



Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

# EXKURSIONS- FÜHRER

Bern 2019

DBG • Band 119 • 2019 • ISSN – 0343-1071

*Schriftleitung:* S. Spielvogel, Kiel/Bern und Chr. Ahl, Göttingen

Schriftleitung

**Prof. Dr. Sandra Spielvogel**

Institute for Plant Nutrition and Soil Science

Department Soil Science

Christian Albrechts University Kiel

Hermann-Rodewald-Straße 2

D-24118 Kiel

fon: +49 431 880 7411

email: [s.spielvogel@soils.uni-kiel.de](mailto:s.spielvogel@soils.uni-kiel.de)

**Dr. Christian Ahl**

DBG Geschäftsstelle

Am Bärenberg 70

37077 Göttingen

[dbg@dbges.de](mailto:dbg@dbges.de)

ISSN – 0343-1071



Gemeinsame Jahrestagung  
der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz und  
der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft  
24.-29. August 2019, Bern



<https://www.myswitzerland.com>

**„Erd-reich und Boden-Landschaften“**

**Exkursionsführer**

## Tagungsveranstalter und Danksagung

Die Tagung wird veranstaltet von der **Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz** und der **Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft** in Zusammenarbeit mit der **Universität Bern** (Prof. Dr. *Heinz Veit*, Geographisches Institut und Prof. Dr. *Sandra Spielvogel*, jetzt Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).

Die Veranstalter bedanken sich herzlich bei den folgenden Institutionen und deren Mitarbeiter\*innen, die sich an der Vorbereitung und Durchführung der Exkursionen beteiligten:

- Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Agroscope (V. Prasuhn, P. Weisskopf, T. Bucheli, T. Keller, E. Spiess, M. van der Heijden, S. Mangold, J. Mayer, P. Schwab, F. Wettstein, F. Widmer, R. Wittwer, U. Zihlmann)
- Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, LANAT, Fachstelle Bodenschutz, Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion (A. Chervet, L. Ramseier, W. Sturny)
- Amt für Landwirtschaft und Natur Kanton Zürich, Fachstelle Bodenschutz, Abteilung Bodennutzung und Bauwesen (C. Wanner)
- Amt für Umwelt Kanton Solothurn (G. von Rohr)
- Aufdereggen, Julen + Zenzünen AG, Bodenkundliche Baubegleitung (S. Julen)
- Basler & Hofmann AG, Bodenkundliche Baubegleitung (M. Laustela)
- Büro für Bodenkommunikation Überlingen am Bodensee (Nikola Patzel)
- Bundesamt für Landwirtschaft, BLW (P. Hellemann)
- Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (I. Brunner, F. Hagedorn, J. Luster, P. Schleppei, L. Walthert, S. Zimmermann)
- Erziehungsdirektion des Kantons Bern, Amt für Kultur / Archäologischer Dienst (A. Baeriswyl)
- Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, FiBL (E.K. Bünemann, H. Frick, A. Fliessbach, M. Krauss, P. Mäder, M. Steffens)
- Gasche-Bodengutachten GmbH (T. Gasche)
- Gemeinde Lauwil, Gemeinderat (T. Mosimann)
- Gutachterbüro TerrAquat (W. Bischoff, A. Schwarz)
- Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Abteilung Agronomie, Professur für Bodenkunde (S. Burgos, M. Müller)
- Hof Wellberg (A. Peter, W. Peter)
- Inforama Seeland, Bildungs-, Beratungs- und Tagungszentrum, Ins (M. Freund, M. Hirschi)
- Kanton Solothurn, Amt für Umwelt (R. Hug)
- Müller Gemüseulturen (V. Müller)
- Seminarhotel Möschenberg (W. Scheidegger)
- Solothurner Bauernverband, SOBV (P. Brügger)
- StadtLand Bern (N. Mathys, R. Nussbaum)
- Universität Basel, Department Umweltwissenschaften und Botanischer Garten (C. Alewell, A. Kahmen, S. Lustenberger, B. Erny, E. Zemp)
- Universität Bern, Geographisches Institut und Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (T. Berger, T. Brey, U. Wiesmann)
- Université de Lausanne, Faculté des géosciences et de l'environnement, Institut des dynamiques de la surface terrestre (S. Grand)
- Universität Neuenburg, Zentrum für Hydrogeologie (D. Hunkeler, H. Wey)
- Universität Zürich, Geographisches Institut, Bodenkunde und Biogeochemie (S. Abiven, M.W.I. Schmidt, L. Wehrli-Zumsteg)
- Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, Abteilung Naturförderung (R. Keller, R. Wyss)
- Zentrum Paul Klee Bern, ZPK (F. Aebersold)
- Zweckverband Wasserversorgung Untergäu (T. Jäggi)

Ein besonderer Dank gilt der Geschäftsstelle der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz für ihre Unterstützung in allen organisatorischen Fragen vor Ort.

# Exkursionsziele der BGS-DBG Tagung 2019



Kartenbasis: <https://www.welt-atlas.de>

## Legende

- |      |       |  |
|------|-------|--|
| ● G1 | ● G9  |  <span style="font-size: 24pt; font-weight: bold;">H1-H4, K1</span> |
| ● G2 | ● G10 |  |
| ● G3 | ● G11 |  |
| ● G4 | ● G12 |  |
| ● G5 | ● G13 |  |
| ● G6 |       |  |
| ● G7 | ● Z1  |  |
| ● G8 | ● Z2  |  |

# Inhaltsverzeichnis

**Anmerkung:** Teile dieses Exkursionsführers sind nach den Regeln der Schweizer Rechtschreibung und Grammatik verfasst.

## 1. Allgemeiner Teil

1.1 Einführung: Die Stadt Bern und das Berner Umland .....	1
1.2 Geologie der Schweiz .....	4
1.3 Klima und Vegetation der Schweiz .....	8
1.4 Hydrologie der Schweiz .....	12
1.5 Bodenkartierung, Bodeninformationssysteme, Böden und Bodenschutz in der Schweiz .....	21

## 2. Exkursionsbeschreibungen

### A) Zweitagesexkursionen

Z-01: Exkursion in den Schweizerischen Nationalpark in Graubünden (S. Zimmermann, I. Brunner) .....	33
Z-02: Gebirgsböden im Wandel der Zeit (S. Burgos, S. Julen, M. Laustela, S. Amrein). .....	54

### B) Ganztagesexkursion Samstag

G-01: Das Rotmoos in Innereriz und die Wurzeln des Biolandbaus im Emmental und Napf (R. Keller, R. Wyss, N. Patzel, C. Wanner, A. Peter, W. Peter, W. Scheidegger) .....	67
--	----

### C) Ganztagesexkursionen Sonntag

G-02: Bodenforschung an der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Agroscope (V. Prasuhn, P. Weisskopf, T. Bucheli, T. Keller, E. Spiess, M. van der Heijden, S. Mangold, J. Mayer, P. Schwab, F. Wettstein, F. Widmer, R. Wittwer) .....	84
G-03: Grundwasserverträglicher Acker- und Gemüsebau in der Region Gäu-Olten (E.K. Bünemann, H. Frick, H. Wey, D. Hunkeler, W. Bischoff, A. Schwarz, R. Hug, T. Gasche, V. Müller, T. Jäggi) .....	100
G-04: 40 Jahre Forschung für den biologischen Landbau: Langzeitversuche zum Vergleich von Agrarsystemen im DOK-Versuch (Therwil, Basel-Landschaft) und zu konservierender Bodenbearbeitung (Frick, Aargau) (M. Steffens, M. Krauss, A. Fliessbach, P. Mäder) .....	110
G-05: Jungquartäre Bodenentwicklung im Schweizer Mittelland (H. Veit) .....	116
G-06: Föhrensterben im Wallis: Auswirkung von Trockenheit auf den Wasser- und Kohlenstoffkreislauf des Pfywaldes (F. Hagedorn, L. Walthert, J. Luster) .....	125
G-07: Terrestrial Carbon Cycling: The Research Site Lägeren (M.W.I. Schmidt, S. Abiven, L. Wehrli-Zumsteg) .....	137
G-08: The Swiss Canopy Crane Experiment II and the Botanical Garden (University Basel) (A. Kahmen, S. Lustenberger, E. Zemp, B. Erny) .....	146
G-09: Micro to nano-scale elemental and isotopic analyses of soil samples: Challenges and opportunities (Lab visit at the Centre for Advanced Surface Analysis) (S. Grand) .....	151

### D) Ganztagesexkursionen Donnerstag

G-10: Long-term experimental nitrogen addition to a subalpine <i>Picea abies</i> forest (P. Schleppi) .....	154
---	-----

G-11: Entwässerte, landwirtschaftlich genutzte Torfböden beurteilen und nach Bedarf aufwerten (U. Zihlmann, P. Weisskopf, M. Müller, M. Freund, M. Hirschi, A. Chervet, L. Ramseier, W. Sturny).....	163
G-12: Landschaften und Böden im Nordwestschweizer Jura mit einem Ausflug in die schweizerische Gemeindedemokratie (T. Mosimann, C. Alewell).....	179
G-13: Rückblick auf die Erfahrungen bei der Bewertung und Beanspruchung von Böden beim Infrastrukturbau (P. Hellemann, P. Brügger, G. von Rohr, M. Laustela) .....	201
<b>E) Halbtagesexkursionen Donnerstag</b>	
H-01: Bern-entsorgt: Ein Rundgang durch den Stadtorganismus (A. Baeriswyl, N. Mathys, R. Nussbaum).....	208
H-02: Bern im Quartär: Eine Hauptstadt in ihrer Umwelt (H. Veit) .....	212
H-03: Das Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung und Umwelt (CDE) (T. Brey, U. Wiesmann, T. Berger, M. Müller).....	219
H-04: Das Gut Fruchtländ und das Zentrum Paul Klee (F. Aebersold) .....	223
<b>F) Kinderexkursion Dienstag</b>	
K-01: Kinderexkursion nach Liebefeld: Ein Rundgang zum Thema Nachhaltigkeit, Naturschutz und Naturerlebnis (R. Nussbaum und Mitarbeiter).....	229

# 1.1 Einführung: Die Stadt Bern und das Berner Umland

---

## Anmerkung

Die folgenden Abschnitte sind in weiten Teilen dem Artikel „Bern: Stadtgeschichte“ und den Büchern „Der Grossraum Bern“, sowie „Biodiversität in der Stadt Bern“ entnommen (Bern: Stadtgeschichte, <https://www.goruma.de>; Keating G. und Hasenmaile F. (Hrsg.): Der Grossraum Bern, Struktur und Perspektiven, Swiss Issues Regionen, 2014, 35 Seiten; Stadtgrün Bern (Hrsg.): Biodiversität der Stadt Bern, Postfach 8332, 3001 Bern, [natur@bern.ch](mailto:natur@bern.ch), 2014, 47 Seiten).

## Eine kurze Stadtgeschichte von Bern

Das Gebiet um Bern war bereits seit dem 5. Jahrhundert v. Chr. besiedelt. Allerdings war es erst im Jahre 1191, als der Herzog Berchthold V. von Zähringen (Abb. 1) die Stadt gründete.

Des Herzog Berchtholds Ideen für die Strukturierung der Stadt waren alles andere als unklar: Den Schutz der Stadt sicherte er durch die Lage auf einer Landzunge; so wurde Bern an einer Biegung der Aare angelegt und war somit von allen Seiten aus geschützt.



Abb. 1: Herzog Berthold V. von Zähringen (T. Asthalter; Bildquelle: <https://www.goruma.de/staedte/bern>)

Auf der Stadtseite, auf der diese natürliche Sicherheit durch den Fluss nicht gesichert war, ließ Berchthold eine Mauer errichten. Im Jahre 1218 starb das Geschlecht der Zähringer aus und Bern wurde Freie Reichsstadt, war nun also direkt dem Kaiser unterstellt und genoss die damit verbundenen Rechte.

Durch die sichere Lage an der Aare wuchs die Stadt Bern sehr rasch und dehnte sich ins westliche Umland aus.

Davon zeugen noch die Wehrtürme der Stadt: 1256 der Zeitglockenturm, 1345 der Käfigturm, 1622 der Christoffelturm. Weitere Sicherheitsanlagen kamen in Folge des Dreißigjährigen Krieges (1618-1648) hinzu und wurden Schanzen genannt.

