Erscheinungsformen nach definierten Kriterien in eine überschaubare hierarchische Form gebracht. Die Vielfalt dieser Erscheinungsformen und ihre Beziehung zueinander wird damit nachvollziehbar.

- Im Mittelpunkt stehen sowohl die umfassende Beschreibung einzelner morphologischer Merkmale als auch die Beziehungen zwischen den Merkmalen. Das erleichtert die Identifizierung und Einordnung von neu beschriebenen Merkmalen und ihren Bildungsfaktoren in eine bestehende Systematik. Lücken, Widersprüche und Überschneidungen können erkannt werden.

Die hierarchische Gliederung der Horizonte nach Haupthorizont, Horizont, Übergangshorizont, Abweichungshorizont und Verzahnungshorizont wurde aktualisiert, eindeutiger definiert und ergänzt. Die pedogenen Prozesse der Streuzerkleinerung, der Torfbildung, der Humifizierung und der Mineralisierung führen nun zu eindeutigen O-, H- und A-Horizonten, die nach makroskopisch erkennbaren Horizontmerkmalen definiert sind. Die neu eingeführten U-Horizonte (organische subhydrische Humusbildungen) sind bisher nicht ausreichend beschrieben. Die Of- und die Oh-Horizonte sowie der neu definierte Torfbildungshorizont wurden weiter untergliedert. Diagnostische Horizonte und Horizontfolgen führen nun zu eindeutig definierten Humusformen. Der pedogene Prozess der Torfbildung führt je nach Streuart und kumulativer Dauer der Belüftungsphasen zu unterschiedlichen Moorhumusformen, die nach dem Grad der Humifizierung und dem C/N-Verhältnis gegliedert werden.

Während bisher die Humusformen lediglich nach dem Wassereinfluss grob hierarchisch differenziert wurden, liegt nun eine klare Gliederung in Abteilungen, Ordnungen, Typen und Subtypen vor. Varietäten können zusätzlich gebildet werden. Durch zusätzliche Übergangssubtypen zwischen L-Mull und F-Mull, zwischen F-Mull und Moder sowie zwischen Moder und Rohhumus können Übergänge zwischen Humusformentypen jetzt besser gekennzeichnet werden.

Eine Reihe humusformenspezifischer Merkmale wurde neu in die Kartieranleitung aufgenommen. Dies ermöglicht eine wesentlich bessere Humusformenbeschreibung als bisher.

Hierzu gehören:

- Schärfe der Horizontgrenzen bei Auflagehorizonten
- Lagerungsform und Gefüge von O-Horizonten
- Merkmale der Nadel- und Laubblattreste von Ol- und Of-Horizonten
- Flächenanteil und Verteilung von Pilzmycel
- Bestimmung des Humifizierungsgrades nicht veränderter Torfe
- Flächenanteil und Verteilung von Pilzmycel in O- und H-Horizonten
- Streuart des Auflagehumus
- Grundnässe-, Staunässe- und Haftnässestufen
- Streuzersetzbarkeit verschiedener Baumarten
- Einteilung des C/N-Verhältnisses (Werte in organischen Auflage- und Mineralbodenhorizonten)
- Trophiestufen natürlicher Moore (C/N-Werteklassen)
- Kurzzeichen und Gliederung der Humusformen (siehe Tabelle zur Gliederung der Humusformen, blau dargestellte Humusformen wurden neu definiert/eingeführt).

Tab. 1: Gliederung der Humusformen nach KA6, in blau neu eingeführte Humusformen

Kurzz	*Abt.	Kl	Typ	Subtyp
	Aero- und Aero-Hydromorphe Humusfor-			
M		Mull-Humusformen		
ML			L-Mull	
MLA				A-Mull
MLT				Typischer L-Mull
MLR				Rhizo-L-Mull
MLF				Feucht-L-Mull
MF			F-Mull	
MFL				Feinhumusarmer F-
MFT				Typischer F-Mull
MFR				Rhizo-F-Mull
MFM				Moderartiger F-Mull
MFF				Feucht-F-Mull
A		Auflage-Humusformen		
AM			Moder	
AMM				Mullartiger Moder
AMT				Typischer Moder
AMR				Rhizo-Moder
AMP				Pechmoder
AMA				Tangel
AMF				Feucht-Moder
AR			Rohhumus	
ARM				Moderartiger Rohhu-
ART				Typischer Rohhumus
ARF				Feucht-Rohhumus
I		Initial-Humusformen		
IM			Initial-Mull	
IA			Initial-Auflagehumus	
X		Hagerhumus- und Streunutzungs-Humusformen		
XH			Hager-Humus	
XR			F-Rohhumus	
	Hydromorphe Humusformen			
O		Anmoor		
OA			Anmoor	
H		Humusformen Natürlicher Moore		
HF			F-Moor	
HFM				Mesotrophes F-Moor
HFO				Oligotrophes F-Moor
HFD				Dystrophes F-Moor
HM			M-Moor	
HME				Eutrophes M-Moor
HMM				Mesotrophes M-Moor
HMO				Oligotrophes M-Moor
HH			H-Moor	
HP				Polytrophes H-Moor
HHE				Eutrophes H-Moor
HHM				Mesotrophes H-Moor

*Abt : Abteilung, Kl: Klasse

3 Beschreibung der Standorte und Bodenprofile

3.1 Profil 1: Achern / Fautenbach



Abb. 4: P.1.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Tab. 2: P.1.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Löss
Relief:	Lösswand
Landnutzung:	Streuobstwiese
Vegetation:	Steinobst, Wiese, Weide
Höhenlage:	165 m ü. NHN
JMT[1]:	11,0 °C
N[1]:	1021 mm

[1] JMT: Jahresmitteltemperatur; N: mittlere jährliche Niederschlagssumme, jeweils 1991-2020

Profilbeschreibung

Das Ausgangssubstrat ist ein pleistozänes äolisches Sediment – Löss, der an diesem Standort durch primär hohe Schluff- (85%) und Kalkgehalte (ca. 25%) gekennzeichnet ist. In Hanglage mit potentieller Erosion finden wir junge Bodenbildungen, die sich durch Humusakkumulation und schwache Entkalkung im Oberboden auszeichnen. Im unteren Teil des aufgeschlossenen Lösspakets zeichnet sich eine Paläobodenbildung ab (Abb. 4), die eine intensivere braune Farbe aufweist (siehe auch Fe_d-Wert) und Tonkutane aufweist, also einen fossilen Bt-Horizont darstellt (KA 6: Kt). Darunter finden wir Lösskindel als typische Kalkkonkretionen. Der unterlagernde Löss weist eine höhere Lagerungsdichte und kohärente Struktur auf, welche die Durchwurzelung behindern, daher ist der Standort nur als mittelgründig anzusprechen.

Unter den gegebenen Klimabedingungen (Abb. 5) ist er also als mäßig trockener Standort anzusprechen, der sich im Frühjahr rasch erwärmt. Die Basenversorgung ist sehr gut. Bei neutralem pH und hohem Carbonatanteil ist insbesondere Phosphor limitierend.

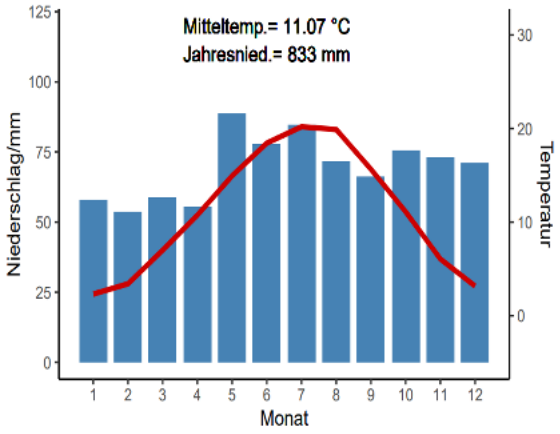


Abb. 5: Rheinau-Memprechtshofen, 1991–2020 (Meteostat)

Tab. 3: P.1.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont		Boden	ρ_t	Steine	Gefüge	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	-art	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	-form	[%]	[%]	H V/C
0–15	Ax	Axh	Ut3	0,81	2	kru	3,9	23,1	10YR 3/2
–35	Ah-elCv	Ah/elCv	Ut3	1,12	2	kru-sub	1,9	28,3	10YR 5/4
>100	elCv	elCv	Ut3	1,5	6	koh	0,5	27,6	10YR 6/4
0–440	fKt	fBt	Ut3	nb	1	nb	0,2	0	10YR 3/2

Humusform – KA6: nb – KA5: nb

Bodentyp – KA6: Lockerpararendzina, sehr schwach alkalisch, basengesättigt

– KA5: Norm-Pararendzina

– WRB: Hypereutric Calcaric Regosol (Pantosiltic, Protocalcic, Humic)

Bodenanalysen

Tab. 4: P.1.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0–15							13	84	2	Ut3
–35							13	84	2	Ut3
>100							11	85	4	Ut3
0–440							13	82	5	Ut3

Tab. 5: P.1.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
0–15	0,81	49	3	46	30	16
–35	1,12	53	12	41	31	10
>100	1,5	53	10	43	34	9
0–440	nb	nb	nb	nb	nb	nb

Tab. 6: P.1.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	P_v	P_{la}	K_{la}
[cm]	H_2O	$CaCl_2$	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]	[g g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0–15		7,5		19,5	23,2		1,8	10,6	778	14	129
–35		7,6		9,5	20,9		0,7	11,0	661	5	47
>100		7,7		2,5	22,9		0,4	5,6	634	1	11
0–440		7,5		1,0	nb		0,2	6,5	279	11	16

Tab. 7: P.1.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{pot}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–15	197	100								
–35	132	100								
>100	85	100								
0–440	138	100								

Tab. 8: P.1.7: Bodenchemische Eigenschaften III — Oxide und Tonminerale

Tiefe	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_d	Fe_o/Fe_d	Kaol.	Illit	WL	Smec.	chl. Smec.	Chlorit
[cm]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]		[% T]	[% T]	[% T]	[% T]	[% T]	[% T]
0–15	0,62	6,2	0,44	nb	0,10	15	23	25	23	12	2
–35	0,48	6,0	0,35	nb	0,08	12	19	25	25	17	2
>100	0,67	6,1	0,31	nb	0,11	12	17	27	26	15	3
0–440	1,94	8,8	0,65	nb	0,22	8	11	26	10	45	0

Vegetation

Natürliche Vegetation: Buchenwald mit Maiglöckchen.

Gerodeter Standort: Holunder (*Sambucus nigra*).

Standortaussage: frischer und gut durchlüfteter Standort.

Tab. 9: P.1.8

	Ort	Achern
	Boden	Lockerpararendzina
	Datum	23.05.2001
	Exposition	Süd
	Flächengröße [m²]	30
	Höhe m ü. NHN	150
Strauchschicht	Deckung [%]	70
	Höhe [m]	5
Krautschicht	Deckung [%]	40
	Höhe [m]	0,8
Strauchschicht	*Sambucus nigra*	3
	Ulmus minor	3
	Cornus sanguinea	1p
	Crataegus spec.	1p
	Prunus cerasus	1p
Krautschicht	*Urtica dioica*	3
	Bryonia dioica	1p
	Stachys sylvatica	1p
	Brachypodium sylvatica	
	Poa nemoralis	

Z.1. Unterwasser (Schwarzwald)



Abb. 6: Z.1.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Tab. 10: Z.1.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Granit
Relief:	Mittelhang
Landnutzung:	Bauernwald
Vegetation:	Mischwald
Höhenlage:	530 m ü. NHN
JMT:	9,0 °C
N:	1601 mm

Profilbeschreibung

Der Ranker befindet sich in erosionsanfälliger Lage (Abb. 6). Er ist flachgründig und weist einen hohen Skelett- und Sandanteil auf. Typisch für diese junge Bodenbildung ist die hohe Konzentration an organischer Substanz, die im Wesentlichen durch verminderten Abbau während Trockenphasen erklärt werden kann, denn die Feldkapazität ist sehr gering. In unseren Landschaften sind Ranker relativ selten, da die meisten Standorte eine pleistozäne Vorverwitterung (insbesondere Frostsprengung) aufweisen und damit im Holozän die Bodenbildung rascher fortschreiten konnte. So sind Ranker auf erosionsanfällige Lagen beschränkt. Aufgrund der Flachgründigkeit ist der Standort windwurfgefährdet. Er erwärmt sich rasch und hat eine geringe nFK. Der Nährstoffvorrat für N, P, K ist erhöht. Die aktuell verfügbaren Mengen sind aber insbesondere für die Basen beschränkt.

Tab. 11: Z.1.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont		Boden	ρ_t	Steine	Gefüge	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	-art	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	-form	[%]	[%]	H V/C
0–25	Ah	Ah	Sl3	1,37	39	sub	15	0	7,5YR 1,7/1
>25	imC	imC							

Humusform – KA6: nb – KA5: nb

Bodentyp – KA6: Felsranker

– KA5: Normranker, sehr stark sauer, basenarm,

– WRB: Dystric Umbric Leptosol (Humic)

Bodenanalysen

Tab. 12: Z.1.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0–25							12	20	68	Sl3
>25										

Tab. 13: Z.1.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
0–25	1,37	61	14	47	35	12
>25						

Tab. 14: Z.1.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe [cm]	pH H_2O	pH $CaCl_2$	EL [mS cm^{-1}]	C_{org} [mg g^{-1}]	C_{org} Vorrat [t ha^{-1}]	C_{anorg} [mg g^{-1}]	N_t [mg g^{-1}]	C/N [g g^{-1}]	P_v [µg g^{-1}]	P_{la} [µg g^{-1}]	K_{la} [µg g^{-1}]
0–25		3,2		75,0	156,7	0	4,7	15,8	0,99	103	69
>25											

Tab. 15: Z.1.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	KAK_{pot} [$mmol_c$ kg^{-1}]	BS [%]	Sättigung % der KAK_{eff}							
			Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–25	353	5								
>25										

Tab.16: Z.1.7: Bodenchemische Eigenschaften III — Oxide und Tonminerale

Tiefe [cm]	Fe_o [g kg^{-1}]	Fe_d [g kg^{-1}]	Al_o [g kg^{-1}]	Mn_d [g kg^{-1}]	Fe_o/Fe_d	Kaol. [% T]	Illit [% T]	WL [% T]	Smec. [% T]	chl. Smec. [% T]	Chlorit [% T]
0–25	1,5	6,1	2,49	nb	0,25	21	11	28	14	25	1
>25											

Vegetation

Pflanzenaufnahme: Windwurffläche

Tab. 17: Z.1.8

	Ort	Unterwasser
	Boden	Felsranker
	Datum	23.05.2001
	Exposition	SW
	Flächengröße [m²]	6
	Höhe m ü. NHN	530
Strauchschicht	Deckung [%]	10
	Höhe [m]	0,2
Krautschicht	Deckung [%]	50
	Höhe [m]	0,2
Strauchschicht	*Castanea sativa*	1p
	Populus tremula	1p
Krautschicht	*Deschampsia flexuosa*	3
	Luzula luzuloides	2a
	Cytisus scoparius	1p
	Digitalis purpurea	1p
	Moehringia trinervia	1p
	Rosa canina	R

3.2 Profil 2: Schwarzwald St Ursula



Abb. 7: P.2.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Tab. 18: P.2.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Granitfließerde
Relief:	Oberhang
Landnutzung:	Hochwald
Vegetation:	Fichte, Heidelbeeren
Höhenlage:	710 m ü. NHN
JMT:	7,9 °C
N:	1743 mm

Profilbeschreibung

Dieser Boden ist aus vorverwittertem und am Hang umgelagerten Ausgangsmaterial entstanden (Abb. 7). Verbraunung ist der prominente Prozess, gut nachvollziehbar an den Fe_d-Werten. Die erhöhten Fe_d-Konzentrationen im Untergrund sind ein Hinweis auf die Vorverwitterung. Der Fe-Aktivitätskoeffizient weist bedingt durch die Anwesenheit der organischen Substanz eine erhöhte Aktivität in den Ah-Horizonten auf.

Trotz der Umlagerung des Ausgangsmaterials weist die Körnung der Feinerde eine große Homogenität mit Dominanz des Sandanteils auf. Klare Gradienten weisen die Lagerungsdichte und die Humuskonzentrationen auf. Trotz der Tiefgründigkeit ist durch den Skelettanteil ein Durchwurzelungshindernis gegeben. Der Skelettanteil reduziert auch die nFK. Dies ist aber bei den gegebenen klimatischen Bedingungen nicht relevant (hoher Niederschlag, niedrige Temperatur; Abb. 8). Niedriger pH und niedrige Basensättigung bedingen Nährstoffimbalance.

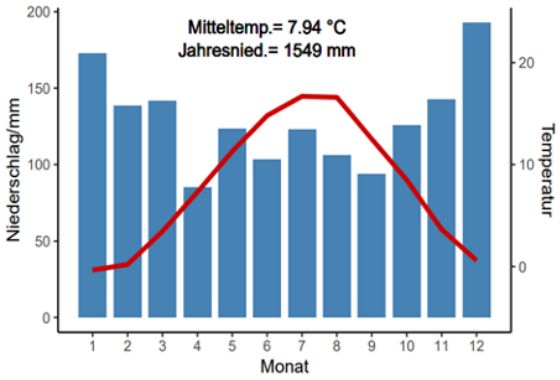


Abb. 8: Klima Freudenstadt 1991–2020 (Meteostat)

Tab. 19: P.2.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont		Boden	ρ_t	Steine	Gefüge	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	-art	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	-form	[%]	[%]	H V/C
0–3	siehe Humusform KA6	(Oh)Aeh	Sl3	0,78	39	sub	13,6	0	7,5YR 2,5/1
–13	Ee-Ah	A(e)h	Sl4	1,06	43	sub	7,4	0	7,5YR 3/3
–33	Ah-Bv	AhBv	Sl4	0,96	44	sub	5,0	0	7,5YR 3/4
–55	Bv1	Bv1	Sl4	1,19	38	subp	2,4	0	7,5YR 4/6
–85	Bv2	Bv2	Sl4	1,25	31	sub	1,0	0	7,5YR 4/6
–115	Bv3	Bv3	Sl4	1,37	36	sub-koh	0,7	0	7,5YR 4/6
–117r	Bv4	Bv4	Sl4	1,44	64	sub-koh	0,9	0	7,5YR 4/6
–170l	ilCv	Cv	Su2	1,39	69	koh	0,3	0	7,5YR 4/6

Humusform – KA6: Moderartiger Rohhumus (Ol(0,5)-Olf(0,5)-Ohf(1)-Okh(3,5) – KA5: Typischer Moder

Bodentyp – KA6: schwach podsolige Normbraunerde

– KA5: schwach podsolige Norm-Braunerde, tiefgründig, stark sauer, basenarm

– WRB: Dystric Cambisol (Pantoloamic, Humic, Nechic)

Bodenanalysen

Tab. 20: P.2.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0–3							12	17	71	Sl3
–13							15	18	67	Sl4
–33							17	21	62	Sl4
–55							16	21	63	Sl4
–85							16	21	63	Sl4
–115							16	22	62	Sl4
–170r							15	20	65	Sl4
–170l							4	17	79	Su2

Tab. 21: P.2.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
0–3	0,78	68	25	43	36	7
–13	1,06	58	23	35	26	9
–33	0,96	63	23	40	29	11
–55	1,19	55	21	34	23	11
–85	1,25	53	14	39	28	11
–115	1,37	48	10	38	27	11
–170r	1,44	n.b	n.b	n.b	n.b	10
–170l	1,39	n.b	n.b	n.b	n.b	3

Tab. 22: P.2.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	P_v	P_{la}	K_{la}
[cm]	H_2O	$CaCl_2$	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]	[g g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
0–3		2,6		68	9,7		4,0	17	0,38	26	102
–13		3,1		37	22,4		1,5	24	0,27	7	28
–33		3,7		25	26,9		1,2	20	0,38	17	17
–55		4,1		12	19,5		0,9	14	0,48	24	9,2
–85		4,3		5	12,9		0,6	8	0,31	11	3,6
–115		4,1		3,5	9,2		0,6	6	0,26	9	5,0
–170r		4,0		4,5	0,5		0,4	11	0,27	8	7,1
–170l		4,0		1,5	3,4		0,1	12	0,18	20	5,6

Tab. 23: P.2.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{pot}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[mmol$_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–3	115	16,5								
–13	118	4,2								
–33	65	7,7								
–55	30	3,3								
–85	16	6,3								
–115	21	0								
–170r	28	0								
–170l	30	3,3								

Tab. 24: P.2.7: Bodenchemische Eigenschaften III — Oxide und Tonminerale

Tiefe	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_d	Fe_o/Fe_d	Kaol.	Illit	WL	Smec.	chl. Smec.	Chlorit
[cm]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]		[% T]	[% T]	[% T]	[% T]	[% T]	[% T]
0–3	0,80	4,0	n.b	0,01	0,20	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–13	1,80	5,8	n.b	0,07	0,31	30	4	10	46	10	0
–33	2,73	7,8	n.b	0,66	0,35	32	6	18	12	32	0
–55	2,00	7,4	n.b	0,95	0,27	34	7	22	1	35	1
–85	1,92	7,4	n.b	1,18	0,26	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–115	1,31	6,9	n.b	0,75	0,19	36	7	26	2	27	2
–170r	1,55	7,4	n.b	0,82	0,21	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–170l	0,51	4,7	n.b	0,39	0,11	30	10	13	47	0	0

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Abieto-Fagetum luzuletosum (Tannen-Buchen-Wald mit Hainsimsenausbildung), Fichtenforst.

Weitere Bäume: Eiche (*Quercus spec.*), Birke (*Betula spec.*), Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*).

Krautige Pflanzen: Hainsimse (*Luzula luzuloides*), Schlängelige Schmiele (*Deschampsia flexuosa*), Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Besenheide (*Calluna vulgaris*), Rippenfarn (*Blechnum spicant*) in höheren Lagen, typischer Fichtenbegleiter, viele Moose z.B. *Polytrichum formosum*. montane Flora: Fuchsgreiskraut (*Senecio fuchsii*) und Roter Fingerhut (*Digitalis purpurea*), Schlagflora bei mehr Licht und Wärme auf sauren Standorten im subozeanisch getönten Klima, bei guter N-Versorgung.

Standortaussage: Säurezeiger und Magerkeitszeiger dominieren, dennoch produktiver Waldstandort. N-Eintrag diskutieren.

3.3 Profil 3: Schliffkopf

Tab. 25: P.3.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Sandstein-Fließerde
Relief:	Oberhang/Kuppe
Landnutzung:	Grinden
Vegetation:	Bergkiefer (*Pinus mugo*)
Höhenlage:	1020 m ü. NHN
JMT:	6,3 °C
N:	1998 mm

Profilbeschreibung

Auf der Hochfläche dominiert der Buntsandstein als Ausgangsmaterial. Der Skelettanteil im Profil (Abb. 9) zeigt, dass es sich auch in diesem Fall um eine Fließerde handelt. Die Sandgehalte sind ähnlich hoch, wie auf den Granitstandorten, die Lagerungsdichte aber bereits im Oberboden höher, was zu Stauwasserphänomenen führt. Niedrige pH-Werte befördern daneben eine Podsolierung. Durch Inhomogenitäten im Ausgangssubstrat sind die Horizontierungen nicht oberflächenparallel, sondern unregelmäßig. Zudem sind an den Grenzen Fe-Bänder ausgeschieden, die extrem hohe Eisenanreicherung (Fe_d) zeigen und die Durchwurzelung hemmen. Alles zusammengenommen, handelt es sich um einen Standort, der sehr nährstoffarm ist und zu Stauwasser neigt. Dies zeigt auch die auftretende Vegetation deutlich.



Abb. 9: P.3.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Tab. 26: P.3.2: Profilbeschreibung und Bodenklassfikation

Tiefe	Horizont		Boden	ρ_t	Steine	Gefüge	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	-art	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	-form	[%]	[%]	H V/C
15–13	Olf	Of	Vbw				81,0	0	7.5YR 3/4
13–11	Ohf						78,0	0	7.5YR 2.5/1
11–6	Obh	Oh					35,5	0	10YR 2/1
6–0	Owsh						37,4	0	10YR 2/1
0–4	Ee-Ah	Ahe	Su2	1,49	13	ein	1,6	0	10YR 3/1
–11	Ah-Ee	Ae	Su2	1,47	8	ein	1,0	0	7.5YR 4/2
–25	II Kh-Srw	IIShrw	Su3	1,52	9	ein	0,3	0	7.5YR 3/2
–65	II Srw	IISrw	Su2	1,51	26	ein	1,9	0	7.5YR 4/4
–66	II Sd-Kbms	IIBbs-Sd		1,48		Hardpan	0,2	0	7.5YR 5/4
–73	II ilCv	IICv	Su2	n.b	30	ein	0,2	0	nb
–100	II liCv	IIIiCv	Su2	1,56	35		0,2	0	10R 4/1

Humusform – KA6: Feucht-Rohhumus (ARF) – KA5 feinhumusreicher Rohhumusartiger Moder (MRR)
Bodentyp – KA6: Podsol-Stagnogley, sehr stark sauer, sehr basenarm
– KA5: Bändchen-Stagnogley
– WRB: Dystric Stagnosol (Endoarenic, Folic, Ochric, Nechic, Raptic, Protospodic)

Bodenanalysen

Tab. 27: P.3.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
10–8							nb	nb	nb	
8–7							nb	nb	nb	
7–5							nb	nb	nb	
5–0							nb	nb	nb	
0–13	17	52	20	7	4	1	1	11	89	Su2
–25	12	49	16	9	7	7	1	22	77	Su2
–47	3	32	37	13	7	6	4	26	71	Su3
–65	2	52	25	13	4	3	3	19	79	Su2
–66							nb	nb	nb	nb
–73	6	59	21	8	4	1	2	12	86	Su2
–100	4	30	39	14	7	1	6	21	73	Su2

Tab. 28: P.3.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
10–8	0,26	nb	nb	nb	nb	nb
8–7						
7–5	0,32	nb	nb	nb	nb	nb
5–0						
0–13	1,49	49	32	17	13	4
–25	1,47	45	11	34	28	6
–47	1,52	44	14	30	25	5
–65	1,51	42	24	18	14	4
–66	1,48	nb	nb	nb	nb	nb
–73	nb	48	17	31	22	9
–100	1,56	42	26	16	13	3