Nach mehreren Siegen erreichte Bern im 14. Jahrhundert seine völlige Unabhängigkeit. Dazu hatte es zuvor über Freiburg und die Habsburger triumphiert (1298 Schlacht von Dornbühl) und später über die Burgunder (Laupenkrieg 1339). Den Laupenkrieg konnte Bern indes nur gewinnen, weil es von drei weiteren Waldstätten unterstützt worden war: Schwyz, Unterwalden und Uri. Mit diesen drei Städten hatte sich Bern im Jahre 1323 verbündet. Im Jahre 1353 dann trat Bern dem Bund der Innerschweizer Waldstätten bei. Es war somit die achte Mitgliedsstadt.

Das Jahr 1405 war das Jahr des großen Brandes, in dessen Verlauf weite Teile der aus Holz erbauten Stadt zerstört wurden. Der anschließende Wiederaufbau erfolgte unter Verwendung des charakteristischen Sandsteins als Baumaterial. Zur damaligen Zeit entstand auch das mittelalterliche Stadtbild, das dem Bern-Besucher der Gegenwart noch immer präsentiert werden kann.

Im Jahre 1848 dann wurde Bern durch die erste Eidgenössische Bundesversammlung zum Sitz der Bundesbehörden bestimmt, was es noch heute ist.

## Der heutige Grossraum Bern auf einen Blick

### Die Stadt Bern und ihr Umland als Naturraum

Bern liegt mit rund 550 Höhenmetern in der submontanen Stufe, im Hügelvorland der Alpen. Es treffen hier natürlicherweise Floren- und Faunenelemente der Voralpen mit denjenigen des tieferen Mittellandes zusammen, was eine grosse potenzielle Artenvielfalt zur Folge hat. Dieses Potenzial wird ergänzt durch das besondere warm-trockene Stadtklima, welches auch wärmebedürftigen Organismen günstige Bedingungen bietet.

Die Stadt Bern wird von den Hügelzügen des Gurtens und des Bantigers begrenzt und stellt eine von Süden nach Norden tendenziell abfallende Fläche dar. Diese Fläche weist ein kleinräumig ausgeprägtes Relief mit Höhenzügen, kleinen Kuppen, Plateaus, Mulden sowie grösseren und kleineren Tälern auf.

Die Aare ist die landschaftliche und ökologische Lebensader Berns. Der die Stadt durchziehende Aareraum prägt nicht nur die Landschaft von Bern, sondern bestimmt massgebend auch ihr

ökologisches Potenzial. Das ausserhalb des Gemeindegebiets noch breite Aaretal verengt sich in der Stadt zusehends und bildet ab Beginn der Flussschleife um die Altstadt ein schmales Tal mit teilweise steilen Hängen wechselnder Expositionen. Die Aare selbst ist Lebensraum für diverse Tier- und Pflanzenarten, vernetzt aber auch – zusammen mit dem von Grünzonen durchzogenen Aarehang – zahlreiche Lebensräume miteinander. Gesamthaft ergibt sich im Zusammenspiel des Aareraums, der zahlreichen Waldflächen in und um die Stadt herum sowie öffentlichen und privaten Grünflächen ein gut durchgrüntes Stadtbild.

Der westliche Teil der Gemeinde Bern, ca. ein Viertel des gesamten Gemeindegebiets, ist ländlich geprägt. Die typischen Strukturen der traditionellen Landwirtschaft, wie Hecken und Feldobstgärten, sind jedoch wie überall in der Schweiz mit der Intensivierung und Mechanisierung der landwirtschaftlichen Nutzung stetig zurückgegangen.

Der Grossraum Bern im regionalen Kontext

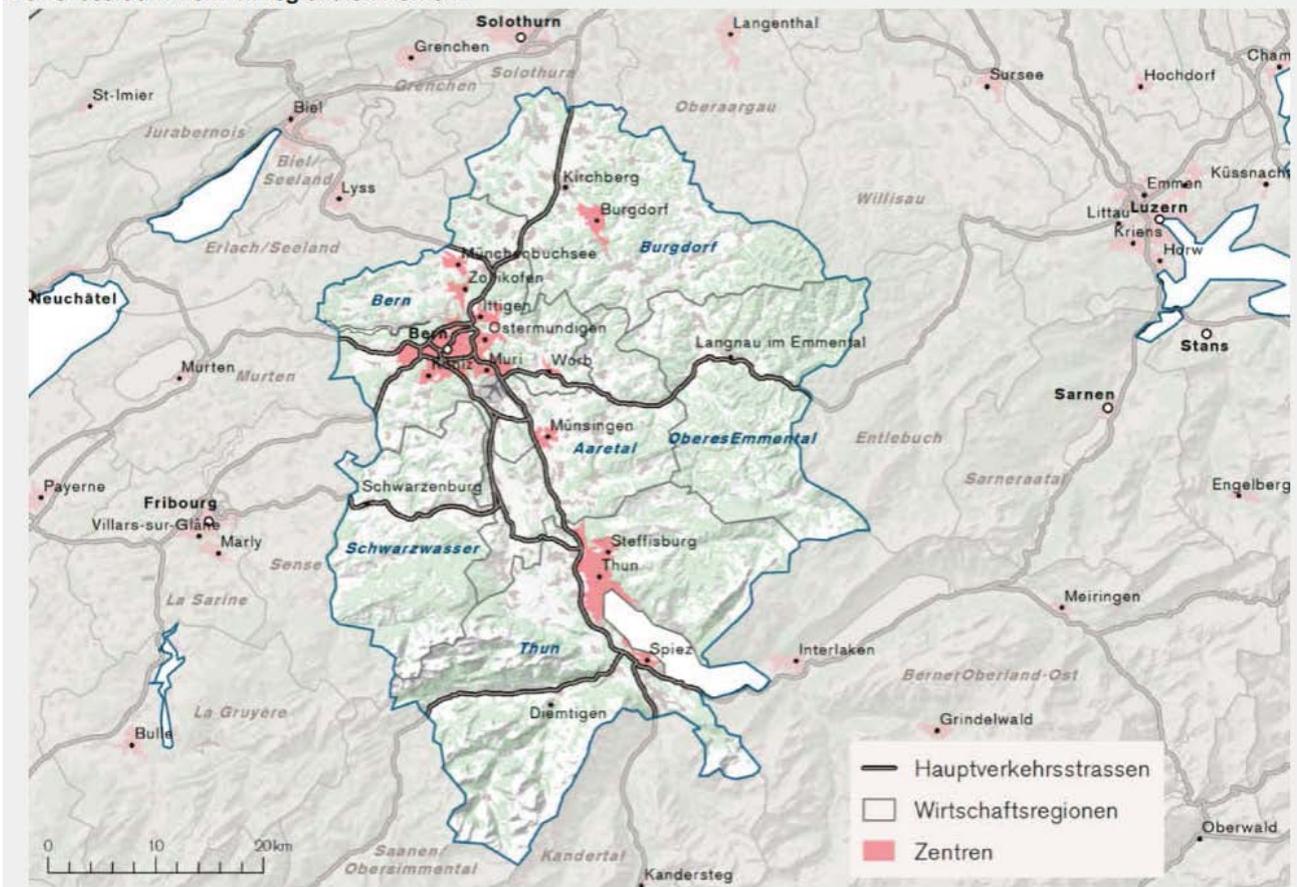


Abb. 2: Hauptverkehrsachsen, Wirtschaftsregionen und Zentren im Grossraum Bern (Quelle: Der Grossraum Bern, Struktur und Perspektiven, Swiss Issues Regionen, 2014, S. 6)

## Konjunktur

Das Bruttoinlandprodukt der Region Bern beläuft sich auf über CHF 31.7 Mrd. bzw. 5.4% des Schweizer BIP. Einzig die Regionen Zürich-Stadt und Genf erbringen eine höhere Wertschöpfung. Das BIP im Grossraum Bern summiert sich auf rund 8% des Schweizer Totals, was mit demjenigen des Kantons Genf vergleichbar ist.

Aufgrund ihrer Rolle als Strassen- und Bahnknotenpunkt ist die Stadt Bern bestens mit den anderen Schweizer Wirtschaftsräumen verbunden (Abb. 2).

## Branchenstruktur

Der Grossraum Bern verzeichnet 320'000 Beschäftigte, wovon rund 210'000 auf die Region Bern entfallen (Abb. 3). Damit sind 8.2% der Schweizer Beschäftigten im Grossraum Bern tätig, davon 5.6% in der öffentlichen Verwaltung. Der Grossraum Bern beherbergt damit annähernd einen Viertel aller Schweizer Beschäftigten der öffentlichen Verwaltung. In der Stadtregion Bern ist der Anteil der Beschäftigten in der öffentlichen Verwaltung mit 13.6% erwartungsgemäss am höchsten. Einen vergleichbar hohen Wert erreicht die Region Bellinzona mit 10.2%.

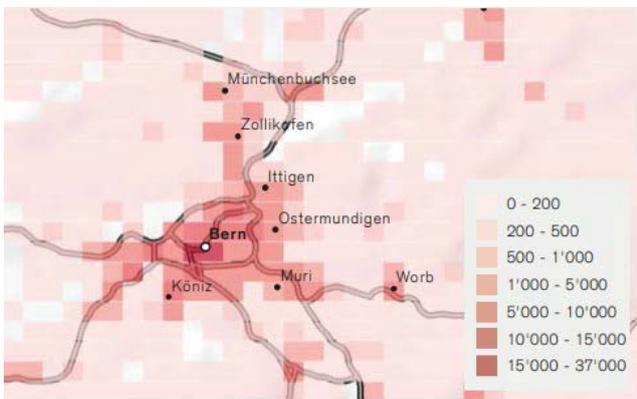


Abb. 3: Beschäftigungsdichte im Grossraum Bern (Beschäftigte pro km<sup>2</sup>, 2011). (Quelle: Bundesamt für Statistik, in: Der Grossraum Bern, Struktur und Perspektiven, Swiss Issues Regionen, 2014, S. 17)

Die Stadtregion Bern ist wirtschaftlich stark auf Grossunternehmen konzentriert, wozu statistisch auch die Bundesverwaltung zählt. Jeder vierte Arbeitsplatz ist in Organisationen mit mehr als 250 Mitarbeitern angesiedelt. Dem gegenüber stehen die ländlichen Regionen, wo gut die Hälfte der Beschäftigten in Mikrounternehmen tätig sind (Abb. 4).

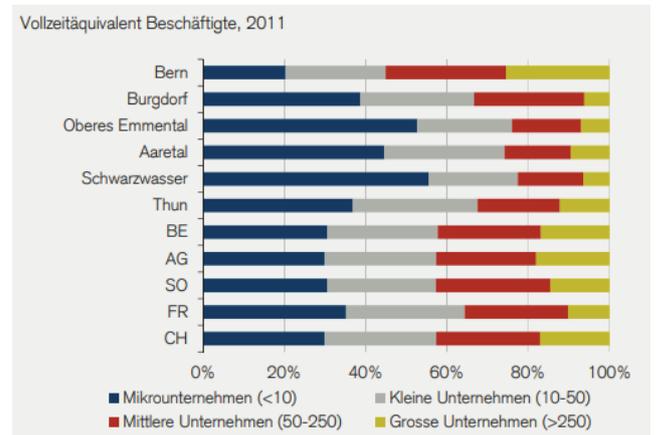


Abb. 4: Beschäftigte nach Unternehmensgrösse im Grossraum Bern (Beschäftigte pro km<sup>2</sup>, 2011). (Quelle: Bundesamt für Statistik, in: Der Grossraum Bern, Struktur und Perspektiven, Swiss Issues Regionen, 2014, S. 17)

## Demographie

Im Kanton Bern leben rund 1 Mio. Menschen, 60% davon im Grossraum Bern. Die bevölkerungsreichste Region ist mit 300'000 Personen die Hauptstadtregion Bern. Mehr als die Hälfte der Kantonsbevölkerung konzentriert sich auf die Städte Bern, Biel, Burgdorf, Interlaken und Thun.