Tab. 29: P.3.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	P_v	P_{la}	K_{la}
[cm]	H_2O	$CaCl_2$	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]	[g g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
10–8	4,2	3,2		427,3	22,2		10,42	41,0	nb	48	nb
8–7	4,81	2,8		414,4	10,8		11,93	34,7			
7–5	3,8	2,9		200,9	12,9		8,16	24,6	nb	56	113
5–0	4,0	2,8		263,7	42,2		9,47	27,8			
0–13	4,1	3,4		8,0	13,5		0,35	23	0,19	2	8
–25	4,1	3,4		5,0	5,4		0,25	20	0,19	2	8
–47	4,0	3,7		1,5	4,6		0,07	20	0,4	< 2	5
–65	4,1	4,0		9,5	19,1		0,26	36,7	0,5	< 2	5
–66	4,3	4,1		1,0	0,1		0,03	33,3	1,1	< 2	5
–73	4,5	4,1		1,0	nb		0,04	25	0,5	< 2	5
–100	4,4	4,0		1,0	2,7		0,07	15	0,5	< 2	nb

Tab. 30: P.3.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
10–8	143,3	60,9	0,5	7,7	40,4	12,3	0,4	5,9	2,6	30,1
8–7	181,6	57,0	0,7	6,3	38,9	11,2	0,8	10,2	0,7	31,3
7–5	124,1	17,2	1,6	3,1	9,2	3,3	2,4	39,7	0,1	40,5
5–0	95,5	6,6	< b.g.	2,0	2,6	1,9	0,8	52,3	0,0	40,2
0–13	134*	4*						4*		1*
–25	134*	4*						19*		1*
–47	89*	5*						16*		1*
–65	55*	3*						10*		1*
–66	130*	3*						12*		0*
–73	37*	10*						17*		0*
–100	43*	8*								

* basiert auf KAK_{pot}

Tab. 31: P.3.7: Bodenchemische Eigenschaften III — Oxide und Tonminerale

Tiefe	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d	Kaol.	WL (I/S)	Illit
[cm]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]		[% T]	[% T]	[% T]
10–8	0,4	nb	0,3	0,08	0,41	nb	nb	nb
8–7	0,7	nb	0,7	0,02				
7–5	1,5	3,0	1,4	0,03	0,52	nb	nb	nb
5–0	1,0	1,6	1,5	0,00	0,64			
0–13	0,0	0,3	0,2	0,00	0,20	30		45
–25	0,1	0,3	0,9	0,00	0,20	30	45	45
–47	0,1	0,3	1,2	0,00	0,20	40	55	55
–65	0,1	0,4	0,5	0,01	0,25	45	50	50
–66	57,6	91,5	1,4	0,04	0,63	nb	nb	nb
–73	0,9	3,6	0,5	0,02	0,25	45	55	55
–100	0,2	6,1	0,6	0,04	0,03	40	60	60

Biomarkeranalysen

Tab. 32: P.3.8: Aromatische Biomarker im Boden

Tiefe	V	S	C	VSC	LPVI*	Black C	Black C	B_3CA/	B_5CA/
[cm]	[$g\ kg^{-1}\ C$]	[$g\ kg^{-1}\ C$]	[$g\ kg^{-1}\ C$]	[$g\ kg^{-1}$]		[$g\ C_{bc}\ kg^{-1}$]	[$g\ C_{bc}\ kg^{-1}\ C$]	B_6CA	B_6CA
10–8	61,75	10,74	18,34	33,43	29,3	3,57	8,26	9,463	17,568
8–7	59,11	10,14	17,23	30,71	27,9	4,32	10,44	4,329	10,245
7–5	116,88	27,04	38,85	26,41	52,0	2,39	13,67	2,157	5,639
5–0	3,72	1,60	6,39	3,92	808,5	13,40	35,97	0,453	1,959

* Lignin Phenol Vegetation Index (Tareq et al., 2004): Nadelholz: 1; Nadeln: 12–27; Laubholz: 67–415; Laub/Gras: 378–2782.

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Sukzession von Rasenbinsen-Feuchtheide zu Bergkiefern-Moorwald.

An diesem Standort hat sich die Bergkiefer (*Pinus mugo* ssp. r*otundata* var. *pseudopumilio*) in den letzten Jahrzehnten stark ausgebreitet bzw. ist stark gewachsen, die offene Grindenvegetation (Rasenbinsen-Feuchtheide*, Sphagno-compacti-Trichophoretum germanici*) wurde bzw. wird von Bergkiefern-Moorwald (*Pino mugo-Sphagetosum*) abgelöst.

Standortaussage: saure, nasse Standorte, die zur Vermoorung neigen. Die Klima-Sensitivität dieser Standorte diskutieren, auch ob die Tendenz zur Vermoorung heute noch zutrifft.

Tab. 33: P.3.9

	Ort	Schilffkopf
	Boden	Bädchen-Stagnogley
	Datum	15.7.2023
	Exposition	Eben
	Flächengröße	25
	Höhe ü. NHN	1025
Strauchschicht	Deckung [%]	50
	Höhen [m]	2,0
Krautschicht	Deckung [%]	40
	Höhe [m]	0,3
Moosschicht	Deckung [%]	10
	Höhe [m]	0,05
Strauchschicht	*Pinus mugo ssp. rotundata*	3
	Picea abies	1
Krautschicht	*Vaccinium myrtillus*	3
	Vaccinium uliginosum	1
	Pinus mugo ssp. rotundata	2
	Molinia caerulea	1
	Deschampsia flexuosa	1
	Juncus squarrosus	r
	Galium saxatile	r
	Calluna vulgaris	r
Moosschicht	*Rhytidiadelphus loreus*	2
	Sphagnum magellanicum	1
	Sphagnum compactum	1
	Hypnum cupressiforme	r

3.4 Profil 4: Hornisgrinde



Abb. 10: P.4.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Profilbeschreibung

Die Trockenrohdichte der ungestörten Torfproben, die gut erkennbaren Torfpflanzenbestandteile und der geringe Zersetzungsgrad der Torfhorizonte zeigen ein naturnahes Hochmoorprofil an (Abb. 10). Die obersten 5 cm zeigen Vererdungsmerkmale. Bröckeliger und sich dunkler vom übrigen Torfkörper abhebender hHv-Horizont mit höherem Zersetzungsgrad. Die Entstehung der Hochmoore auf den Grinden ist möglicherweise ursächlich mit dem Vorhandensein von Fe-Bändchen der Podsol-Stagnogleye verknüpft, die in den Randbereichen der Moorbildung vorhanden sind (Stahr 1973).

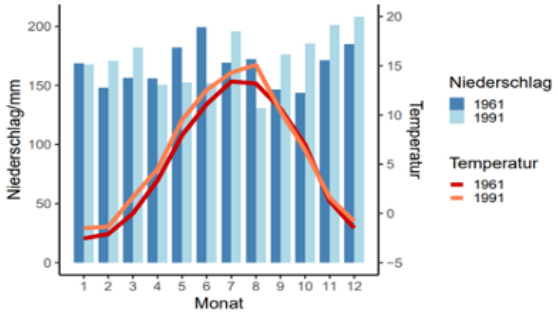


Abb. 11: Klimastation Station Hornisgrinde (Mitteltemperatur und Jahresniederschlag): Klimaperiode **1961–1990**: 5,14 °C, 1997 mm; **1991–2020**: 6,03°C, 2073 mm (Quelle: Meteostat)

Tab. 34: P.4.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Hochmoortorf
Relief:	Flacher Osthang
Landnutzung:	Naturschutzgebiet
Vegetation:	Hochmoor
Höhenlage:	1140 m ü. NHN
JMT:	Siehe Klimadiagramm
N:	(Abb. 11)

Tab. 35: P.4.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont		Steu-,	ρ_t	Steine	Humifi.grad	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	Torfart	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	(von Post)	[%]	[%]	H V/C
0–5	hHv	hHv				H7	94,0	nb	
–30	- hHw	hHw		0,139		H3	96,3	nb	
–70	- hHr1	hHr1		0,131		H3	98,7	nb	
–105	- hHr2	hHr2		0,133		nb	98,5	nb	
–143	- hHr3	hHr3		0,102		nb	98,6	nb	
–185	- hHr4	hHr4		0,135		nb	97,8	nb	
>185	IIiCv*		St2			nb	2,5	nb	

Humusform – KA6: n.b. – KA5: n.b.
Bodentyp – KA6: deutlich vererdetes Hochmoor, sehr stark sauer, oligotroph
– WRB: Epihemic Amphifibric Ombric Histosol (Bryic, Panthodystric)

* ungegliederter Mineralboden, zum Zeitpunkt der Probennahme nicht erkennbar

Bodenanalysen

Tab. 36: P.4.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
0–4	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–30	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–70	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–105	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–143	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–185	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
>185	11,3	55,7	18,7	2,3	2,4	1,3	8,2	6,0	85,80	St2

Tab. 37: P.4.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
0–4	nb	nb	nb	nb	nb	nb
–30	0,139	nb	nb	nb	nb	nb
–70	0,131	nb	nb	nb	nb	nb
–105	0,133	nb	nb	nb	nb	nb
–143	0,102	nb	nb	nb	nb	nb
–185	0,135	nb	nb	nb	nb	nb
>185						

Tab. 38: P.4.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	P_t
[cm]	H_2O	KCl	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[‰]	[‰]	[µg g^{-1}]
0–4	4,1	2,99		495	nb	0	20	24,5			
–30	3,91	2,64		532	192,6	0	15	36,7	-25,82	-0,30	
–70	3,74	2,60		547	286,8	0	13	43,4	-25,25	-0,34	
–105	3,70	2,64		553	257,4	0	11	49,5	-25,24	0,17	
–143	3,78	2,65		560	216,9	0	12	46,4	-24,84	0,75	
–185	3,84	2,84		570	323,0	0	14	41,4	-25,27	2,23	
>185	4,56	3,57		16,0	nb	0	0,6	29,2	-25,43	4,15	

Tab. 39: P.4.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
0–4	204,0	68,4	0,8	5,1	44,9	17,6	0,7	5,3	0,2	25,4
–30	193,8	48,5	0,8	0,9	35,5	11,3	0,5	16,4	0,0	34,6
–70	158,2	29,6	0,8	0,4	16,0	12,4	0,8	19,5	0,0	50,1
–105	144,4	24,0	0,8	0,4	11,1	11,7	0,9	21,5	0,0	53,6
–143	121,3	23,1	1,1	0,4	11,8	9,8	0,8	20,4	0,0	55,6
–185	120,6	9,5	0,7	0,2	3,4	4,9	1,0	44,9	0,0	44,6
>185	21,3	9,6	< b.g.	< b.g.	8,4	1,2	2,0	63,6	0,1	24,6

Biomarkeranalysen

Tab. 40: P.4.7: Aromatische Biomarker im Boden

Tiefe [cm]	V [g kg^{-1} C]	S [g kg^{-1} C]	C [g kg^{-1} C]	VSC [g kg^{-1}]	LPVI*	Black C [g C_{bc} kg^{-1}]	Black C [g C_{bc} kg^{-1} C]	B_3CA/ B_6CA	B_5CA/ B_6CA
0–4	21,09	12,17	6,96	16,37	178,2	3,25	6,68	0,922	5,088
–30	23,50	8,78	7,26	17,05	89,7	26,94	52,08	0,104	0,796
–70	22,86	12,66	9,78	20,87	229,1	29,22	54,77	0,096	0,904
–105	19,52	9,85	8,74	17,91	214,0	21,59	39,75	0,106	1,055
–143	19,13	10,37	8,95	18,62	249,0	33,34	59,83	0,065	0,864
–185	14,30	8,31	9,27	15,92	426,6	34,50	60,09	0,116	0,952
>185	214,59	144,74	261,13	9,49	1079,8	1,91	112,58	0,174	1,105

* Lignin Phenol Vegetation Index (Tareq et al., 2004): Nadelholz: 1; Nadeln: 12–27; Laubholz: 67–415; Laub/Gras: 378–2782

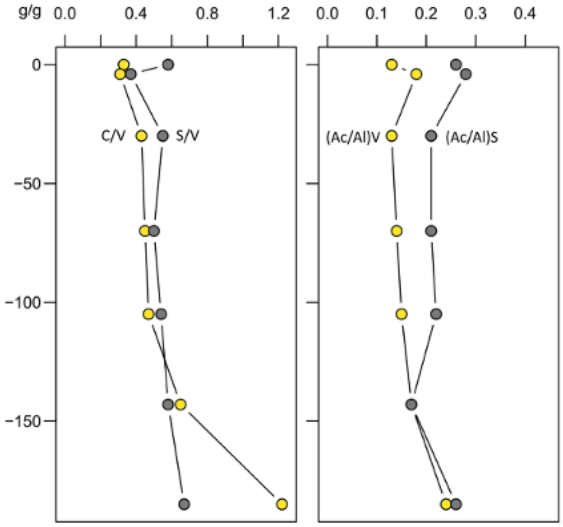


Abb. 12: P.4.2: Verhältnisse der ligninbürtigen Phenoleinheiten Cinnamyl (C), Syringyl (S), Vanillyl (V) sowie die Säure/Aldehyd (Ac/Al)-Verhältnisse der V- und S-Einheiten

Die Zusammensetzung der ligninbürtigen Phenole (Abb. 12) deutet darauf hin, dass die Quelle für die organische Substanz im größten Teil des Profils krautige Pflanzen sind. Das Verhältnis von Säure zu Aldehyd (Ac/Al) der V- und S-Einheiten deutet außerdem auf geringe Zersetzungsintensität hin, insbesondere im Vergleich zu den Höchstwerten von ca. 0,7 g g^{-1}, die wir am Standort Zuflucht finden. Feuer war immer Teil der Landschaft, wie die hohen Black Carbon-Gehalte im gesamten Profil (im Vergleich zu 2–3 g C_{bc} kg^{-1} in Schwarzerde) mit dem hohen Anteil höher kondensierter Aromaten nahelegen.