Grosszentren haben die Rolle, Motor und Innovationstreiber auch für ihr Umfeld zu sein. Aus Sicht von Bevölkerungs- und Beschäftigungswachstum entwickelt sich der Grossraum Bern langsamer als andere Landesteile. Die Spillover-Effekte der Stadt auf ihr näheres Umfeld wirken weniger stark als etwa im Umfeld von Lausanne, Basel oder Zürich. Verschiedene Indikatoren zeigen, dass die wirtschaftliche Dynamik des Grossraums Bern hinter derjenigen anderer Wirtschaftsräume zurückbleibt. Umgekehrt hat dies die Immobilienpreise und Überhitzungsgefahren weniger stark angetrieben. Ausserdem lässt sich wirtschaftlicher Erfolg nicht nur in Wachstumszahlen messen: Dichtestress, Zersiedlung, Verdrängungseffekte und ein nicht nachhaltiger Verbrauch von Landressourcen sind im Grossraum Bern entsprechend weniger drängende Themen als etwa im Genferseeraum oder im Raum Zürich.

# 1.2 Geologie der Schweiz

## Anmerkung

Die folgenden Abschnitte sind in weiten Teilen dem Artikel „Geologie Schweiz“ entnommen (Nat. Genossenschaft zur Lagerung radioaktiver Abfälle CH (nagra): <https://www.nagra.ch/de/geologieschweiz.htm>)

## Einleitung

Die Schweiz bietet auf kleinster Fläche eine Vielfalt von Landschaftsformen – vom Alpenbogen über das Mittelland bis zum Jura. Meeresablagerungen, die Faltung der Alpen und des Juras, die Abtragung der Gebirge sowie die Vergletscherungen prägten das Aussehen der heutigen Schweiz (Abb. 1).

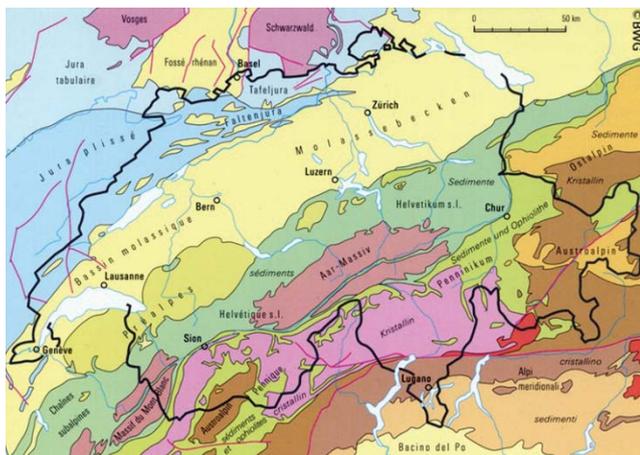


Abb. 1: Geologische Karte der Schweiz (Quelle: swisstopo; aus: <https://www.nagra.ch/de/geologieschweiz.htm>)

Die Schweiz lässt sich von Norden nach Süden in vier unterscheidbare Einheiten gliedern. In der vereinfachten Karte sind diese gut ersichtlich (Abb. 2 und 3):

- Falten- und Tafeljura im Norden und Nordwesten bestehend aus Kalken, Mergeln, Tonen und Anhydrit/Gips
- Mittelland mit Molassebecken gefüllt mit Sandsteinen, Nagelfluh, Silt und Mergeln
- Nordalpen mit Helvetikum vor allem aus Mergeln und Kalken
- Zentral- und Südalpen mit Kristallin vor allem aus Graniten und Gneisen.

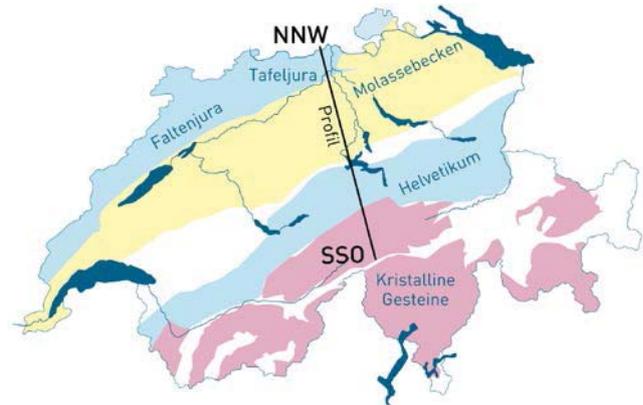


Abb. 2: Vereinfachte geologische Karte der Schweiz mit Profillinie (Quelle: Nagra, <https://www.nagra.ch/de/geologieschweiz.htm>)

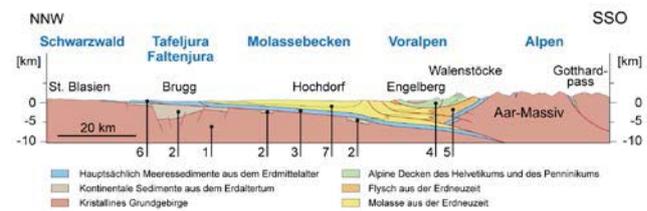


Abb. 3: Geologisches Profil der Schweiz von Nordnordwesten nach Südsüdosten (Quelle: Nagra, <https://www.nagra.ch/de/geologieschweiz.htm>). Erklärung zu den Ziffern: Siehe Text.

Kristalline Tiefen-, Umwandlungs- und Ganggesteine [1] entstanden in der Erdkruste. Vor über 250 Millionen Jahren senkten sich in der Perm- und der Karbon-Zeit Tröge [2] ins kristalline Grundgebirge ein. Diese wurden dann mit Abtragungsschutt des umliegenden Gebirges gefüllt. Die Überreste eines solchen Permokarbondrogs finden sich unter der Nordschweiz zwischen Frick und Konstanz.

In der Jura-Zeit war die Schweiz meistens von einem Meer bedeckt. Am Ozeanboden lagerten sich Sedimente ab, die heute als Gesteine [3] auf dem älteren Untergrund liegen. In der späten Kreidezeit und im Tertiär wurden durch Zusammenschieben der adriatischen und der eurasischen Erdplatte die Alpen gebildet. Während einer relativ späten Phase der Alpenbildung wurden die Gesteine des helvetischen Ablagerungsraumes in Gesteinsstapel zerlegt, verfault und nach Norden verfrachtet [4]. Zwischen den Sta-

peln liegt das noch ins Meer geschüttete Abtragungsmaterial der sich bildenden Alpen [Flys 5]. Weiteres Abtragungsmaterial der sich hebenden Alpen, sogenannte Molasse, sammelte sich vor den Alpen im Molassebecken [7] an.

Der Druck der entstehenden Alpen wirkte sich bis in die Nordschweiz aus. Durch diesen Druck wurden die Sedimentgesteine vom kristallinen Untergrund abgesichert und zum Faltenjura [6] aufgefaltet.

### **Falten- und Tafeljura**

Falten- und Tafeljura bestehen im Wesentlichen aus den Gesteinen Kalk, Mergel und Ton sowie Anhydrit/Gips. Der von der Nordwestschweiz bis in die Region Schaffhausen verlaufende Tafeljura bildet aufgrund der unterschiedlichen Erodierbarkeit dieser Gesteinstypen eine sogenannte Schichtstufenlandschaft. Vor allem in der Nordwestschweiz sind die Schichten zusätzlich durch Nord-Süd-verlaufende Störungszonen in Schollen aufgeteilt. Diese typische Oberflächengestalt des Tafeljuras mit höher gelegenen Bereichen und Tälern, bekannt als Bruchschollengebirge, bildete sich mit der Entstehung des Rheingraben in der Erdneuzeit, vor rund 40 Millionen Jahren.

Der Faltenjura beschreibt einen Bogen, der von der Region Genf und dem angrenzenden Frankreich im Westen bis nach Baden im Osten verläuft. Im Faltenjura wurden die Sedimentgesteine aufgrund der alpinen Gebirgsbildung gestaucht und dabei verfaltet. Der Faltenjura wird nur an einzelnen Stellen von engen Quertälern, den Klusen, durchbrochen. Durch eine Klus führt häufig eine Strasse; sonst brauchen Strassenverbindungen einen Tunnel oder Pass.

### **Molasse – Mittelland**

Das Mittelland liegt zwischen dem Jura im Norden und den Alpen im Süden und erstreckt sich vom Bodensee bis an den Genfersee. Es ist durch markante Flussläufe und Seen geprägt.

Tief im Untergrund des Mittellands befindet sich das kristalline Grundgebirge. Darauf liegen Sedimentabfolgen aus dem Erdmittelalter (vor allem Meeressedimente wie Kalke und Tone). Darüber liegt die sogenannte Molasse, Abtragungsschutt aus den entstehenden Alpen. In der Endphase der Alpenbildung sank die Erdkruste unter der

Last des Gebirges und es entstand im Alpenvorland eine Senke. Diese wurde laufend mit Ablagerungsschutt (Geröll, Sand, Silt und Tone) aufgefüllt, der von Flüssen während rund 30 Millionen Jahren aus den Alpen nach Norden transportiert wurde – das Molassebecken bildete sich.

Erosionsschutt aus den Alpen wurde im Meer respektive in Seen und Flusstälern abgelagert; dementsprechend gibt es Meeres- und Süsswassermolasse (Abb. 4). Die Ablagerung erfolgte sortiert nach Korngrösse: Feinere Partikel wie Tonplättchen wurden weit ins Meer hinaus transportiert, bis an den Rand des heutigen Jura. Größere Partikel konnten in den Flüssen nicht so lange in Schwebe gehalten werden und blieben näher an den Alpen in den Flüssen liegen, beispielsweise als Kiesbänke. Meeresmolasse ist feinkörnig und besteht aus Mergel, Sandstein, Silt und Ton. Süsswassermolasse enthält mehr grobkörnige Anteil wie Nagelfluh und Sandstein. Verschiedene Schichten sind reich an Versteinerungen: Süsswassermolasse enthält Blätter, Süsswasserschnecken und -muscheln; Meeresmolasse enthält Meeresschnecken und -muscheln sowie Hai-fischzähne.



Abb. 4: Landschaft im Zürcher Weinland mit Blick über das Molassebecken bis zu den Alpen. (Quelle: Nagra, <https://www.nagra.ch/de/geologieschweiz.htm>).

### **Untere Meeresmolasse**

In die Senke, die in der Endphase der Alpenbildung im Mittelland entstand, drang Meerwasser ein. Sedimente wie Mergel und Sandsteine, die vor zirka 35 bis 30 Millionen Jahren darin abgelagert wurden, gehören zur Unteren Meeresmolasse.

### **Untere Süsswassermolasse**

Vor rund 30 Millionen Jahren wurden – als Folge der verstärkten Hebung der Alpen – grössere Mengen an Abtragungsschutt ins Molassebecken verfrachtet, so dass das Meer schnell verlandete. Die Sedimente, die dann vor 30 bis 20 Millionen Jahren vor allem in Flüssen abgelagert wurden, gehören zur Unteren Süsswassermolasse. Die grobkörnigeren Komponenten wurden als Nagelfluh abgelagert. In einer späten Phase der Alpenfaltung wurden die Alpen-nah gelegenen Molassegesteine ihrerseits zusammengestaucht, verschoben und aus dem Molassebecken gehoben.

### **Obere Meeresmolasse**

Als der Meeresspiegel anstieg, wurde das Mittelland vor zirka 20 Millionen Jahren erneut vom Meer überflutet. Im schmalen Flachmeer lagerten sich vor zirka 20 bis 18 Millionen Jahren die Sedimente der Oberen Meeresmolasse wie Sandstein und Mergel ab. Gleichzeitig bildeten sich Deltas und bereits Schuttfächer.

### **Obere Süsswassermolasse**

Vor 18 bis 14 Millionen Jahren zog sich das Meer wieder zurück. Im Mittelland gab es viele Seen und Flüsse, mit viel Kies sowie ausgedehnte Schwemmebenen mit Sand, Silt und Schlamm. Diese Sedimente der Oberen Süsswassermolasse wurden zu Konglomeraten wie Nagelfluh, Sandsteinen und Mergeln verfestigt.

### **Das Mittelland wird durch die Eiszeit geprägt**

Über der Molasse liegen Lockergesteine (Schotter, Geröll, Kies, Sand, Silt, Ton ...) aus den Eiszeiten der letzten zwei Millionen Jahre, die durch Flüsse und Gletscher verfrachtet wurden. Die Gletscher und das Schmelzwasser haben die heutige Mittelland-Topografie wesentlich geprägt. Davon zeugen die zahlreichen Südsüdost-Nordnordwest verlaufenden und lang gezogenen Alpenrandseen, deren Felsbett meist unter mächtigen Lockergesteinen liegt. Diese glazialen Lockergesteine sind nicht verfestigt und bilden daher zum Teil einen schwierigen Baugrund, bieten aber auch Rohstoffe in Form von Kies und Trinkwasservorräten.