Vegetation

Pflanzengesellschaft: gestörte Hochmoorvegetation.

Aufgrund der Lage des Profils, direkt am Bohlenweg und aufgrund historisch wechselnder Nutzungen, ist die Vegetation im Randbereich des Hochmoors gestört. Mit dem Blick in das Hochmoor lassen sich typische Pflanzenarten der Hochmoore erkennen:

An feuchteren Stellen wächst mit höherer Deckung das Scheidige Wollgras (*Eriopherum vaginatum*). Geringe Deckung von Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*), Moosbeere (*Oxycoccus palustris*) sehr konkurrenzschwache Art nur noch sehr vereinzelt wachsend.

Zwischen verschiedenen Torfmoosen (*Sphagnum magellanicum, S. rubellum, S. quinquefarium, S. compactum, S. compactum, S. tenellum, S. papillosum, S. capillifolium*) findet sich Rundblättriger Sonnentau *(Drosera rotundifolia*).

An stärker verheideten Rändern treten verstärkt Heidekraut (*Caluma vulgaris*) und *Vaccinium* Arten aber auch Rasenbinse (*Trichophorum cespitosum*) hinzu.

3.5 Profil 5: Zuflucht

Profilbeschreibung

Ausgangsmaterial und Relief sind ähnlich wie bei den umliegenden Bodengesellschaften einschließlich Profil 3.3, Buntsandstein Fließerde. Das Profil (Abb. 13) weist aber durchgehend höhere Tongehalte auf. Kombiniert mit einem höheren Tongehaltsanstieg im Unterboden führt dies dazu, dass der Sd-Horizont tiefer liegt und reduzierende Merkmale deutlicher ausgeprägt sind. Gebleichte Quarzkörner, leichte Eisen- und Aluminiumanreicherung bereits in den Srw-Horizonten und die tief liegenden Eisen-Bänder deuten auf Podsolierung hin. Auffällig ist die hohe Ca-Sättigung bis 18 cm Bodentiefe. Wahrscheinlich wurde Kalk aufgebracht. Eine andere Möglichkeit ist ein hoher Eintrag von Holzasche, wie die hohen Gehalte an Kohle vermuten lassen. Der Standort ist seit langem mit Nadelwald bedeckt.

Tab. 41: P.5.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Sandstein-Fließerde
Relief:	Mittelhang (HX3, g0)
Landnutzung:	NP Managementzone
Vegetation:	Fichtenforst
Höhenlage:	928 m ü. NHN
JMT:	7,4°C
N:	1766 mm

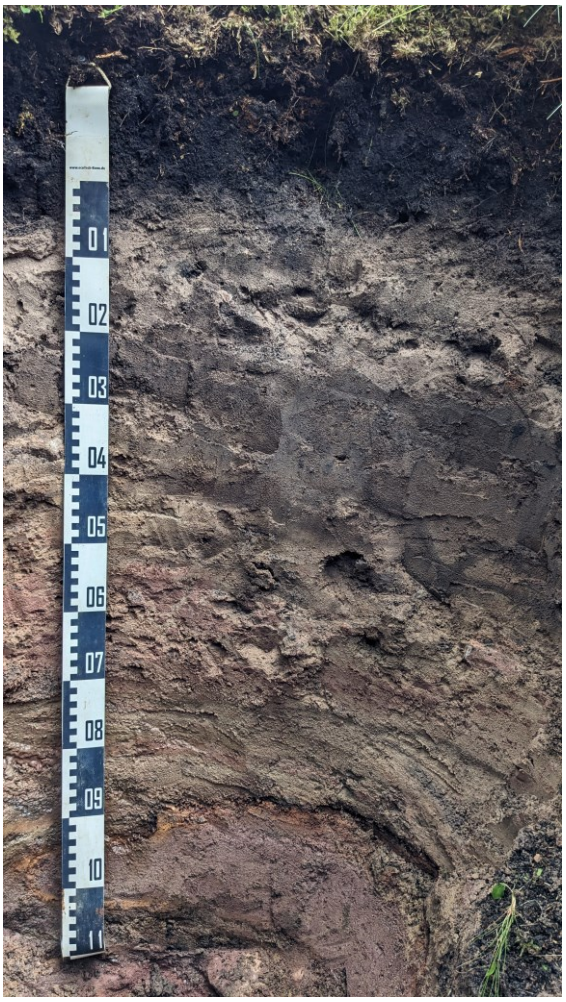


Abb. 13: P.5.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Tab. 42: P.5.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont		Boden	Pd / Vf	Steine	Gefüge	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	-art	KA6	[Vol.-%]	-form	[%]	[%]	H V/C
10–9	Ohf	Of					93,2	nb	7.5YR 3/4
9–5	Obh	Oh1					49,9	nb	7.5YR 2.5/1
5–0	Osh (?) Hv	Oh2					30,9	nb	10YR 2/1
0–8	Ee-Ah	Aeh	St2	Pd2	5	ein	8,4	nb	10YR 3/1
–18	Ee	Ae	St2	Pd2	60-70	ein	1,0	nb	10 YR 4/1
–36	Kh-Srw	Sew	St2	Pd3	5-10	koh	1,4	nb	10YR 4/2
–50	IISrw1	Sw	Sl3	Pd4	5-10	koh	1,2	nb	10YR 6/4
–85	IISrw2	Sdw	St2	Pd4	40-50	koh	0,4	nb	7.5YR 5/4
–88	II Sd-Kbms	Bbms	St3	Vf3(4)	n.b.	Hardpan	2,6	2.5YR 3/6, 5YR 5/8	
>88	III imCv	imCv	Sl4	nb	nb	koh	0,2	nb	10R 4/1

Humusform – KA6: typischer-Rohhumus (ART) KA5: feinhumusreicher Moder (MOR)

Bodentyp – KA6: Podsol-Stagnogley, sehr stark sauer

– WRB: Hyperdystric Stagnosol (Epiarenic Endoloamic Folic Humic Inclinic Mochipic Nechic Raptic)

Bodenanalysen

Tab. 43: P.5.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
10–9										
9–5										
5–0										
0–8	8,5	58,5	19,9	1,9	2,2	1,0	8,1	5,1	86,9	St2
–18	11,0	55,3	21,0	4,9	0,0	1,2	6,5	6,1	87,4	St2
–36	9,5	42,0	28,4	3,5	3,2	1,7	11,6	8,4	80,0	St2
–50	4,5	39,0	32,7	6,4	3,9	3,5	10,0	13,9	76,1	Sl3
–85	4,8	54,7	28,6	1,4	1,2	1,2	8,0	3,8	88,2	St2
–88	2,8	45,4	21,6	4,7	4,0	3,6	17,9	12,3	69,8	St3
>88	0,2	23,4	49,3	9,6	3,9	0,9	12,7	14,4	72,9	Sl4

Tab. 44: P.5.4: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	P_t
[cm]	H_2O	KCl	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]	[g g^{-1}]	[‰]	[‰]	[µg g^{-1}]
10–9	4,41	3,24		466,4	5,6	0	17,03	27,4	–27,53	–4,63	
9–5	3,94	2,88		249,5	36,9	0	11,55	21,6	–25,50	–1,45	
5–0	4,07	3,06		154,6	28,6	0	7,90	19,6	–26,17	0,01	
0–8	4,25	3,12		42,4	43,9	0	1,90	22,3	–25,86	1,92	
–18	4,47	3,47		5,0	2,4	0	0,38	13,1	–27,01	nb	
–36	4,27	3,47		6,8	17,5	0	0,51	13,3	–27,26	4,88	
–50	4,43	3,85		5,8	12,9	0	0,36	16,0	–26,40	nb	
–85	4,81	4,14		2,1	7,2	0	0,25	8,4	–26,44	nb	
–88	4,46	3,94		12,8	nb	0	0,49	26,2	–25,51	2,69	
>88	4,65	3,85		0,8	nb	0	0,30	2,8	–26,50	nb	

Tab. 45: P.5.5: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{eff}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
10–9	257,7	84,3	0,4	6,4	63,6	13,7	0,1	1,7	0,7	13,3
9–5	168,2	62,7	0,9	4,0	44,0	13,8	0,8	11,6	0,1	24,7
5–0	90,7	49,5	nb	3,7	35,9	9,8	1,4	22,6	0,0	26,4
0–8	36,5	44,0	nb	2,9	34,4	6,7	1,2	20,2	0,0	34,6
–18	9,2	29,7	nb	nb	25,9	3,8	0,9	25,7	0,0	43,6
–36	38,6	9,0	nb	1,6	5,5	1,8	0,6	71,4	0,0	19,0
–50	31,3	7,7	nb	1,5	4,8	1,4	0,2	75,2	0,0	16,9
–85	15,9	11,9	nb	2,4	8,2	1,2	0,4	74,4	0,0	13,3
–88	29,0	9,4	nb	2,4	5,8	1,2	0,7	75,0	0,3	14,6
>88	43,3	7,1	nb	2,9	3,4	0,8	0,2	80,6	0,0	12,0

Tab. 46: P.5.6: Bodenchemische Eigenschaften III

Tiefe	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d
[cm]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]	
10–9	0,37		0,41	0,04	
9–5	1,20	2,00	1,16	0,00	0,60
5–0	1,17	2,35	1,29	0,00	0,50
0–8	0,40	2,40	0,41	0,00	0,17
–18	0,05	2,16	0,11	0,00	0,02
–36	0,15	1,32	0,74	0,00	0,11
–50	0,00	1,56	0,97	0,00	0,00
–85	0,02	2,33	0,60	0,00	0,01
–88	24.84	56,61	1,75	0,05	0,44
>88	0,81	9,49	0,70	0,02	0,08



Abb. 14: P.5.2: Wasserpegel 2024–25

Tab. 47: P.5.7: Aromatische Biomarker im Boden

Tiefe	V	S	C	VSC	LPVI*	Black C	Black C	$B_3CA/$	$B_5CA/$
[cm]	[$g\ kg^{-1}\ C$]	[$g\ kg^{-1}\ C$]	[$g\ kg^{-1}\ C$]	[$g\ kg^{-1}$]		[$g\ C_{bc}\ kg^{-1}$]	[$g\ C_{bc}\ kg^{-1}\ C$]	B_6CA	B_6CA
10–9	41,91	1,96	4,85	18,82	3,3	6,25	12,82	0,44	1,75
9–5	105,45	3,62	17,41	26,02	4,7	6,12	22,93	0,15	0,75
5–0	54,92	2,56	11,96	8,34	7,6	7,48	48,33	0,11	0,63
0–8	52,40	4,97	25,13	2,79	36,8	3,81	86,74	0,15	0,89
–18	145,78	22,86	148,46	1,40	141,9	0,28	54,45	0,74	3,81
–36	224,49	45,63	35,60	1,67	18,7	0,31	42,83	0,35	2,37
–50	256,16	70,37	29,44	1,63	19,6	0,08	13,24	nd	nd
–85	257,41	49,66	19,62	0,61	8,3	0,00	2,07	nd	nd
–88	59,78	13,32	3,28	0,73	9,6	0,03	1,80	nd	nd
>88	57,46	26,77	15,97	0,08	143,1	0,20	180,69	2,78	13,53

* Lignin Phenol Vegetation Index (Tareq et al., 2004): Nadelholz: 1; Nadeln: 12–27; Laubholz: 67–415; Laub/Gras: 378–2782

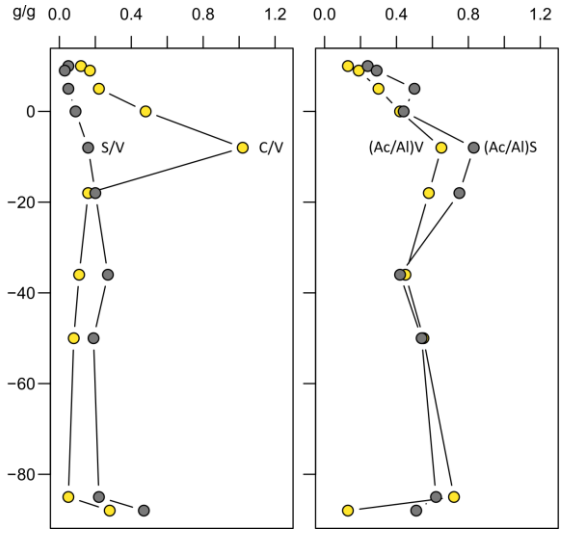


Abb. 15: P.5.3: Verhältnisse der ligninbürtigen Phenoleinheiten Cinnamyl (C), Syringyl (S), Vanillyl (V) sowie die Säure/Aldehyd (Ac/Al)-Verhältnisse der V- und S-Einheiten

Von Lignin abgeleitete Phenole (Abb. 15) deuten darauf hin, dass Koniferen und Grinden-Vegetation die Hauptquelle für die organische Bodensubstanz waren. Lignin-Oxidation nimmt in der Auflage mit zunehmender Tiefe zu und bleibt im Mineralboden nahezu konstant. Black Carbon ist in der Auflage in großen Mengen vorhanden (doppelt so viel wie in Schwarzerden, aber weniger als im vorhergehenden Profil) und der Anteil hochkondensierter Aromaten ist sehr hoch, was auf intensive Feuer hinweist.