### **Helvetikum – Die Nordalpen**

Die Schweizer Alpen lassen sich aus Schweizer Sicht in Nord-, Zentral- und Südalpen unterteilen;

insbesondere für den gesamten Alpenbogen gibt es aber noch weitere Einteilungen. Das sogenannte Helvetikum bildet vom Thunersee bis ins Rheintal den Alpennordrand. Es besteht aus kalkigen und mergeligen Sedimenten, die sich in der Zeit vor 250 bis 65 Millionen Jahren im flachen Urmittelmeer (Tethys) abgelagerten.

Der Druck während der Gebirgsbildung verformte die Gesteine im Bereich des Alpengürtels. Viele der Sedimente aus der Tethys sind heute nicht mehr an ihrem Ablagerungsort, denn sie wurden abgeschert, verfaltet und mehrere Kilometer nach Norden transportiert. Dies lässt sich beim Helvetikum erkennen: In einer späten Phase der Alpenbildung wurden die helvetischen Sedimente durch den Druck der von Süden vorrückenden afrikanischen Kontinentalplatte vom kristallinen Untergrund abgeschert und bis zu 50 Kilometer weit nach Nordwesten überschoben, wo sie heute mächtige Deckenstapel bilden. Die in den Gesteinspaketen enthaltenen, weichen Schichten aus Mergel und Tonschiefer dienten als Schmiermaterial. Helvetische Decken treten beispielsweise beim Säntis, Titlis und den Churfürsten auf (Abb. 5).



Abb. 5: Die Churfürsten sind ein eindrückliches Beispiel für die Deckenstapel des Helvetikums. (Quelle: swisseduc, Dr. Jürg Alean; aus: Nagra, <https://www.nagra.ch/de/geologie-schweiz.htm>)

### **Kristallin – Die Zentral- und Südalpen**

Die Schweizer Alpen bilden den zentralen Teil des gesamten Alpenbogens, der sich von Nizza am Mittelmeer bis nach Wien erstreckt. Die hohen Erhebungen und Gletscher sind charakteristisch für die Zentralalpen, die neben Sedimentgesteinen auch kristalline und metamorphe Gesteine enthalten. Viele Gipfel sind noch spitz und scharfkantig, denn sie wurden während der Eiszeiten

nicht von Eis bedeckt beziehungsweise nicht von diesem abgeschliffen (Abb. 6).

Die Alpenbildung setzte am Ende der Kreidezeit vor rund 80 Millionen Jahren ein, als Folge der beginnenden Kollision der afrikanischen mit der eurasischen Platte, und erfuhr ihren Höhepunkt vor etwa 30 Millionen Jahren. Durch den Schub aus Süden und die Einengung der Gesteinsmassen wichen diese nicht nur in die Höhe, sondern auch in die Tiefe aus. Die Dicke der kontinentalen Erdkruste wuchs auf weit über 50 Kilometer an.

Die Alpen bestehen grösstenteils aus kontinentaler Kruste, die eine kleinere Dichte besitzt, als der darunterliegende Teil des Erdmantels. Aufgrund der Verdickung während der Alpenbildung ist die Erdkruste im Alpenraum dicker als im Vorland. Bereits als die Alpenbildung begann, wurde Material abgetragen und lagerte sich im Mittelland als Molasse ab (siehe oben). Die Gegend um Brig und um Chur hebt sich bis zu 1,5 Millimeter pro Jahr. In diesen Gebieten treten auch häufiger Erdbeben auf.



Abb. 6: Granitlandschaft in der Zentralschweiz. Die Kuppe in der Mitte des Bildes wurde durch Gletschereis rundgeschliffen, während die Spitzen im Hintergrund ihre Kanten behalten haben. (Quelle: Nagra, <https://www.nagra.ch/de/geologieschweiz.htm>)

### **Zentralmassive mit kristallinem Grundgebirge**

Während im Mittelland das kristalline Grundgebirge unter der Molasseschüttung und unter Meeressedimenten verdeckt liegt, ist es in den Zentralalpen sichtbar an der Oberfläche. Die Zentralmassive wie beispielsweise das Aar-, das Gotthard- oder das Mont Blanc-Massiv im Südwesten bestehen hauptsächlich aus granitischen Gesteinen und Gneisen. Der Druck während der Gebirgsbildung verformte die Gesteine im Bereich

des Alpengürtels stark. Sowohl das Aar- als auch das Gotthard-Massiv wurden zwar gestaucht aber nicht von ihrem Entstehungsort wegbewegt. Diese Massiven sind von Sedimenten umgeben, die verschiedentlich metamorph überprägt wurden.

### **Markante Störungszone durchs Tessin**

Weiter südlich im Tessin liegen zuerst die penninischen Kristallindecken und dann die «Insubrische Linie». Bei dieser markanten Störungszone, die von Osten nach Westen durch die Alpen verläuft, trifft die Adriatische Platte auf die Europäische Platte. Südlich dieser Linie liegen die Südalpen, die einerseits aus Kristallin und andererseits im Gebiet südlich von Lugano aus Sedimenten bestehen. Die Zentralalpen mit Penninikum und ein Grossteil der Südalpen bestehen somit aus Kristallin.

## 1.3 Klima und Vegetation der Schweiz

### Anmerkung

Die folgenden Abschnitte sind in weiten Teilen dem Artikel „Klima der Schweiz“ (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz: <https://www.meteoschweiz.ch/>) und der Seite „Die Schweiz“ (<https://www.swissbryophytes.ch/>) entnommen.

### Klima: Einleitung

Das Klima der Schweiz ist stark durch die Alpen wie auch vom Atlantik geprägt. Die Winter sind im nördlichen Flachland feucht-mild. In höheren Lagen wird es arktisch kalt. Oberhalb von etwa 1200-1500 Meter fällt der Niederschlag im Winter vorwiegend als Schnee. Die Alpensüdseite ist stark vom Mittelmeer beeinflusst. Folglich sind die Winter mild, die Sommer feuchtwarm bis heiss. Entlang des Alpenkamms gibt es im Sommer häufig Gewitter.

### Klima-Portrait Schweiz

Das Klima der Schweiz wird stark durch den Atlantik bestimmt. Mit den vorherrschenden Strömungen aus Westen und Nordwesten (Abb.1) gelangt vorwiegend feucht-milde Meeresluft in die Schweiz. Im Sommer wirkt sie kühlend, im Winter wärmend, und das ganze Jahr hindurch fällt in den meisten Gebieten der Schweiz genügend Niederschlag.

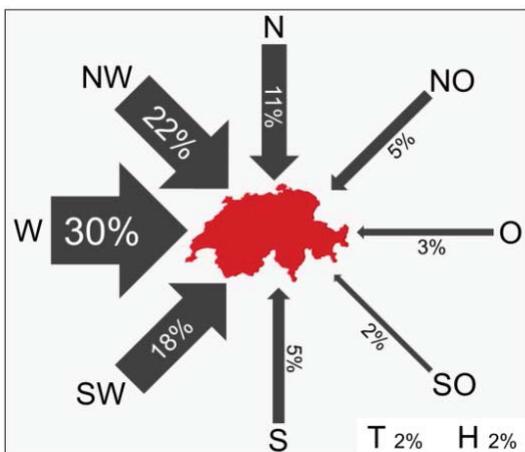


Abb. 1: Häufigkeiten der Anströmungsrichtungen über der Schweiz für alle Tage des Jahres. T: Tiefdruckgebiet direkt über der Schweiz, H: Hochdruckgebiet direkt über der Schweiz. (Quelle: <https://www.meteoschweiz.admin.ch>)

Die Alpen wirken dabei als markante Klimaschranke zwischen der Nord- und der Südschweiz.

Die Südschweiz wird hauptsächlich vom Mittelmeer beeinflusst. Das Klima dort unterscheidet sich vom Norden vor allem durch deutlich mildere Winter.

### Trockenheit in den inneralpinen Tälern

Die Alpen erzeugen – neben ihrer dominanten Wirkung als Klimaschranke zwischen Nord und Süd – zusätzlich mehrere verschiedene Klimabereiche. Dazu gehören die inneralpinen Täler. Sie haben ein ausgeprägtes, eigenes Klima, da sie gegen Niederschlag sowohl aus dem Norden als auch vom Süden abgeschirmt sind. Die Folge davon sind ganzjährig eher trockene Bedingungen.

Typische Vertreter dieser trockenen Täler sind das Wallis in der Südwestschweiz und das Engadin in der Südostschweiz. Im Wallis beträgt die durchschnittliche Niederschlagsmenge gebietsweise nur 500 bis 600 mm pro Jahr, im Engadin sind es regional zwischen 600 und 700 mm pro Jahr. Demgegenüber sind in den nördlichen Voralpen, den Alpen und der Südschweiz jährliche Niederschlagsmengen von ungefähr 2000 mm üblich. Im nördlichen Flachland beträgt die durchschnittliche Menge etwa 1000-1500 mm pro Jahr. Im Sommer fällt jeweils etwa doppelt so viel Niederschlag wie im Winter.

### Winterschnee

Ab einer Höhenlage von 1200-1500 m. ü. M. fällt der Niederschlag im Winter vorwiegend als Schnee, so dass hier oft wochenlang, in grösserer Höhe auch monatelang eine geschlossene Schneedecke vorhanden ist. Vergleichsweise selten schneit es in den Tieflagen der Westschweiz (Region Genf) und der Nordschweiz (Region Basel) sowie im Flachland ganz im Süden der Schweiz. In diesen – primär aufgrund der niedrigen Lage – wärmeren Regionen sind gänzlich schneefreie Winter keine Seltenheit.

## Milder Föhn

Eine spezifische Eigenheit des Schweizer Klimas ist der Föhn (Abb. 2). Dieser alpenquerende Wind erzeugt auf der dem Wind abgewandten Seite (Leeseite) ausgeprägt milde und trockene Bedingungen und häufig hohe Windgeschwindigkeiten. Es gibt sowohl Nord- als auch Südföhn. Südföhn sorgt für warme Bedingungen auf der Alpennordseite und tritt vor allem von Herbst bis Frühling auf. Am eindrucklichsten ist der Effekt des Föhns in den Nord-Süd-ausgerichteten Föhntälern, z.B. im Reusstal und im Rheintal

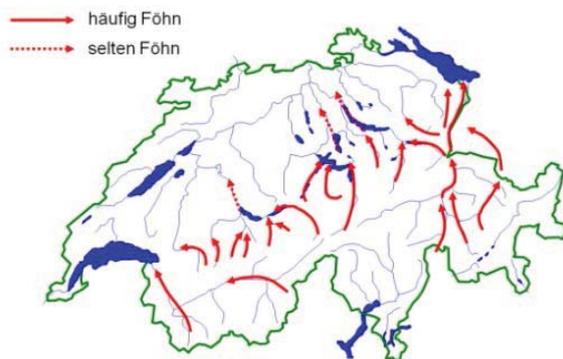


Abb. 2: Lage der Föhntäler und Strömungsrichtung der typischen Föhntäler bei Südföhn. (Quelle: <https://www.meteoschweiz.admin.ch>).

Nordföhn ist vor allem im Wintersemester ein wichtiger Klimafaktor für die Südschweiz. Er sorgt

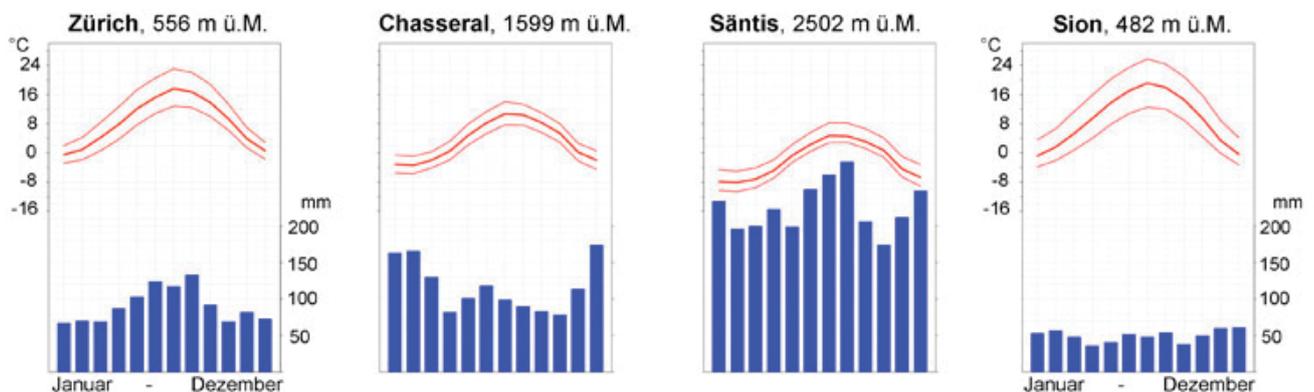


Abb. 3: Klimadiagramme: links Mittelland, Mitte links Jura, Mitte rechts Hochalpen, rechts Tal in den Zentralalpen; Mittelwerte der Jahre 1961-1990; (Quelle: Meteoschweiz; aus: <https://www.swissbryophytes.ch/>)

Auch in der Schweiz verändern sich die Jahrestemperaturgänge und –niederschläge unter dem Einfluss des Klimawandels merklich. Dies zeigt ein Blick auf die langjährige Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in der Schweiz seit 1864 deutlich (Abb. 4).

oft während einigen Tagen im Winter für schönes Wetter und milde Bedingungen im Tessin.