Vegetation

Pflanzengesellschaft: *Vaccinio Abietetum* mit Übergang zum *Bazzania-Piceetum.*

Dieses Profil liegt in der Managementzone des Nationalparks, hier werden vom Buchdrucker besiedelte Fichten innerhalb kurzer Zeit entnommen und der Bestand wurde stark aufgelichtet. Daher haben sich mittlerweile verstärkt Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*), Himbeer- und Brombeersträucher (*Rubus idaeus* und *R. fruticosus* agg) ausgebereitet.

Tab. 48: P.5.8

	Ort	Zuflucht
	Boden	Podsol-Stagnogley
	Datum	19.06.2018
	Höhe ü. NHN	
Baumschicht	Deckung [%]	40
	Höhe [m]	28
Krautschicht	Deckung [%]	50
	Höhe [m]	0,8
Moosschicht	Deckung [%]	70
	Höhe [m]	0,05
Baumschicht	*Picea abies*	3
	Abies alba	1
Krautschicht	*Vaccinium myrtillus*	4
	Vaccinium vitis-idaea	1
	Deschampsia flexuosa	1
	Dryopteris carthusiana	1
	Luzula sylvatica	1
	Picea abies	1
	Galium saxatile	r
	Mycelis muralis	r
Moosschicht	*Hylocomium splendens*	2
	Polytrichum formosum	1
	Bazzania trilobata	r
	Rhytidiadelphus loreus	4

EcoLig: Einfluss des Kronenschlusses auf Ligninabbauprodukte

Im Nationalpark wie auch in den meisten Wäldern Mitteleuropas treten Störungen wie Windwurf, Feuer, Trockenheit und Borkenkäferbefall zunehmend häufiger auf. Besonders hervorzuheben ist das weit verbreitete Absterben der Fichtenwälder durch Buchdruckerbefall nach den Dürreperioden 2018, 2019, 2020 und 2022. Die Folgen dieser Schädlingskalamitäten sind von wachsendem Interesse für die Waldökologie und Bodenkunde, doch bleiben offene Fragen über das Ausmaß der Auswirkungen auf die Böden.

Ein Hauptmerkmal gestörter Bestände ist die Öffnung des Kronendachs. Der Verlust des Laubs führt zu einem erheblichen Anstieg der einfallenden Sonnenstrahlung und der abfließenden Wärme. Die Evapotranspiration nimmt hingegen oft ab. In Konkurrenz zu Sträuchern, Moosen und Pflanzenfressern wie dem Rotwild setzt die Regeneration des Baumbewuchses ein.

Tab. 49: P.5.9: Vergleich von geschlossenen Kronen und Waldlücken (Benz et al. in Vorb.)

Hor	Tiefe [cm]		Wurzeln [g kg^{-1}]		C_{org} Vorrat [t ha^{-1}]		C/N		VSC [g kg^{-1} C]	
-izont	Kronen	Lücke	Kronen	Lücke	Kronen	Lücke	Kronen	Lücke	Kronen	Lücke
Ol	2,0	2,1	nb	nb	6,0	5,7	25,3	28,2	74,46	43,59
Ohf	4,2	3,7	4,6	5,9	25,4	29,0	22,1	25,3	29,51	20,18
Obh	5,9	7,5	1,2	1,4	50,3	54,6	20,1	21,4	17,25	17,35
E-A	18,2	18,4	0,2	0,3	50,4	51,2	18,2	17,9	9,47	11,0
A-E-S	13,0	12,7	nb	0,1	17,4	17,7	14,6	15,2	381,53	338,82
Srw	> 6,0	> 8,0	nb	nb	6,7	6,1	12,0	12,1	194,74	295,82

Jeder der oben genannten Faktoren kann sich auf die Zusammensetzung der organischen Substanz im Boden und ihre Stabilität gegenüber weiterem Abbau auswirken. Bisher haben sich die meisten Arbeiten über störungsbedingte Veränderungen des Mikroklimas auf die Mikroorganismen konzentriert. Aber auch abiotische Prozesse können sich ändern, wobei der abiotische Ligninabbau bedeutende Auswirkungen auf die weitere Zersetzung der Streu und den Kohlenstofftransfer in den Boden und innerhalb der Landschaft haben könnte.

Im Rahmen des EcoLig-Projekts wollen wir die Bedeutung des Kronendachs für den Ligninabbau bewerten, indem wir den Ligninabbau an gepaarten Standorten mit geschlossenem und offenem Kronendach in der Managementzone des Nationalparks bestimmen. Bodenproben werden zweimal pro Jahr entnommen (bislang liegen Ergebnisse für Oktober 2023 vor), und Bodenwasser wird monatlich gesammelt. Feuchtigkeit und Temperatur werden routinemäßig und die Sonneneinstrahlung periodisch gemessen.

Die Konzentration und Zusammensetzung ligninbürtiger Phenole wurden durch die Öffnung des Kronendachs deutlich beeinflusst. Während die Gehalte in der organischen Auflage abnehmen, nimmt der Oxidationsgrad von Lignin aus Nadelbäumen (Vanillyl-Einheiten) zu. Ähnlich wie am Schliffkopf liegt das Maximum an Cinnamyl-Einheiten in den obersten Mineralhorizonten, aber in Bestandeslücken verschiebt sich dieses Maximum in tiefere Profilbereiche (Abb. 16). Im Gegensatz dazu unterschieden sich die Mächtigkeit der Humusauflage-Horizonte und die Wurzeldichte nicht nach Kronenöffnungsgrad. Sowohl die Kohlenstoffvorräte als auch das C/N-Verhältnis sind in der Humusauflage Bestandeslücken sogar leicht erhöht (Tab. 49). Das spricht für weniger biotischen Abbau in die Lücken trotz wärmerer Bodentemperaturen (+0,36 °C, Abb. 17). Die feuchteren Bedingungen (+13,9 v/v %) und extremen Temperaturen (Maximum in Luft +13,7 °C) werden biotische Aktivitäten hemmen. Umgekehrt könnte dadurch die Auswaschung abiotisch veränderten Lignins ansteigen.

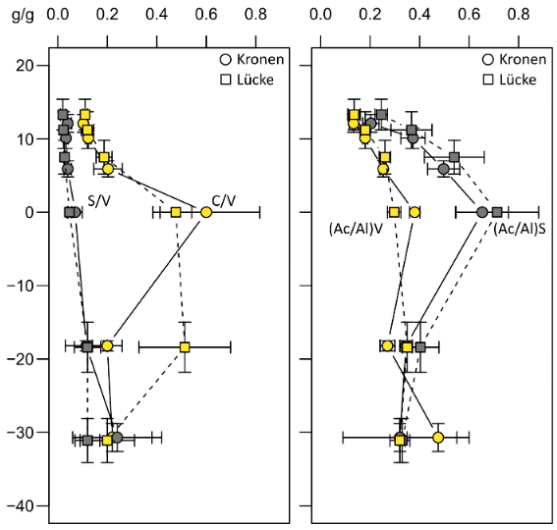


Abb. 16: P.5.4: Ligninbürtige Phenoleinheiten Cinnamyl (C), Syringyl (S), Vanillyl (V) sowie die Säure/Aldehyd (Ac/Al)-Verhältnisse der V- und S-Einheiten [g g^{-1}] je Kronentyp (Benz et al. in Vorb.)

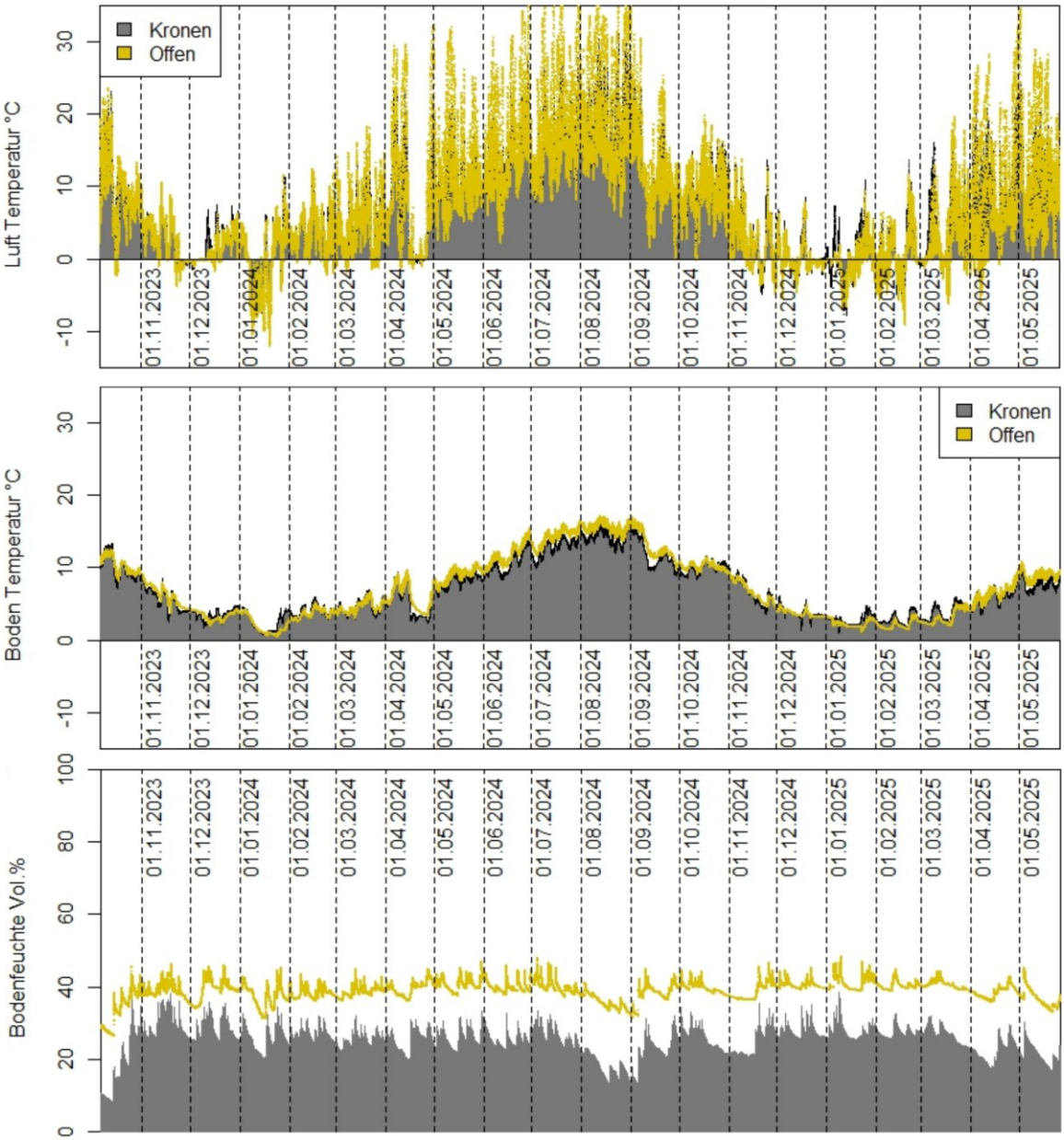


Abb. 17: P.5.5: Mikroklimatische Auswirkung von Kronen und Lücken (Stutz et al. in Vorb.)

Der Transport wenig veränderten Lignins in Waldböden ist möglich. Dennoch ist das Auflagen-Sickerwasser in Kronenlücken das ganze Jahr über saurer und stickstoffreicher als unter geschlossenen Kronen (Abb. 18). Der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) und seine Aromatizität (spezifische UV-Absorption bei 280 nm, $SUVA_{280}$) nehmen in Kronenlücken nur saisonal zu. Höhere C_{org}/Fe-Verhältnisse sind ebenfalls in Lücken zu finden. Beim ausgewaschenen Stickstoff handelt es sich wahrscheinlich überwiegend um Nitrat. Ein unbekannter Anteil von C_{org} könnte dispergiert in Form organischer Kolloide verlagert werden. Der Boden ist sandig und damit ausreichend porös für Kolloidtransport: Es bleibt jedoch unklar, welche Prozesse die Dispersion verursachen. Beispielsweise erhöht die photolytische Auflösung von Holz den DOC-Gehalt, aber es fehlen noch Hinweise auf kolloidale Bestandteile. Weitere Lysimeter mit ^{13}C-markiertem Buchenholz und -laub dienen der Erfassung, der Produktion und Freisetzung von Metaboliten während des Abbaus bei unterschiedlichem Kronenöffnungsgrad.