## Jahrestemperaturgang

Der Zusammenhang der Temperatur mit der Meereshöhe ist offensichtlich und wenig abhängig von anderen Faktoren, am ehesten von der Exposition. Die Jahresmittel reichen in der Schweiz von 11.5°C (in Locarno) bis unter -10°C (auf den höchsten Alpengipfeln). Die Differenzen zwischen Januar- und Julimittel betragen in ganz hohen Lagen unter 14°C, während sie z. B. in der Engiadina Bassa (Unterengadin) bis über 21°C steigen.

## Niederschlag (siehe auch Kapitel Hydrologie der Schweiz)

In der Schweiz bewegen sich die Jahresniederschlagsmengen zwischen 530 und ca. 4'000 mm. Sie sind weitgehend mit der Meereshöhe korreliert, wobei die trockensten Gebiete im Wallis liegen. Je nach Region fällt in der Schweiz an ca. 80 bis über 170 Tagen im Jahr mindestens 1 mm Regen oder Schnee. Menge und Häufigkeit der Niederschläge gehen weitgehend parallel. Nur in den höchsten Lagen und im Ticino (Tessin) regnet oder schneit es weniger häufig, als nach dem Jahresniederschlag zu erwarten wäre (Abb. 3).

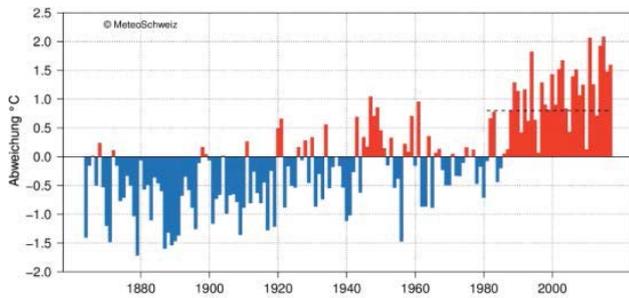


Abb. 4: Langjährige Entwicklung der Jahresmittel-Temperatur in der Schweiz seit 1864, dargestellt als Abweichung vom Mittel der Normperiode 1961-1990. (Quelle: <https://www.meteoschweiz.admin.ch>)

## Sonneneinstrahlung

Dauer und Intensität der Beschattung sind vor allem in den Alpen sehr verschieden und hängen vom Relief, von der Vegetation und vom Schnee ab (Abb. 5).

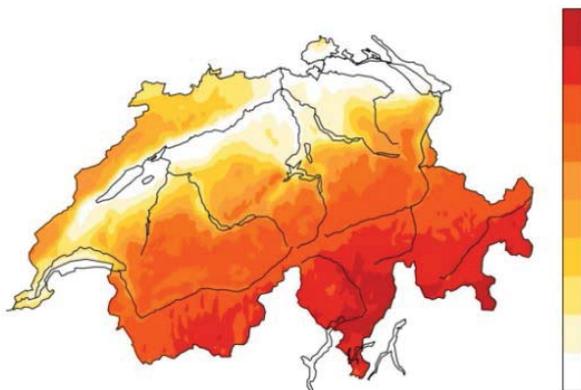


Abb. 5: Mittlere Sonnenscheindauer im Januar in der Schweiz. Dargestellt sind die Normwerte 1981-2010 der gemessenen Sonnenstunden im Verhältnis zur maximal möglichen Dauer. (Quelle: <https://www.meteoschweiz.admin.ch>)

## Die Vegetation der Schweiz

### Höhenstufen

Im Zusammenhang mit der Flora der Schweiz hat sich das Konzept der Höhenstufen bewährt (trotz gleicher Begriffe nicht gleich wie das deutsche Konzept). Die Übergänge liegen in Südlagen in der Regel höher als in Nordlagen. Die unterste, die kolline Stufe, reicht bis ca. 600 m im Norden und 900 m im Süden. Von hier bis ca. 1'200 oder 1'700 m erstreckt sich die montane Stufe. Die obere Grenze der oben anschliessenden subalpinen Stufe liegt im Jura bei den höchsten Erhebungen (ca. 1'600 m) und in den Zentralalpen zwischen 1'900 und 2'400 m. Sie entspricht der klimatischen Waldgrenze. Darüber befindet sich die alpine Stufe. In ihrem oberen Bereich bleibt,

den lokalen Verhältnissen und dem Verlauf der Witterung im betreffenden Jahr entsprechend, Schnee ganzjährig liegen (Abb. 6).

### Vegetationstypen

Natürliche Vegetation gibt es nur an wenig zugänglichen Stellen. Land- und Forstwirtschaft und Siedlungsbau haben die Landschaft verändert. Den grössten Anteil an der vom Menschen stark veränderten Vegetation haben Wiesen und Weiden. Die Beweidung der Gebirgsrasen hat die natürliche Waldgrenze um mehrere hundert Meter nach unten verschoben. Heute bedeckt Wald ca. 30% der Schweiz. Dies ist mehr als vor einigen Jahrzehnten, aber weniger als die Hälfte der ursprünglichen Waldfläche.

Der bisherige Stand des Wissens wird durch die jüngste Vegetationskarte der Schweiz von Hegg et al. (1993) vermittelt. Da eine Darstellung aller Pflanzengesellschaften der ganzen Schweiz in einer Übersichtskarte gar nicht möglich ist, werden sie zu "Vegetations-Landschaften" (VL) zusammengefasst. Dabei handelt es sich um "Landschaftsausschnitte, mit einem mehr oder weniger homogenen Inventar in Bezug auf Topographie, Geologie, Klima, Böden und Vegetation". Neun solche Einheiten werden unterschieden. Nur von den flächenmässig bedeutenden seien hier ihre wichtigsten Untereinheiten erwähnt:

- Auen, in den breiteren Ebenen der Fluss-täler.
- Eichen-Hainbuchen-Wälder (*Quercus*, *Carpinus betulus*) am Genfersee und im Süd-Tessin.
- Buchenwälder: Der flächenmässig wichtigste Waldtyp ist der Waldmeister-Buchenwald. Zu dieser Landschaft gehört der grösste Teil des Mittellandes. Im höheren Mittelland gibt es auch Tannenwälder (*Abies alba*). Heute dominieren landwirtschaftliche Kulturen und Wiesen.
- Kalk-Buchenwälder: Es handelt sich um die Landschaft mit der grössten Vielfalt an Pflanzengemeinschaften höherer Ordnung. Sie ist vor allem im Jura, aber auch in den Nordalpen-Tälern gut vertreten. Auch hier ist die Buche der häufigste Waldbaum, doch gibt es auch Laubmischwälder mit anderen Bäumen und sogar Nadelwälder.

- Föhrenwälder (*Pinus*) findet sich in den Zentralalpen, in der Engiadina Bassa (Unterengadin) und im Val Müstair (Münstertal). Wärmeliebende Pflanzengemeinschaften und Trockenvegetation, z. B. Berberitzengebüsch (*Berberis vulgaris*), aber auch Steppenrasen sind, neben weniger trockenen Wiesen, charakteristisch.
- Hopfenbuchen-Wälder (*Ostrya carpinifolia*) im südlichsten Tessin.
- Kastanienwälder (*Castanea sativa*) im Tessin und in den Südtälern des Kantons Graubünden.

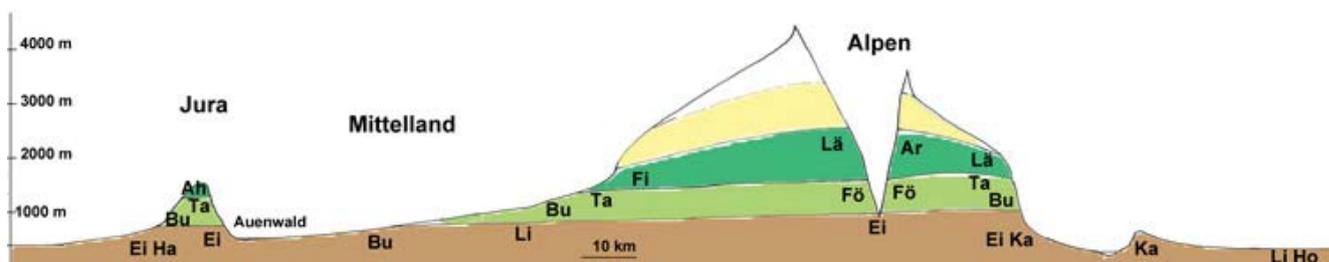


Abb. 6: Vegetationsprofil NNW—SSE durch die Schweiz von Basel nach Chiasso (zweimal gebrochen und ca. zehnfach überhöht). Braun = kolline Stufe; hellgrün = montane Stufe; dunkelgrün subalpine Stufe; gelb = untere alpine Stufe; weiss = alpine Stufe über der Schneegrenze; die wichtigsten Waldbäume: Ah = Ahorn (*Acer*), Ar = Arve (*Pinus cembra*), Bu = Buche (*Fagus sylvatica*), Fi = Fichte (*Picea abies*), Fö = Föhren (*Pinus* sp.), Ha = Hainbuche (*Carpinus betulus*), Ho = Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*), Ka = Kastanie (*Castanea sativa*), Lä = Lärche (*Larix decidua*), Li = Linde (*Tilia*). (Quelle: <https://www.swissbryophytes.ch/>)

- Subalpine Nadelwälder: Diese nimmt in höheren Lagen viel Raum ein. Fichten (*Picea abies*), aber auch Lärchenwald (*Larix decidua*) prägen diese Landschaft. Grünerlen-Gebüsch (*Alnus viridis*) und Zwergstrauchbestände sind ebenfalls charakteristisch, ebenso wie Blaugras (*Sesleria caerulea*) und Rostseggen-Halden (*Carex ferruginea*) auf Kalk, sowie Borstgraswiesen (*Nardus stricta*) auf Silikat. Unter menschlichem Einfluss gibt es hier Glatthafer- (*Arrhenatherum elatius*) und Goldhafer-Wiesen (*Trisetum flavescens*).
  - Alpine Rasen bilden die Vegetationslandschaft der alpinen Stufe. Verschiedene krautige Pflanzengesellschaften, die von Gräsern dominiert werden, finden sich neben Krummseggen- (*Carex curvula*) und Horstseggen-Rasen (*C. sempervirens*), Alpenazaleen-Heide (*Loiseleuria procumbens*) und Schneeboden-Vegetation.
  - Fels- und Schuttfluren, die keine geschlossene Vegetation tragen, je nach lokalen Verhältnissen von Algen, Flechten oder Moosen dominiert.
- genannten Laubwälder sind alle sommergrün, die Nadelwälder, mit Ausnahme des Lärchenwaldes, immergrün (Gobet et al. 2010).

#### Literatur

- Gobet E., Vescovi E., Tinner W. 2010. Ein paläoökologischer Beitrag zum besseren Verständnis der natürlichen Vegetation der Schweiz. — *Botanica Helvetica* 120: 105-115.
- Hegg O., Béguin C., Zoller H. 1993. Atlas schutzwürdiger Vegetationstypen der Schweiz. — Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 160 S. + 27 Karten.