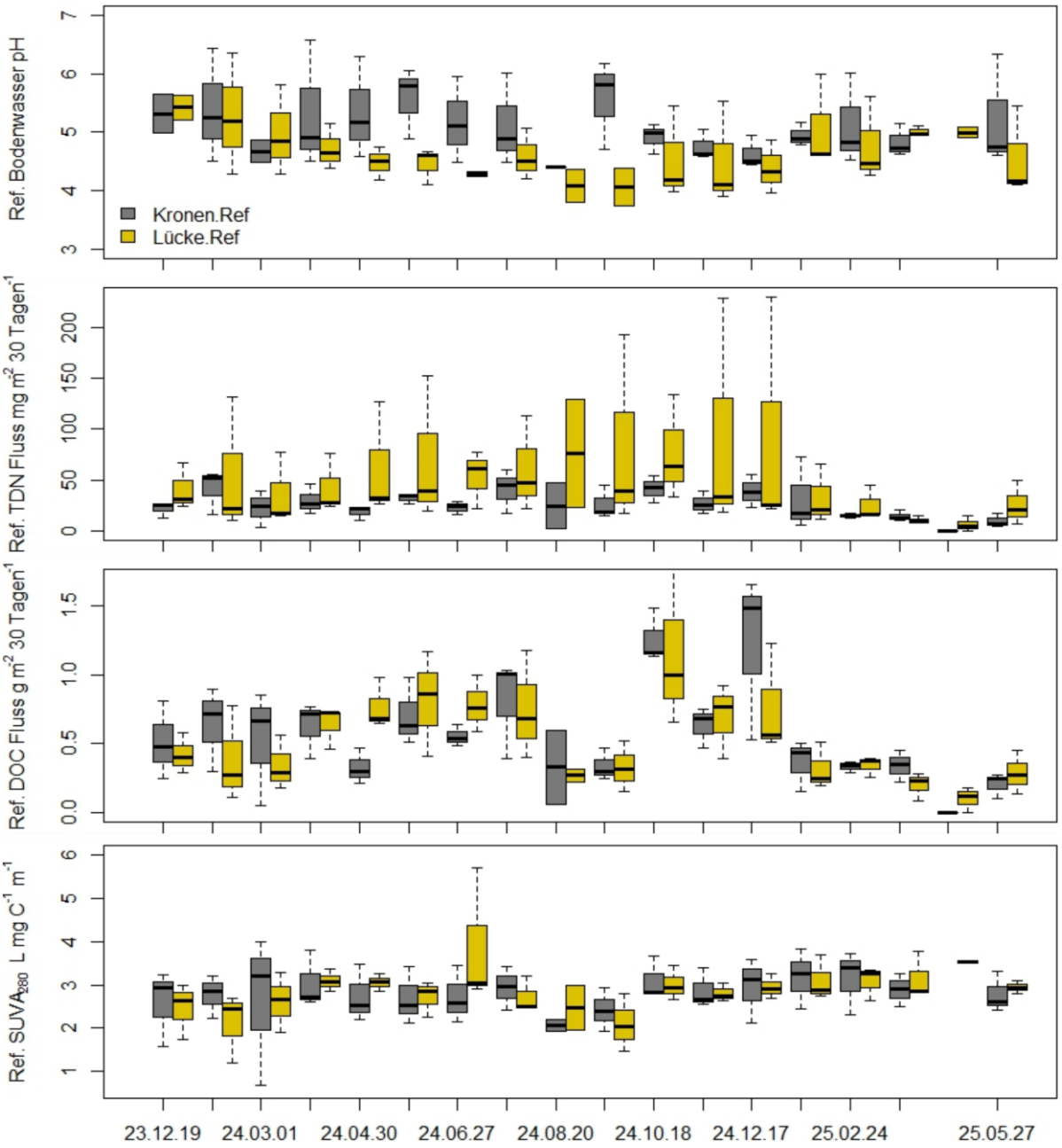


Abb. 18: P.5.6: Sickerwasser unter Kronen und Lücken (Stutz et al. in Vorb.)

3.6 Profil 6: Klosterreichenbach



Abb. 19: P.6.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Tab. 50: P.6.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Buntsandsteinfließerden
Relief:	Mittelhang
Landnutzung:	Gemeindewald
Vegetation:	Kiefer/Fichte
Höhenlage:	680 m ü. NHN
JMT:	8,3 °C
N:	1408 mm

Profilbeschreibung

Der Podsol aus Buntsandstein (Abb. 19) zeigt im Vergleich zu dem aus Granit eine ähnliche Gründigkeit und Versauerung (pH-Wert, Basensättigung) bei höherem Sandanteil und höherer Lagerungsdichte. Die Anreicherung im Bs-Horizont (KA6: Ks) ist deutlich ausgeprägter (Fe_d bzw. Al_d), dafür aber geringer im Bh-Horizont (KA6: Kh) (Humus) bei ähnlich hoher Humusakkumulation im Profil. Die Nährstoffvorräte sind aufgrund des ärmeren Ausgangsgesteins niedriger als im Granitprofil, die potentielle Verfügbarkeit ähnlich hoch und die aktuelle Verfügbarkeit ähnlich gering. Für die Gründigkeit stellt hier das eingeregelte Skelett an der Grenze Ober- zu Unterboden ein Problem dar. Zudem ist die Durchwurzelung durch den niedrigen pH-Wert physiologisch beschränkt (Al-Toxizität?).

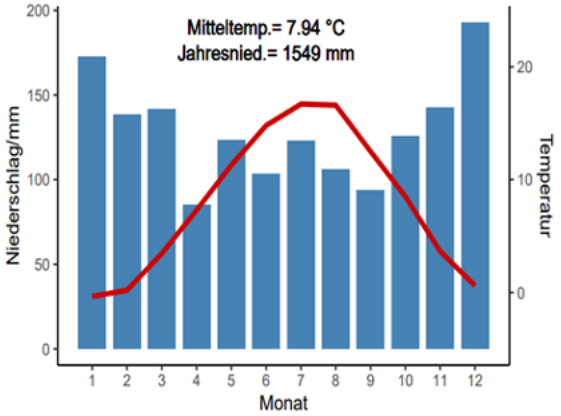


Abb. 20: Klima: Freudenstadt 1991-2020 (Meteostat)

Tab. 51: P.6.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont		Boden	ρ_t	Steine	Gefüge	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	-art	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	-form	[%]	[%]	H V/C
12–0	Ol-Olf-Ohf-Obh	Of / Oh			n.b		64,2	nb	
0–7	Ah-Ee	Ahe	Ss	0,64	7	ein	5,7	nb	10R 3/2
–35	Ee	Ae	Ss	1,47	17	ein	1,0	nb	10R 6/1
–39	II Kh	Bh	St2	1,61	37	koh	5,0	nb	10R 4/3
–46	II Ks	Bs	St2	1,61	43	koh	3,5	nb	10R 5/6
–60	II KS-ilCv	Bv	St2	1,56	29	koh	1,0	nb	2,5YR 5/8
–80	II ilCv1	Cv1	St2	1,69	51	koh	0,7	nb	7,5R 5/6
–100	II ilCv2	Cv2	n.b	n.b	41	koh	0,4	nb	7,5R 5/4

Humusform – KA6: feinhumusreicher typischer Moder (rAMT) KA5: Moder (MOA, MOR) bis moderartiger Rohhuus (MR) je Ausprägung des Oh

Bodentyp – KA6: Norm-Podsol, sehr stark sauer, sehr basenarm

– KA5: Braunerde-Podsol

– WRB: Albic Rustic Podzol (Polyarenic, Folic)

Bodenanalysen

Tab. 52: P.6.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
12–0							nb	nb	nb	nb
0–7							3	8	89	Ss
–35							2	9	89	Ss
–39							12	7	81	St2
–46							13	7	80	St2
–60							8	10	82	St2
–80							7	6	87	St2
–100							nb	nb	nb	nb

Tab. 53: P.6.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
12–0	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
0–7	nb	nb	nb	50	44	6,0
–35	nb	nb	nb	14	11	3
–39	nb	nb	nb	31	19	12
–46	nb	nb	nb	31	19	12
–60	nb	nb	nb	19	16	3
–80	nb	nb	nb	10	7	3
–100	nb	nb	nb	nb	nb	nb

Tab. 54: P.6.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	P_v	P_{la}	K_{la}
[cm]	H_2O	$CaCl_2$	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[mg g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
12–0		2,7		321	nb		5,4	59	0,14	39,9	17,7
0–7		2,7		28,5	11,9		1,2	23	0,10	< 2	0,02
–35		3,2		5,0	11,0		0,2	20	0,04	< 2	0,04
–39		3,2		25,0	10,1		0,8	32	0,12	< 2	0,13
–46		3,9		17,5	11,2		1,0	17	0,25	< 2	0,16
–60		4,4		5,0	7,8		0,2	20	0,12	< 2	0,12
–80		4,3		3,5	5,8		0,2	20	0,10	< 2	0,12
–100		4,3		2,0	nb		0,1	20	nb	< 2	0,02

Tab. 55: P.6.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{pot}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
12–0	1752	11								
0–7	158	6	0	1	0	0		5	0	9
–35	24	5	0	0	0	0		2	0	3
–39	123	2	1	0	0	0		19	0,01	18
–46	221	2	1	2	1	0		12	0,01	10
–60	47	5	0	1	1	0		4	0,01	1
–80	25	12	0	1	2	0		6	0,01	1
–100	54	4	0	0	0	0		10	0,01	0

Tab. 56: P.6.7: Bodenchemische Eigenschaften III — Oxide und Tonminerale

Tiefe [cm]	Fe_o [g kg^{-1}]	Fe_d [g kg^{-1}]	Al_d [g kg^{-1}]	Mn_o [g kg^{-1}]	Fe_o/Fe_d	Kaolinit [% T]	Illit [% T]	WL 10-14 [% T]	Chlorit [% T]
12–0	0,07	0,8	0,88	0,07	0,09	nb	nb	nb	nb
0–7	0,10	1,12	0,39	0	0,09	14	50	36	0
–35	0,01	0,85	0,04	0	0,01	22	57	22	7
–39	2,55	4,16	1,86	0	0,61	14	72	29	7
–46	6,39	8,93	11,05	0,01	0,71	7	64	36	29
–60	2,04	3,97	7,37	0,01	0,51	7	64	50	14
–80	nb	nb	nb	nb	nb	7	79	43	7
–100	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb

Vegetation

Tannenwald mit Kiefern (*Pinus sylvestris*). Ursprünglich vorherrschend: Tannen-/Buchenwald.

Standortaussage: forstlich bedingte Erhöhung des Nadelholzanteils, dadurch mächtigere Humusauflage und Förderung der Beerensträucher.

Tab. 57: P.6.8

	Ort	Klosterreichenbach
	Boden	Braunerde-Podsol
	Datum	23.05.2001
	Höhe ü. NHN	680
Krautschicht	*Vaccinium myrtillus*	2
	Vacciniumvitis-idaea	2
	Hieracium sylvaticum	1
	Ajuga reptans	+
	Carex pilulifera	+
	Cardamine impatiens	r
	Molinia litoralis	r
	Mycelis muralis	r
Moosschicht	*Hylocomium splendens*	2
	Polytrichum formosum	2
	Pseudoscleropodium purum	2
	Rhytidiadelphus loreus	2

3.7 Profil 7: Grömbach 1



Abb. 21: P.7.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Profilbeschreibung

Die im Folgenden vorgestellten Profile stellen eine Toposequenz (Catena) dar und sollten im Landschaftszusammenhang verstanden werden. Das Oberhangprofil ist eine im Unterboden mitteltief pseudovergleyte Braunerde (Abb. 21). Das Ausgangsgestein (Buntsandstein) ist hier nicht wirklich homogen und weist unterschiedlich hohe Tongehalte bis hin zu Tonlinsen auf. Die Inhomogenität des Ausgangsgesteins ist z. B. an den wechselnden Sandgehalten (40–56%) wie auch am Vergleich des Fe_d im Cv zu den darüberliegenden Horizonten ersichtlich. Die Fe_d-Werte im Cv weisen auch auf die geogenen Fe_d-Anteile hin, die die pedogenen zu übertreffen scheinen. Die pH-Werte sind ähnlich niedrig wie bei bereits vorgestellten Podsolen. Im Gegensatz zu jenen ist dieser Standort hier aber meliorationsfähig (Kalkung und Düngung) und aufgrund der relativ ebenen Lage auch ackerfähig. Beschränkend für die Ackerkulturen ist die niedrige Jahresdurchschnittstemperatur.