Feucht- und Nass-Standorte können in allen Vegetationslandschaften vertreten sein. Die

## 1.4 Hydrologie der Schweiz

### Anmerkung

Die folgenden Abschnitte sind in weiten Teilen dem Buch „Hydrologie der Schweiz“ entnommen (M. Spreafico und R. Weingartner: „Hydrologie der Schweiz, Berichte des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG), Serie Wasser – Rapports de l'OFEG, Série Eaux – Rapporti dell'UFAEG, Serie Acque, Nr. 7 – Bern 2005; 137 Seiten)

### Einleitung

Die Schweiz wird dank ihrer gebirgigen und damit niederschlagsreichen Einzugsgebiete gerne als «Wasserschloss Europas» bezeichnet. Dass diese Bezeichnung gerechtfertigt ist, zeigt allein schon die Tatsache, dass die Schweiz rund 45 % zum Gesamtabfluss des Rheins in den Niederlanden beiträgt, und dies bei einem Flächenanteil von nur 21 %.

### Jahresniederschläge

Am offensichtlichsten zeigt sich der Einfluss der Gebirge in der Zunahme der Niederschläge mit der Höhe. Auf der Alpennordseite nimmt der Niederschlag im Mittel um rund 70–80 mm pro 100 m Höhe zu. Dieser allerdings nicht sehr straffe Zusammenhang gilt vor allem für die Gebiete unterhalb 1500 m ü.M. (Abb. 1).

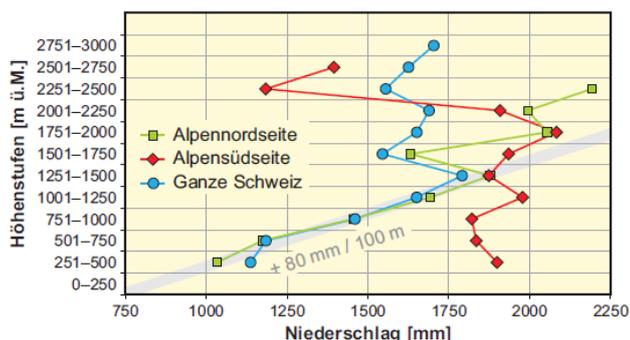


Abb. 1: Mittlerer Jahresniederschlag der nach Höhenzonen gegliederten Bilanzierungsgebiete (Periode 1961–1990, nach Schädler und Weingartner (2002), ergänzt mit dem linearen Niederschlagsgradienten (+ 80 mm/100 m) von Kirchhofer und Servruk (1992). (Aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

Aktuelle Niederschlagskarten berücksichtigen den Gebirgseffekt differenzierter (Abb. 2). Die abgebildete Karte der Jahresniederschlagssummen verwendet rund 10'000 lokale Gradienten.

Die niederschlagsreichste Zone erstreckt sich entlang des nördlichen Alpenkamms mit einem Maximum in den Berner und Walliser Alpen. Überdurchschnittlich viel Niederschlag erhält zudem der gesamte Kanton Tessin. Die Gebiete mit den geringsten Jahresniederschlagsmengen liegen im Niederschlagsschatten der Alpenkämme. Anhand zweier Nord-Süd-Profile lässt sich der Einfluss der Gebirge auf den Niederschlag verdeutlichen (Abb. 2).

### Saisonale Niederschlagsverteilung

Die Verteilung der Niederschläge ist in der Schweiz saisonal betrachtet recht ausgeglichen. Im Winter fällt am wenigsten, im Sommer am meisten Niederschlag. Frühling und Herbst sind gleich niederschlagsreich.

Von Juni bis August werden grosse Niederschlagsmengen hauptsächlich durch Schauer verursacht. Die Verteilung gleicht dabei stark derjenigen der Jahresniederschläge mit Spitzenwerten am Alpennordrand und im Tessin (Abb.3).

Die im Winter vorherrschenden Strömungslagen führen vor allem den im Westen gelegenen Gebieten viel Niederschlag zu (Abb 4). Die zentralen und östlichen Alpengebiete dagegen erreichen in dieser Jahreszeit ihr Niederschlagsminimum. Im Frühling und Herbst führen häufige Anströmungen aus Südwesten zu Starkniederschlägen in den Südalpen.

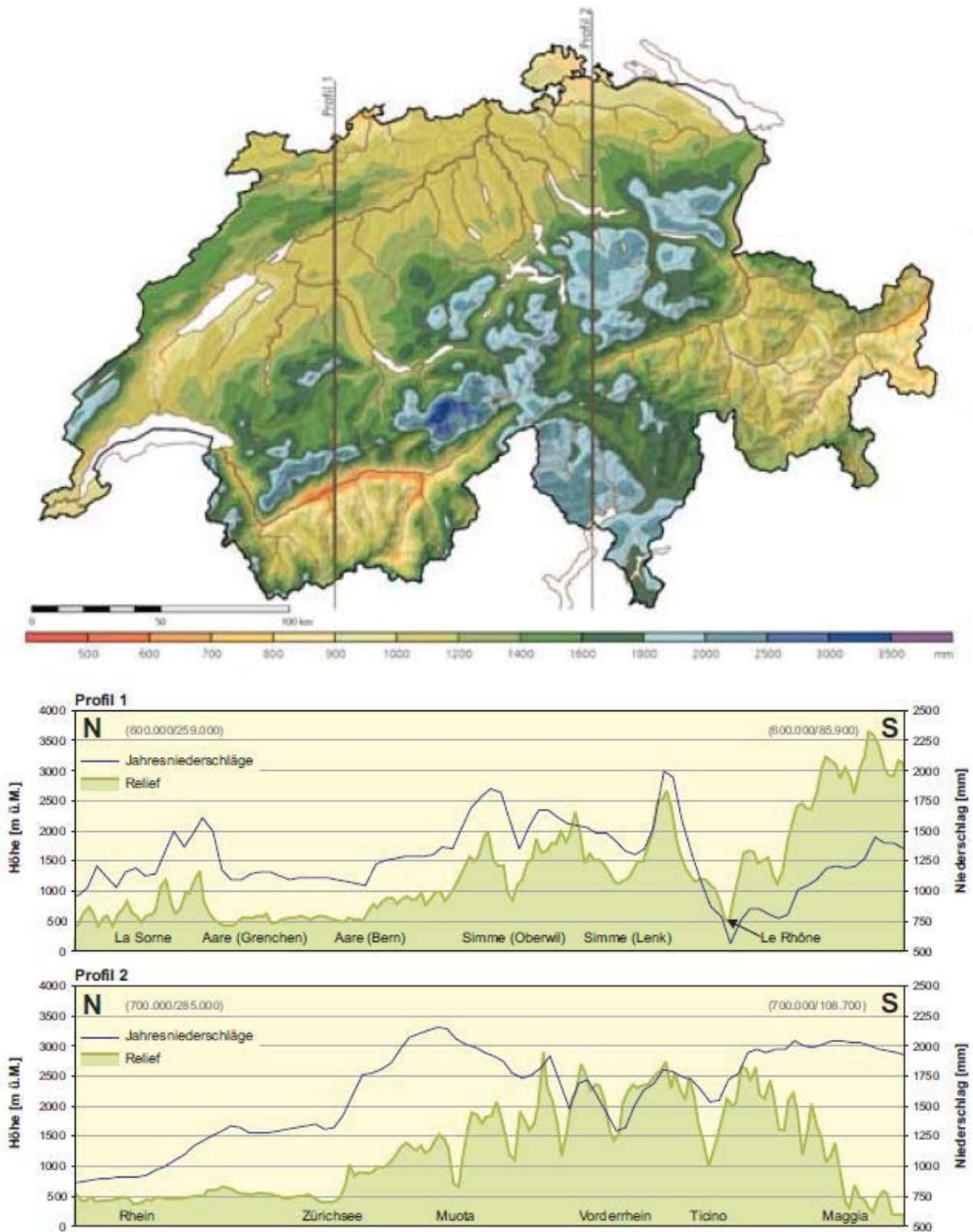


Abb. 2: Karte der Jahresniederschlagssummen der Schweiz (Periode 1971–1990) mit zwei Profilschnitten (Daten: Schwarb et al. 2001a; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

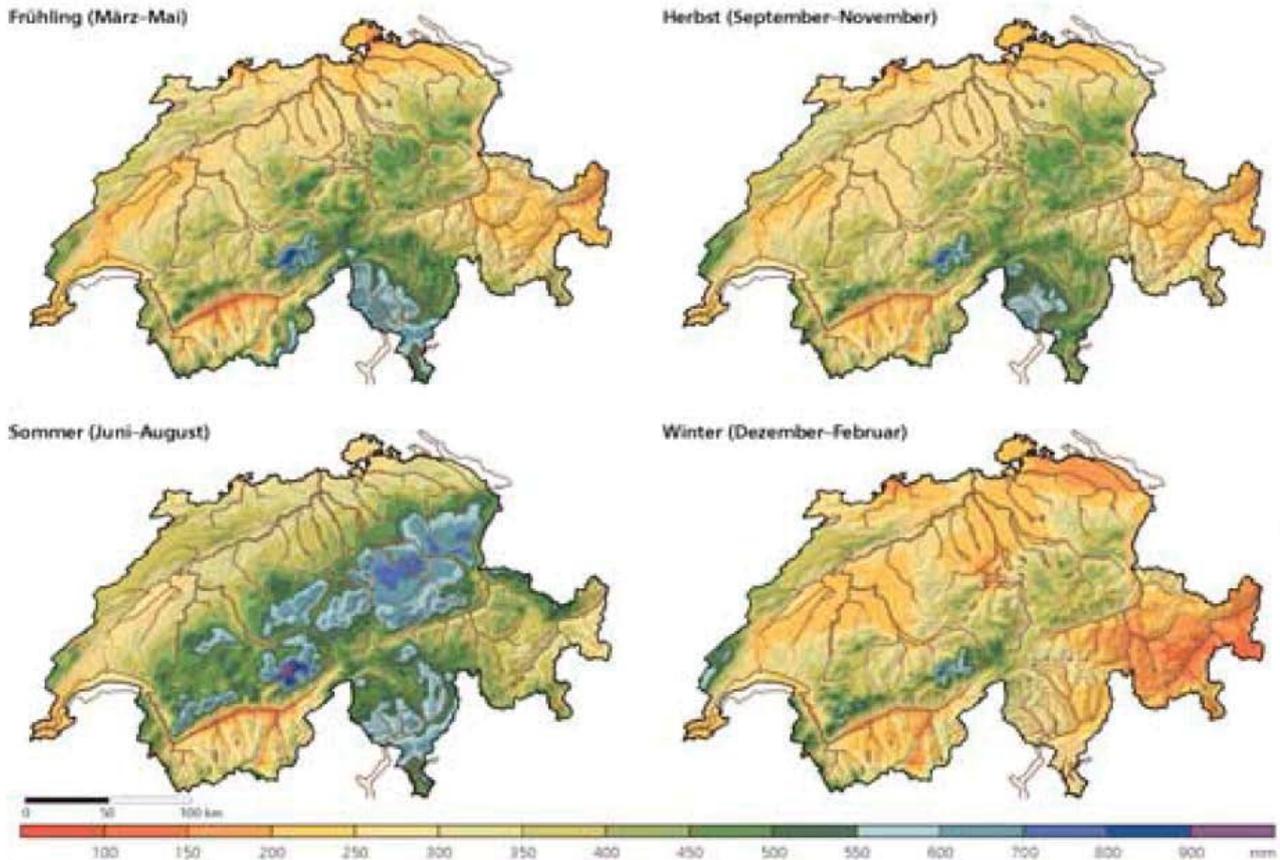


Abb. 3: Saisonale Niederschlagssummen (Periode 1971–1990) (Daten: Schwarb et al. 2001b; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

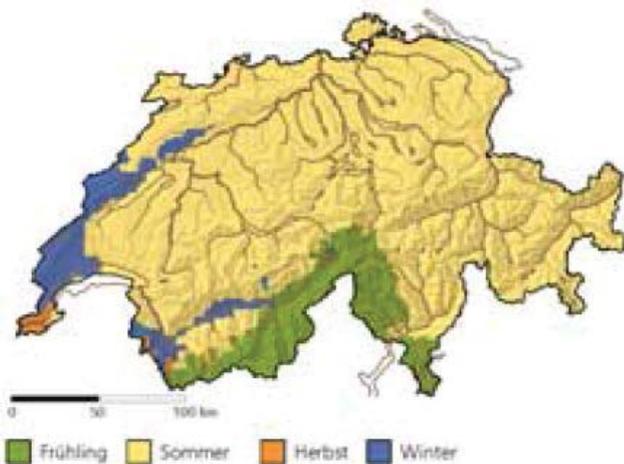


Abb. 4: Jahreszeit mit der höchsten Niederschlagsmenge (Periode 1971–1990) (Daten: Schwarb et al. 2001b; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

### Starkniederschläge

Für die höchsten, in der Schweiz gemessenen Niederschläge ist eine Unterteilung in Alpennord- und Alpensüdseite sinnvoll. Starkniederschläge von kurzer Dauer erreichen auf der Alpennordseite höhere Niederschlagsintensitäten. Diese Ereignisse gehen auf einzelne Schauer während

der Monate Juni bis September zurück. Starkniederschläge längerer Dauer werden von grossskaligen Wettersystemen bestimmt und können das ganze Jahr hindurch auftreten. Besonders niederschlagsreich sind sie auf der Alpensüdseite (advective Lage), wo Fronten und Tiefdruckgebiete oft einen starken Feuchtetransport aus dem Mittelmeerraum gegen die Südalpen bewirken.

Die extremsten Niederschlagsintensitäten treten ausser- und voralpin auf. In den Alpen nimmt die Konvektionsleistung und damit die Intensität der Schauer ab. Das Abregnen anströmender, feuchter Luftmassen (Gebirgseffekt) kann dagegen für ergiebige Tagesniederschlagsmengen sorgen. Im Südtessin werden an jährlich rund 10 Tagen Niederschlagsmengen von mehr als 50 mm gemessen. Dieselbe Tagesmenge fällt im nördlichen Alpenvorland nur 1 bis 2 mal pro Jahr (Abb. 5).

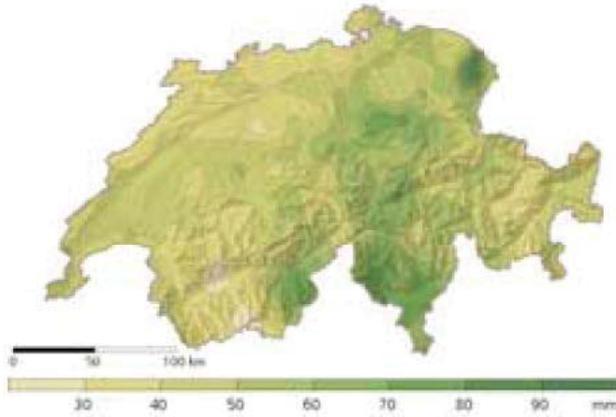


Abb. 5: Extreme 100jährige Punktniederschläge von 1 Stunde Dauer (nach Jensen et al. 1997; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

### Trockenheit

Bisher liegen zu den Trockenperioden in der Schweiz keine flächendeckenden Untersuchungen vor. Punktuelle Analysen von Mühlethaler (2004) zeigen aber, dass Trockenperioden vor allem im Sommerhalbjahr auftreten, wenn die Verdunstung hohe Werte erreicht.

Niederschlagsarme Perioden kommen dagegen in allen Jahreszeiten etwa gleich häufig vor. Pro Jahr können in weiten Teilen der Alpen und des Juras 8 bis 10, im Mittelland und einigen Alpentälern 11 bis 15 und in einzelnen Regionen im Tessin bis zu 18 niederschlagsarme Perioden beobachtet werden (Periode 1961–1989). Addiert man die einzelnen Perioden zur mittleren jährlichen Gesamtdauer, so fallen je nach Region zwischen 68 und 188 Tage in eine niederschlagsarme Periode (Abb. 6).

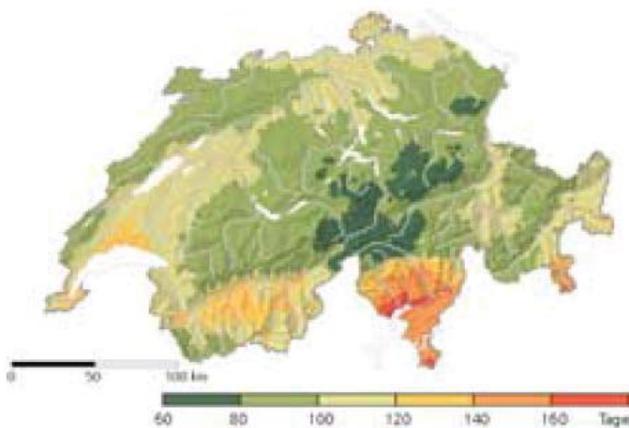


Abb. 6: Mittlere jährliche Gesamtdauer niederschlagsarmer Perioden zwischen 1961 und 1989 (nach Mühlethaler 2004 aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

### Schneehöhenverteilung in der Schweiz

Im Alpenraum fällt der Niederschlag oberhalb von 2000 m ü.M. zu rund 80 Prozent als Schnee. Die Schneehöhenverteilung ist in der Schweiz sehr heterogen. Dabei spielen die regionalklimatischen Eigenheiten eine zentrale Rolle (Abb. 7).

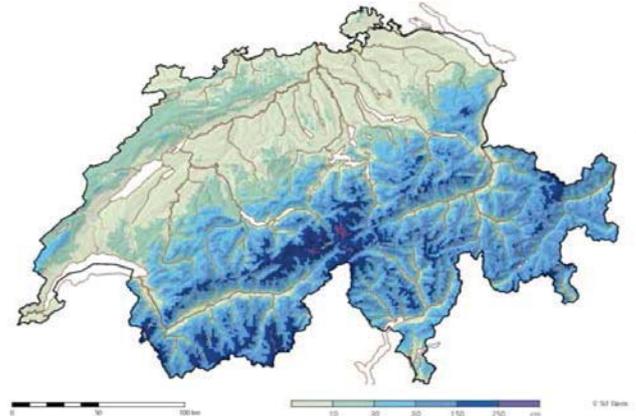


Abb. 7: Mittlere Schneehöhen in der Schweiz (Wintermittel November bis April, 1983–2002) (nach Auer 2003; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz)

Das Hochgebirge hebt sich als schneereiches Gebiet deutlich von den schneearmen Tälern und dem Mittelland ab. Die mittlere Schneehöhe liegt im Mittelland unterhalb von 10 cm, während in Gebieten oberhalb von 2000 m ü.M. Wintermittelwerte von mehr als 100 cm erreicht werden.

### Permafrost

Generell muss oberhalb der Waldgrenze mit Permafrost gerechnet werden, aber erst ab einer Höhe von 3000–3500 m ü.M. werden die Permafrostböden der Schweiz zusammenhängend. Die Verbreitung von Permafrost wird vor allem durch die mittlere jährliche Lufttemperatur und die einfallende Strahlung bestimmt. Permafrost umfasst rund 4 bis 6 % der Fläche der Schweiz. Infolge steigender Temperaturen – die Untergrenze des Permafrosts ist in den letzten 100 Jahren um schätzungsweise 150 bis 250 m angestiegen (Bader und Kunz, 1998) – stellen Permafrostböden eine potentielle Gefahr für bewohnte Gebirgsgebiete der Schweiz dar.

### Vergletscherung

Die seit Mitte des 19. Jahrhunderts feststellbare Erwärmung (für die Schweiz: 1,0–1,6 °C im 20. Jh., OcCC 2003) hat dazu geführt, dass die Gesamtvergletscherung in der Schweiz zwischen 1850 und 1973 von rund 1800 km<sup>2</sup> auf 1300 km<sup>2</sup>

abgenommen hat. Bis ins Jahr 2000 hat sie sich um weitere 250 km<sup>2</sup> verringert. Dabei weisen grosse Gletscher im Allgemeinen deutlich geringere prozentuale Verluste auf als kleine (Tab. 1).

Tab. 1: Entwicklung der Flächenwerte der 20 grössten Gletscher der Schweiz zwischen 1850 und 2000 (Maisch et al. 2004; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

Nr.	Gletscher	1850 [km <sup>2</sup> ]	1973 [km <sup>2</sup> ]	2000 [km <sup>2</sup> ]	1850–2000 [%]
1	Grosser Aletsch	105,6	96,1	90,1	-14,7
2	Gorner	66,0	59,7	57,1	-13,5
3	Fiescher	37,4	34,2	31,3	-16,3
4	Unteraar	33,4	29,5	26,7	-20,1
5	Oberaletsch	26,6	22,8	19,8	-25,6
6	Unterer Grindelwald	23,2	20,8	19,3	-16,8
7	Findelen	20,0	17,4	17,0	-15,0
8	Corbassière	20,7	18,3	16,8	-18,8
9	Gauli	22,6	17,7	16,5	-27,0
10	Morteratsch	19,3	16,4	16,1	-16,6
11	Rhone	20,2	17,6	16,1	-20,3
12	Trift	19,3	16,6	16,0	-17,1
13	Zmutt	19,8	16,9	15,0	-24,2
14	Zinal	17,9	15,4	14,3	-20,1
15	Otemma	20,5	17,5	14,1	-31,2
16	Kander	16,0	13,9	13,2	-17,5
17	Hüfi	15,1	13,6	13,2	-12,6
18	Turtmann-Brunegg	15,0	12,8	11,5	-23,3
19	Mont Miné	12,5	11,0	10,3	-17,6
20	Arolla	16,4	13,2	9,8	-40,2

In Abb. 8 ist die Ausdehnung des Findelengletschers in den Jahren 1850, 1973 und 2000 dargestellt. Seit dem Beginn der Längenmessungen im Jahr 1885 hat sich die Gletscherzunge um 1845 m auf eine Gesamtlänge von 7,8 km (2003) zurückgebildet.

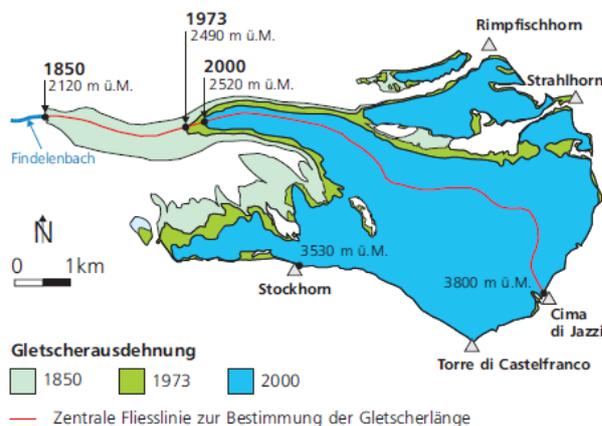


Abb. 8: Ausdehnung des Findelengletschers und seiner Teilgletscher 1850, 1973 und 2000 (nach Maisch et al. 2004; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

### Verdunstungsverhältnisse

Die guten Ausgangsdaten lassen Modellierungen der Verdunstungsverhältnisse mit hoher räumlicher Auflösung (< 1 km<sup>2</sup>) für das gesamte Gebiet der Schweiz zu.

Die Höhenabhängigkeit der Verdunstung bestimmt das Kartenbild (Abb. 9). Daneben fallen besonders die hohe Verdunstung der Seeflächen und die grossen Unterschiede innerhalb kurzer Distanzen auf.

Diese hohe räumliche Variabilität ist durch die jeweilige Bodenbedeckung bedingt. In Nord-Süd-Profilen kann die Variabilität der Verdunstung weiter differenziert werden. Die tiefste mittlere Jahresverdunstung in Profil 1 wird für die Gipfelregionen der Alpen und den Siedlungsraum Bern errechnet. Die höchsten Werte in Profil 2 sind auf die Verdunstung des Zürichsees und des Lago Maggiore zurückzuführen.