Tab. 58: P.7.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Sandstein-/Tonsteinfließerde
Relief:	Oberhang
Landnutzung:	Bauernwald mit historischer Waldweide und Streunutzung
Vegetation:	Fichte
Höhenlage:	689 m ü. NHN
JMT:	8,1 °C
N:	1255 mm

Tab. 59: P.7.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont		Boden	ρ_t	Steine	Gefüge	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	-art	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	-form	[%]	[%]	H V/C
15–0	Ol-Ohf-Obh1-Obh2	(3-0) L/Of		0,09					Streu
0–5	Ee-Ah1	Ah1	Slu	0,49	49	kru	11,4	0	10R 4/1
–27	Ah-Bv	Ah2	Sl4	1,09	45	kru-sub	3,1	0	7,5YR 5/3
–40	Bv	Bv	Ls3	1,35	44	sub	1,2	0	10R 5/5
–55	Sw-Bv	S-Bv	Sl4	1,54	49	ein-koh	0,7	0	10R 5/6
–85	Bv-ilCv	Bv-Cv	Sl4	1,61	56	koh	0,3	0	10R 4/4
–125	ilCv	Cv	Sl3	1,70	51	nb	0,3	0	10R 5/3

Humusform – KA6: Feinhumusreicher Typischer Moder (rAMT) – KA5: F-Mull (MUO)
Bodentyp – KA6: Mitteltief pseudovergleyte Normbraunerde mit Moder, extrem sauer, basenarm
– KA5: Moder-Norm-Braunerde
– WRB: Chromic Alisol (Pantoloamic, Differentic, Hyperdystric, Folic, Humic, Profundic, Protospodic)

Bodenanalysen

Tab. 60: P.7.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
3–0							nb	nb	nb	nb
0–5							9	42	49	Slu
–27							15	39	45	Sl4
–40							20	36	44	Ls3
–55							15	36	49	Sl4
–85							14	30	56	Sl4
–125							12	37	51	Sl3

Tab. 61: P.7.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	pt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]
0–3	0,09	nb	nb	nb	nb	nb
0–5	0,49	83	52	31	23	8
–27	1,09	58	28	30	19	11
–40	1,35	52	23	29	14	15
–55	1,54	47	17	30	12	18
–85	1,61	37	15	22	11	11
–125	1,70	45	15	30	18	12

Tab. 62: P.7.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	P_v	P_{la}	K_{la}
[cm]	H_2O	$CaCl_2$	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[mg g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
3–0		2,8		nb	nb		nb	32	0,46	59,9	nb
0–5		2,6		57	7,1		2,0	29	0,27	13,1	nb
–27		3,5		15,5	20,4		0,5	29	0,24	5,7	nb
–40		3,7		6,0	5,9		0,2	25	0,20	2,2	nb
–55		3,7		3,5	4,1		0,2	15	0,22	3,1	nb
–85		3,7		1,5	3,2		0,1	10	0,22	2,2	nb
–125		3,7		1,5	5,0		0,1	10	0,21	3,1	nb

Tab. 63: P.7.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{pot}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c\ kg^{-1}$]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
3–0	675	6	1	6	23	5		23	0,21	26
0–5	598	2	0	2	1	1		31	0,02	21
–27	126	3	0	1	0	0		47	0,05	6
–40	95	4	0	1	0	0		31	0,05	1
–55	81	5	0	1	1	1		33	0,07	0
–85	71	6	0	1	2	1		28	0,06	0
–125	68	4	0	1	1	0		…31	0,02	0

Tab. 64: P.7.7: Bodenchemische Eigenschaften III — Oxide und Tonminerale

Tiefe	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d	Illit	WL 10-40	SkChlorit	Illit	WL 10-40	Smect.
[cm]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]	[$g\ kg^{-1}$]		% Tonminerale g + mT			% Tonminerale fT		
3–0	1,0	0	1,75	207	nb	30	60	10	5	65	30
0–5	1,4	3,1	2,04	16	0,45	25	60	15	25	55	20
–27	2,3	6,4	2,84	46	0,36	45	40	15	35	40	25
–40	2,2	7,2	2,73	50	0,31	50	40	10	40	40	20
–55	1,8	8,1	1,98	69	0,22	80	20	0	45	45	10
–85	1,4	8,6	1,62	55	0,16	70	30	0	80	20	0
–125	1,0	9,2	152	16	0,11	nb	nb	nb	nb	nb	nb

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Ursprünglich vorherrschend: Buchen-Tannenwald. Wald in einer Generation mit Fichte (*Picea abies*) und Waldkiefer (*Pinus sylvestris*). Fichte schlecht wüchsig bedingt durch die ehemalige Streunutzung. Charakteristische Pflanzen: Viele Moose, Rippenfarn (*Blechnum spicant*) typischer Fichtenbegleiter. Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*) Säurezeiger. Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) mit recht üppigen Beständen, da es licht hier ist. Kiefer (*Pinus sylvestris*) bleibt vorhanden und Fichte (*Picea abies*) wird weniger. Durch die vormalige Streunutzung ein nur sehr gebremstes Wachstum, sichtbar an den dicht aufeinanderfolgenden Seitenzweigen

Standortsaussage: Buche und Tanne haben das Potential, wieder auf den Standorten zu wachsen, wenn man sie lässt.

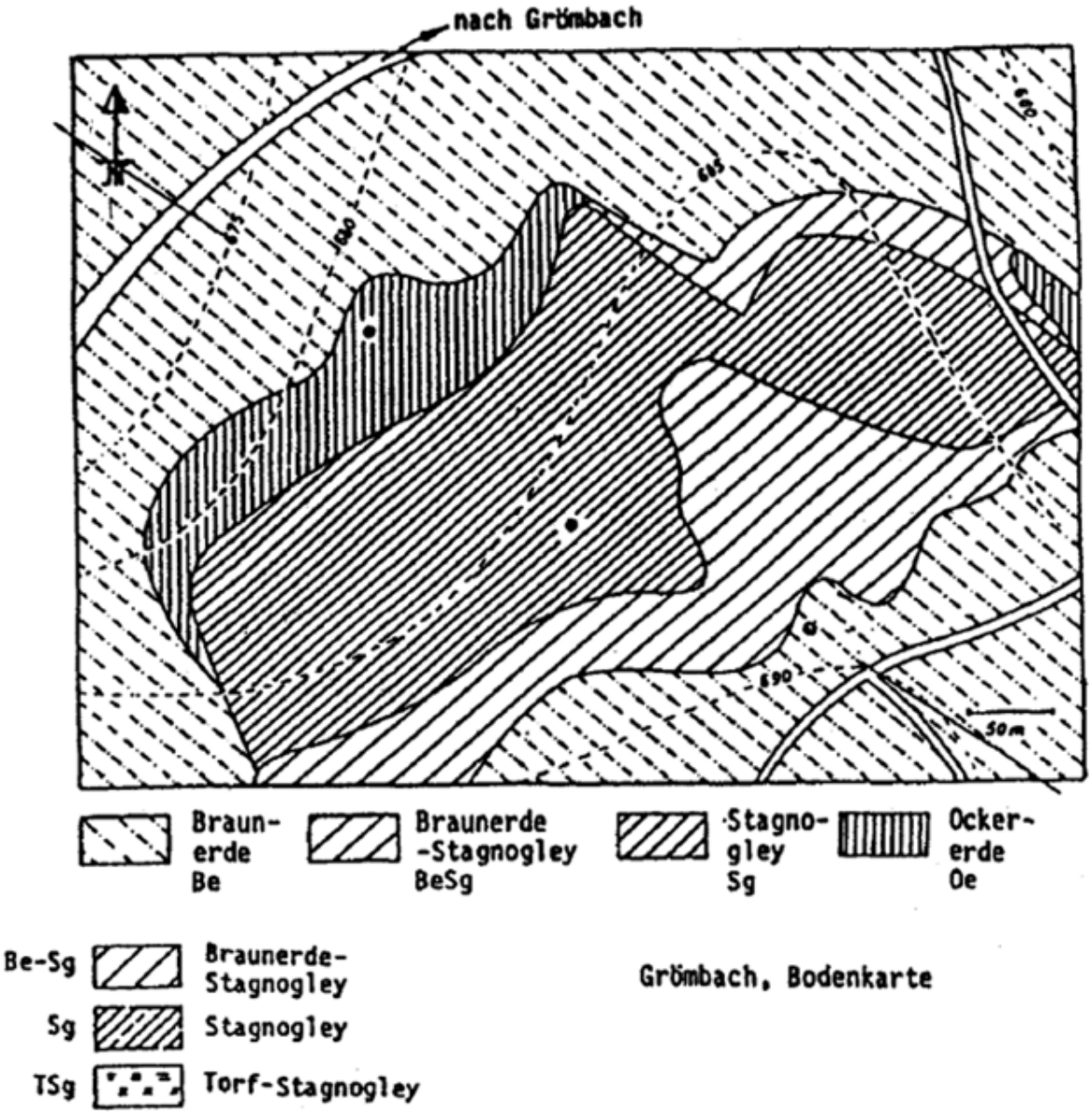


Abb. 22: P.7.2: Bodentypenverteilung im Gerechtigkeitswald, Grömbach (Stahr et al. 2011)

3.8 Profil 8: Grömbach 2



Abb. 23: P.8.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Profilbeschreibung

Das Profil (Abb. 23) ist aus dem gleichen Ausgangssubstrat entstanden wie das vorherige, wie die sehr ähnlichen Körnungsdaten zeigen. Allerdings tritt hier eine Verdichtung schon in der Nähe des Oberbodens auf, die zu deutlichen Stauwassermerkmalen führt. Das Stauwasserregime wird durch die schwache Muldenlage des Profils bestärkt, die lateralen Zufluss zulässt, den Abfluss aber behindert. Das Stauwasserregime bedingt eine weitgehende Nassbleichung des oberen Profilteils, welches die Fe_d-Werte belegen. Das Profil weist extreme physikalische (langanhaltendes Stauwasser, Verdichtung) und chemische Eigenschaften (Versauerung, Entbasung) auf, die es zu einem schwierigen Standort selbst für den Wald machen. Deshalb wurden zur Melioration Drainagegräben gezogen. Dies führte in den letzten Jahren zusammen mit dem atmosphärischen Stickstoffeintrag aber zu vermehrtem Humusabbau.

Tab. 65: P.8.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Sandstein-/Tonsteinfließerde
Relief:	Nordwesthang
Landnutzung:	Bauernwald
Vegetation:	Tannen-Fichten-Forst
Höhenlage:	686 m ü. NHN
JMT:	8,1 °C
N:	1255 mm

Tab. 66: P.8.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Horizont [cm]	KA6	[cm]	KA5	Boden -art	ρ_t [g cm^{-3}]	Steine [Vol.-%]	Gefüge -form	Humus [%]	Kalk [%]	Farbe H V/C
9,5–0	Ol(0,5)-Olf(3)-Obh(6)	20-8	Of		0,08	n.b		75,9	nb	Streu
0–6	Hv (6) (Osh ?)	8-0	Oh		0,18	n.b		51,7	0	10R 2/2
–18	Sew-Ah	0-12	Ah	Slu	0,99	0	pri-koh	7,1	0	5YR 2/1
–28	Ah-Sew	-22	Srw	Sl3	1,50	0	koh-pri	1,2	0	7,5YR 3/2
–42	Srw	-36	Sw	Sl4	1,57	0	koh-pri	0,7	0	5YR 6/5
–58	Srd	-52	Sd	Lt2	1,55	21	pri-koh	0,3	2,5YR 5/2, 7,5YR 6/8	
–71	ilCv-Srd	-65	Cv-Sd	Lts	1,65	24	koh	0,2	5YR 8/1, 2,5YR 5/4	
–88	ilCv	-80	Cv	nb	1,55	nb	koh	0,2	2,5YR 5/4, 5YR 8/1	

Humusform – KA6: typischer Moder (AMT) — KA5: Moder (MOA, MOR) bis moderartiger Rohhumus (MR) je nach Ausprägung des Oh

Bodentyp – KA6: Vererdeter Normstagnogley, extrem sauer, basenarm**

– KA5: Moor-Stagnogley

– WRB: Dystric Alic Stagnosol (Pantoloamic, Folic, Ochric, Protspodic)

Bodenanalysen

Tab. 67: P.8.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I – Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
20–8							nb	nb	nb	nb
8–0							nb	nb	nb	nb
0–12							16	41	43	Slu
–22							10	32	58	Sl3
–36							17	26	57	Sl4
–52							27	31	42	Lt2
–65							36	26	38	Lts
–80							nb	nb	nb	nb

Tab. 68: P.8.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe [cm]	pt [g cm^{-3}]	PV [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	nFK [mm]	PWP [Vol.-%]
20–8	0,08	nb	nb	nb	nb	nb
8–0	0,18	nb	nb	nb	nb	nb
0–12	0,99	60	14	46	29	17
–22	1,50	44	10	34	28	6
–36	1,57	35	7	28	8	20
–52	1,55	33	4	39	17	22
–65	1,65	40	0	40	18	22
–80	1,55	44	0	44	19	25

Tab. 69: P.8.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	P_v	P_{la}	K_{la}
[cm]	H_2O	$CaCl_2$	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[mg g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
20–8		2,7		379	36,4		9,0	42		128,0	29,5
8–0		2,7		258	37,2		9,6	27	0,15	30,5	5,3
0–12		3,5		35,5	42,2		1,4	25	0,18	8,7	2,5
–22		3,7		6,0	18,0		0,3	19	0,17	4,4	0,6
–36		3,7		3,5	7,7		0,2	20	0,04	4,4	1,2
–52		3,7		1,5	2,9		0,1	10	0,05	4,4	1,8
–65		3,7		1,0	1,6		0,1	10	0,08	4,4	2,8
–80		3,5		1,0	nb		0,2	4	0,08	< 2	1,7

Tab. 70: P.8.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{pot}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
20–8	1759	4	0	6	5	8		5	0,06	95
8–0	1444	1	1	4	0	4		21	0	75
0–12	183	4	0	1	0	0		60	0	0
–22	53	4	0	0	0	0		27	0	0
–36	78	4	0	1	1	1		42	0	0
–52	85	5	0	2	1	1		39	0	0
–65	104	6	0	3	2	2		45	0	0
–80	156	7	0	2	3	3		43	0	0

Tab. 71: P.8.7: Bodenchemische Eigenschaften III — Oxide und Tonminerale

Tiefe	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d	Illit	WL 10-40	Illit	WL 10-40
[cm]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}][1]		% Tonminerale g + mT		% Tonminerale fT	
20–8		0	1,08	57	nb	nb	nb	nb	nb
8–0		3,0	7,2	0	nb	10	90	10	90
0–12	0,4	0,4	1,85	0	1	40	60	15	85
–22	0,2	0,2	0,4	2	1	60	40	30	70
–36	1,3	2,5	0,88	0	0,52	85	15	90	10
–52	0,03	7,0	0,81	0	0,23	95	5	95	5
–65	0,01	10,4	1,38	0	0,12	nb	nb	nb	nb
–80	0,03	9,0	nb	nb	0,29	nb	nb	nb	nb

Vegetation

Pflanzengesellschaft: Bestand schlecht wüchsig, Astkränze dicht übereinander. Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), Fichte (*Picea abies*) sieht erbärmlich aus. Polster aus blaugrünem Weißmoos (*Leucobryum glaucum*).

Charakteristische Pflanzen: Säurezeiger: Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Preiselbeere (*Vaccinium vitis idaea*).

Tab. 72: P.8.8

	Ort	Grömbach
	Boden	Moor-Stagnogley
	Datum	24.05.2001
	Exposition	2° Ost
	Flächengröße qm	50
	Höhe m ü. NHN	685
Baumschicht	Deckung [%]	80
	Höhe [m]	15
Krautschicht	Deckung [%]	20
	Höhe [m]	0,2
Moosschicht	Deckung [%]	800
	Höhe [m]	0,05
Baumschicht	*Picea abies*	4
	Pinus sylvestris	+p
Krautschicht	*Deschampsia flexuosa*	2b
	Vaccinium myrtillus	2a
	Blechnum spicant	+p
	Carex canescens	+p
	Lycopodium annotinum	+p
Moosschicht	*Sphagnum girgensohnii*	3
	Leucobryum glaucum	2b
	Dicranum scoparium	1p
	Hypnum cupressiforme	1p
	Polytrichum formosum	1p
	Sphagnum palustre	1p

3.9 Profil 9: Grömbach 3



Abb. 24: P.9.1: Ansicht des Standortes und des Bodenprofils

Profilbeschreibung

Auch dieses Profil (Abb. 24) ist aus Buntsandsteinmaterial entstanden. Es weist aber durchgehend höhere Tongehalte als die höher liegenden Profile auf. Gemeinsam ist allen eine hohe Lagerungsdichte im Unterboden. Hier ist aber die geringe Lagerungsdichte bis in den mittleren Profilteil auffällig; genauso wie die orangerote Farbe, die auf frisch gefälltes Fe schließen lässt. Die Fe-Fraktionen zeigen deutlich höhere Gehalte an Fe_d (bis 2%) und einen sehr hohen Aktivitätskoeffizienten im Oberboden (bis 1). Dies bestätigt die junge und wohl auch andauernde Entstehung von Fe-Ausfällungen. Während der Stagnogley den Fe-Abreicherungsstandort darstellt, wird in der Ockererde (Hangoxigley) am Unterhang Fe absolut angereichert. Hier werden Stoffe in der Landschaft massiv umgelagert. Die hohe Konzentration von amorphem Fe führt zu einer Besonderheit bei der Nährstoffverfügbarkeit: Für P besteht eine hohe Sorptionskapazität, da es in die Fe-Oxide / Hydroxide mit eingebaut werden kann.

Tab. 73: P.9.1: Standortbeschreibung

Substrat:	Sandstein-/ Tonsteinfließerde
Relief:	Nordwesthang
Landnutzung:	Bauernwald
Vegetation:	Tannen-Fichten-Forst
Höhenlage:	550 m ü. NHN
JMT[1]:	8,1 °C
N[1]:	1255 mm

Tab. 74: P.9.2: Profilbeschreibung und Bodenklassifikation

Tiefe	Horizont		Boden	ρ_t	Steine	Gefüge	Humus	Kalk	Farbe
[cm]	KA6	KA5	-art	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	-form	[%]	[%]	H V/C
6–2	Ol-Olf-Ohf	Of		0,06	nb		70,7	nb	Streu
2–0	Obh	Oh		0,08	nb		53,8	0	5YR 2/1
0–10	Ah	Ah	Lt2	0,53	3	kru	12,1	0	2,5 YR 4/2
–30	Ah-Vf	A/Bvk	Lt2	0,68	3	kru	6,0	0	2,5 YR 4/4
–43	Vf	Bkv	Lt2	0,95	3	kru	2,8	0	5YR 3/4
–60	II Bv-Sw	Bv-Sd	Ls3	1,22	35	koh	1,0	0	2,5YR 5/8
>60	III Sd	Sd-Cv	Lts	1,75	29	koh	0,3	0	10YR 6/8

Humusform – KA6: Typischer Moder (AMT) – KA5: feinhumusreicher Moder (MOR)
Bodentyp – KA6: Ockerrheosol mit Moder, stark sauer, sehr basenarm
– KA5: Pseudogley-Lockerbraunerde
– WRB: Dystric Stagnosol (Pantoloamic, Cambic, Humic, Raptic)

Bodenanalysen

Tab. 75: P.9.3: Bodenphysikalische Eigenschaften I — Partikelgrößenverteilung

Tiefe	Partikelgrößenverteilung [Masse-%]									Boden-
[cm]	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	art
15–4							nb	nb	nb	nb
4–0							nb	nb	nb	nb
0–10							34	36	30	Lt2
–30							30	39	31	Lt2
–43							31	36	33	Lt2
–60							21	36	43	Ls3
>60							27	25	48	Lts

Tab. 76: P.9.4: Bodenphysikalische Eigenschaften II

Tiefe	ρt	PV	LK	FK	nFK	PWP
[cm]	[g cm^{-3}]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mm]	[Vol.-%]
15–4	0,06	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
4–0	0,08	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
0–10	0,53	82	46	36	32	4
–30	0,68	77	35	42	25	17
–43	0,95	66	18	48	22	26
–60	1,22	55	9	46	21	25
>60	1,75	35	4	31	12	19

Tab. 77: P.9.5: Bodenchemische Eigenschaften I

Tiefe	pH	pH	EL	C_{org}	C_{org} Vorrat	C_{anorg}	N_t	C/N	P_v	P_{la}	K_{la}
[cm]	H_2O	$CaCl_2$	[mS cm^{-1}]	[mg g^{-1}]	[t ha^{-1}]	[mg g^{-1}]	[mg g^{-1}]		[mg g^{-1}]	[µg g^{-1}]	[µg g^{-1}]
15–4		2,8		353,5	23,3		13,6	26	0,46	62,9	nb
4–0		2,7		269	8,6		9,3	29	0,72	19,6	nb
0–10		3,8		60,5	31,1		3,2	19	0,82	8,7	nb
–30		4,0		30,0	39,6		1,7	18	0,65	2,2	nb
–43		4,1		14,0	16,8		0,6	25	0,46	4,4	nb
–60		4,0		5,0	6,7		0,3	18	0,32	4,4	nb
>60		3,9		1,5	nb		0,1	14	0,22	6,5	nb

Tab. 78: P.9.6: Bodenchemische Eigenschaften II

Tiefe	KAK_{pot}	BS	Sättigung % der KAK_{eff}							
[cm]	[$mmol_c$ kg^{-1}]	[%]	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	H
15–4	1218	6	0	7	13	3		2	1,12	49
4–0	429	3	0	6	5	0		80	0,23	6
0–10	313	2	0	0	0	0		29	1,80	3
–30	372	2	0	0	0	0		31	1,95	1
–43	126	3	0	0	0	0		14	1,65	2
–60	74	5	0	1	1	1		15	0,69	1
>60	67	5	0	1	1	1		20	0,43	0

Tab. 79: P.9.7: Bodenchemische Eigenschaften III — Oxide und Tonminerale

Tiefe	Fe_o	Fe_d	Al_o	Mn_o	Fe_o/Fe_d	Illit	WL 10-40	Illit	WL 10-40
[cm]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[g kg^{-1}]	[mg kg^{-1}]		% Tonminerale g + mT		% Tonminerale fT	
15–4	1,8	0	3,7	1120	nb	nb	nb	nb	nb
4–0	7,3	7,1	8,5	228	1,03	30	70	35	65
0–10	12,0	10,4	7,7	1800	1,15	50	50	50	50
–30	8,5	19,0	6,8	1950	0,45	60	35	55	45
–43	10,6	20,0	5,3	1650	0,53	65	35	70	30
–60	6,0	14,7	3,2	685	0,41	100	0	90	10
>60	1,6	10,6	1,5	430	0,14	nb	nb	nb	nb

Vegetation

Fichten (*Picea abies*) sind besser wachsend als am vorigen Standort. Torfmoose sind weitgehend verschwunden.

Charakteristische Pflanzen: Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*), überall Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), beides Versauerungszeiger. Rippenfarn (*Blechnum spicant*), Fichtenbegleiter. Sprossender Bärlapp (*Lycopodium annotinum*) kriechend, saure, nährstoffarme Standorte, geschützt!

Tab. 80: P.9.8

	Ort	Grömbach
	Boden	Ockererde / Ockerreosol
	Datum	24.05.2001
	Exposition	2° Ost
	Flächengröße qm	25
	Höhe m ü. NHN	685
Baumschicht	Deckung [%]	5
	Höhe [m]	20
Krautschicht	Deckung [%]	40
	Höhe [m]	0,2
Moosschicht	Deckung [%]	10
	Höhe [m]	0,05
Baumschicht	*Fagus sylvatica*	+p
	Abies alba	+p
Krautschicht	*Deschampsia flexuosa*	2
	Vaccinium myrtillus	2
	Blechnum spicant	1p
	Lycopodium annotinum	1p
	Carex pilosa	+p
	Luzula luzuloides	+p
Moosschicht	*Rhytidiadelphus loreus*	2
	Hypnum cupressiforme	+p
	Polytrichum formosum	+p

Literatur

AG Boden der Geologischen Dienste (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover.

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung 6. Auflage Band 2: Geländeaufnahme und Systematik, Hannover.

Benz, L., Glaser, B., Kaiser, K., Popa, F., Stutz, K. (in Vorb.): Century of forest conservation sequesters particulate, wood-derived soil organic matter.

Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W. (1998): Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. Organic Geochemistry 29: 811–819.

IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. 4. Aufl. IUSS, Wien, Österreich.

Nationalpark Schwarzwald (2021): Fachband 1 – Allgemeiner Band, 72 S. Seebach. https://www.nationalpark-schwarzwald.de/de/karten-broschueren

Regierungspräsidium Freiburg (2023): LGRB Wissen –Schwarzwald, 12 S., Freiburg i.Br. https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/unser-land/schwarzwald

Regierungspräsidium Freiburg (2023): LGRB Wissen – Böden der Moore, Freiburg i.Br. https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/bodenkunde/buntsandstein-schwarzwald/bodenlandschaften/boeden-moore

Stahr, K. (1973): Die Stellung der Böden mit Fe-Bändchen-Horizont (thin-iron-pan) in der Bodengesellschaft der nördlichen Schwarzwaldberge. Arbeiten aus dem Institut für Geologie und Paläontologie an der Universität Stuttgart N.F. 69: 85–183.

Stahr, K., Böcker, R. (2014): Exkursionsführer - Landschaften und Standorte Baden-Württembergs. 224 S. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 111, Universität Hohenheim.

Stutz, K. P., Benz, L., Popa, F., Kaiser, K., Glaser, B. (in Vorb.): Energy, moisture, DOM, litter decay and C turnover linked in disturbed forests.

Stutz, K. P., Kaiser, K., Wambsganss, J., Santos, F., Berhe, A. A., Lang, F. (2019): Lignin from white-rotted European beech deadwood and soil functions. Biogeochemsitry 145: 81–105.

Tareq, S. M., Tanaka, N., Ohta, K. (2004): Biomarker signature in tropical wetland: lignin phenol vegetation index (LPVI) and its implications for reconstructing the paleoenvironment. Science of the Total Environment 324: 91–103.

von Sengbusch, P. (2010): Zukunft der Grinden: Erfassung und Bewertung des Wachstumspotenzials von Moorflächen auf den Grinden, Projektnummer 546 91-0822GL, Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg.

WaBoA - Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg 2012, https://pd.lubw.de/15474

DBG Mitteilungen Band 121 – 2025 – Exkursionsführer Tübingen
ISSN – 0343-1071