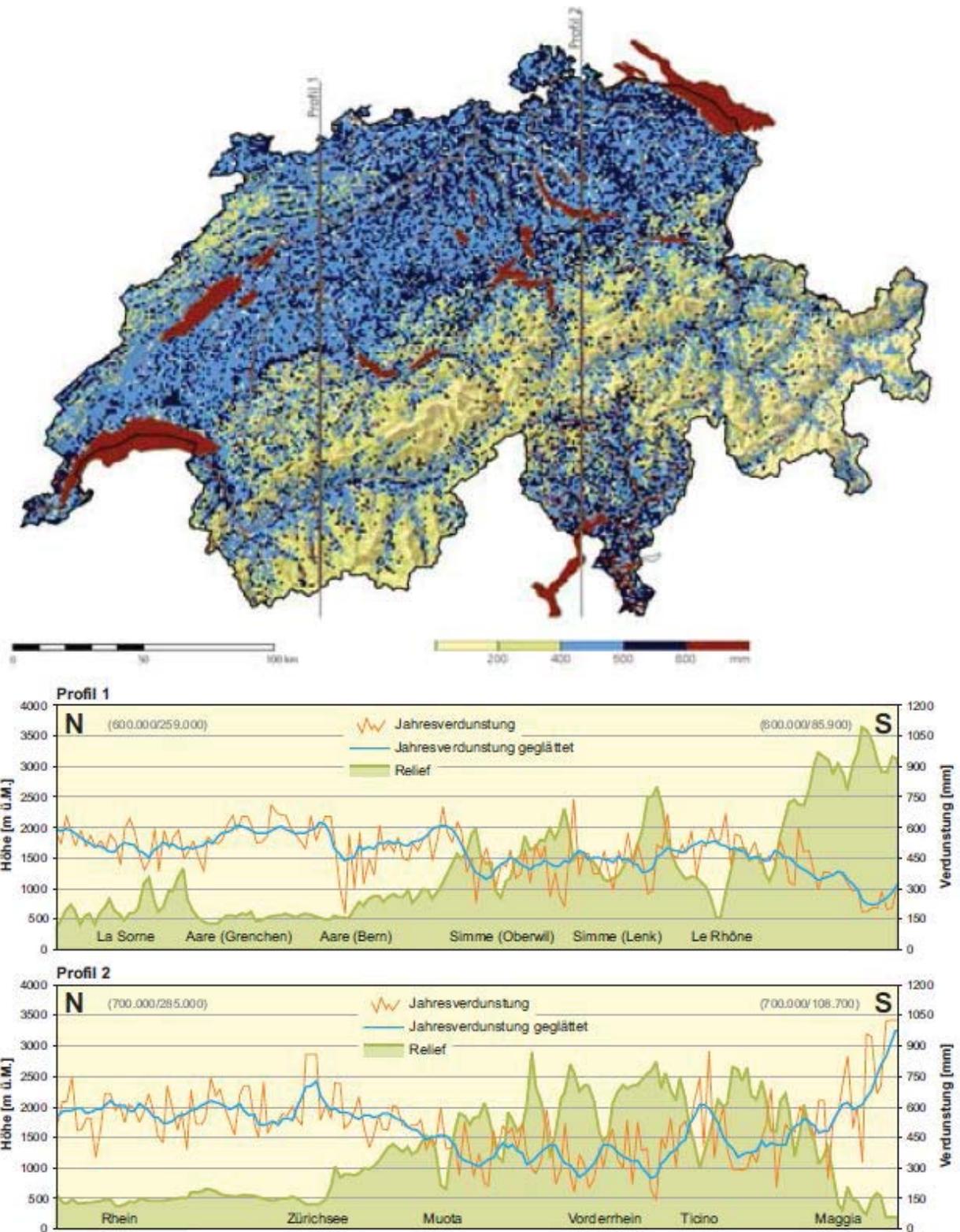


Abb. 9: Karte der mittleren jährlichen aktuellen Verdunstungshöhen (Periode 1973–1992) mit zwei Profilschnitten (Daten: Menzel et al. 1999; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

### Abflussverhältnisse in der Schweiz

54'460 Mio m<sup>3</sup> Wasser verlassen die Schweiz pro Jahr. 13'575 Mio m<sup>3</sup> sind zuvor aus dem Ausland zugeflossen; die restlichen 40'885 Mio m<sup>3</sup> entsprechen dem eigentlichen Abfluss aus dem Gebiet der Schweiz (Periode 1961–1990).

Der mittlere Jahresabfluss aus der Schweiz beträgt ohne Zuflüsse 1296 m<sup>3</sup>/s. Gleichmässig auf die Einzugsgebietsfläche von 41'285 km<sup>2</sup> verteilt entspricht das einer 991 mm hohen Wasserschicht. Die Abflusshöhe wird als anschauliche

Masseinheit beim Vergleich von Gebietsabflüssen verwendet. Abb. 10 zeigt die Gebietsabflüsse aus den schweizerischen Bilanzierungsgebieten.

Die abflussreichsten Gebiete entlang des Alpenhauptkamms erreichen Abflusshöhen von über 2000 mm. Weniger Abfluss erzeugen die inneralpinen Täler und das Mittelland. Entlang des Juras und im Norden der Schweiz sinken die Abflüsse auf unter 300 mm pro Jahr.

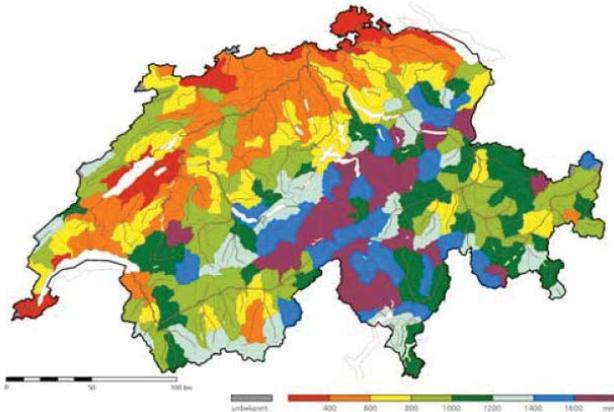


Abb. 10: Mittlere jährliche Gebietsabflüsse der Periode 1961–1990 (nach Schädler und Weingartner 2002; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

### Saisonale Verteilung der Abflüsse

Die monatlichen Abflüsse unterliegen im saisonalen Verlauf charakteristischen Schwankungen, die durch die Abflussregimes beschrieben werden. 16 Regimetypen umfassen die ganze Bandbreite der schweizerischen Fließgewässer. Eingipflige Regimes sind typisch für den Alpenraum, wo Schnee und Eis den saisonalen Gang dominieren. Mehrgipflige Regimes zeigen den wechselnden Einfluss von Schnee, Niederschlag und Verdunstung. Sie sind typisch für Einzugsgebiete nördlich der Alpen unterhalb von rund 1500 m ü.M. Auf der Alpensüdseite werden die klimatischen Besonderheiten durch vier eigene Regimetypen beschrieben. Das Abflussregime längerer Flüsse kann zwischen Quelle und Mündung mehrmals wechseln (Abb. 11).



Abb. 11: Ausschnitt aus der Karte der Abflussregimes (nach Weingartner und Aschwanden, 1992; aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

### Grundwasserregime

Bei den grossen alpinen Flüssen Aare, Reuss, Rhein, Rhone und Inn wird das Grundwasser vor allem im Frühling und Sommer durch das Schnee- und Gletscherschmelzwasser gespeist. Aus diesem Grund lagen die Grundwasserstände in den Talschottern dieser Flüsse selbst im ausgeprägt trockenen Sommer 2003 zwar generell tief, aber über dem langjährigen Minimum. Ab-

flüsse und Grundwasserneubildung kleinerer Einzugsgebiete des Mittellandes sind durch den Verlauf der Niederschläge und der Evapotranspiration bestimmt. Überdurchschnittlich trockene Perioden können hier zu einem Defizit bei der Grundwasserneubildung führen. Über 80 % der Trink- und Brauchwasserversorgung der Schweiz wird aus Grundwasser gedeckt. In Gemeinden mit weniger als 10'000 Einwohnerinnen und Einwohnern, wo 54 % der Schweizer Bevölkerung

leben, hängt die Trinkwasserversorgung sogar zu 98 % vom Grundwasser ab. Rund 46 % des Grundwassers aus Quellen und Förderbrunnen können ohne jegliche Aufbereitung oder Desinfektion an die Verbraucher abgegeben werden.

## Wasserhaushalt

Die Wasserhaushaltsgrößen der Schweizer Kantone sind in Tab. 2 dargestellt.

### Kennziffern

#### Wasserhaushalt der Schweiz (Periode 1961–1990)

Quelle: SCHÄDLER & WEINGARTNER 2002a

Kanton	Niederschlag P [mm/a]	Abfluss R [mm/a]	Verdunstung E [mm/a]	Speicher ΔS [mm/a]	unterirdischer		Anteil am Ge- samtabfluss CH [%]
					Zu- / Abfluss I [mm/a]		
Aargau	1086	521	565	–	–		1,8
Appenzell Innerrhoden	1891	1229	480	0	–182		0,5
Appenzell Ausserrhoden	1596	1059	537	–	–		0,6
Bern	1484	1028	465	–2	7		15,0
Basel-Landschaft	988	455	533	–	–		0,6
Basel-Stadt	942	393	549	–	–		< 0,1
Fribourg	1242	720	522	–	–		2,9
Genève	981	363	618	–	–		0,3
Glarus	1971	1617	417	–6	57		2,7
Graubünden	1443	1099	346	–2	–		19,1
Jura	1181	680	501	–	–		1,4
Luzern	1318	748	547	–	–23		2,7
Neuchâtel	1339	818	521	–	–		1,6
Nidwalden	1785	1290	495	0	–		0,9
Obwalden	1781	1316	453	–1	–13		1,6
St. Gallen	1658	1156	498	0	–4		5,7
Schaffhausen	916	364	552	–	–		0,3
Solothurn	1106	570	536	–	–		1,1
Schwyz	1997	1499	498	0	–		3,3
Thurgau	1027	421	606	–	–		1,0
Ticino	1971	1474	497	0	–		10,1
Uri	2088	1711	382	–5	–		4,5
Vaud	1250	678	572	0	–		5,3
Valais	1457	1062	401	–6	–		13,6
Zug	1447	872	575	–	–		0,5
Zürich	1221	662	559	–	–		2,8
Schweiz	1458	991	469	–2	0		100,0

Tab. 2: Kennziffern des Wasserhaushalts der Kantone (aus: Spreafico und Weingartner (2005): Hydrologie der Schweiz).

### Entwicklung der Wasserhaushaltskomponenten

Die Periode 1961–1990 weist höhere Niederschlags- und Verdunstungswerte auf als der grössere Teil der übergreifenden Periodenmittel im 20. Jahrhundert. Einzig das hochgelegene Inngebiet (mittlere Höhe um 1800 m ü.M.) macht davon eine Ausnahme.

- Die Periodenmittel der Verdunstung nahmen, wohl hauptsächlich infolge des Temperaturanstiegs, im Laufe des 20. Jahrhunderts kontinuierlich zu; Perioden vor der Standardperiode 1961–1990 weisen deshalb durchwegs kleinere, Perioden nach 1961–1990 durchwegs grössere Werte als die Standardperiode auf.
- Der mittlere Gebietsniederschlag blieb zu Beginn des letzten Jahrhunderts relativ konstant mit Werten um 96 % des Periodenmittels 1961–1990. Bemerkenswert ist die markante Zunahme der Gebietsniederschläge ab der Periode 1946–1975. Seit der Periode 1961–1990 scheint sich der Niederschlag wieder auf einem nun höheren Niveau einzupendeln.
- Im Gebietsabfluss kommen primär die Effekte der zeitlichen Schwankungen des Niederschlags zum Tragen. Es resultiert in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine Abnahme, gefolgt von einer Zunahme und einer anschliessenden Nivellierung analog dem Niederschlagsverlauf.

## Literatur

- AUER, M. (2003): Regionalisierung von Schneeparametern – Eine Methode zur Darstellung von Schneeparametern im Relief. Publikation Gewässerkunde Nr. 304, Bern.
- BADER, S. & KUNZ, P. (1998): Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz (Schlussbericht NFP 31). – vdf, Hochschulverlag an der ETH, Zürich.
- JENSEN, H., LANG, H. & RINDERKNECHT, J. (1997): Extreme Punktregen unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1901–1970. In: BWG: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Tafel 2.4), Bern.
- KIRCHHOFER, W. & SEVRUK, B. (1992): Mittlere jährliche korrigierte Niederschlagshöhen 1951–1980. In: BWG: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Tafel 2.2), Bern.
- MAISCH, M., PAUL, F. & KÄÄB, A. (2004): Kenngrößen der Gletscher und ihre Veränderungen 1850–2000. In: BWG: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Tafel 3.10), Bern.
- MENZEL, L., LANG, H. & ROHMANN, M. (1999): Mittlere jährliche aktuelle Verdunstungshöhen 1973–1992. In: BWG: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Tafel 4.1), Bern.
- MÜHLETHALER, CH. (2004): Analyse von Trockenperioden im 20. Jahrhundert in der Schweiz. Publikation Gewässerkunde Nr. 309, Bern.
- OCCC (Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung) (2003): Extremereignisse und Klimaänderung. Bern.
- SCHÄDLER, B. & WEINGARTNER, R. (2002): Komponenten des natürlichen Wasserhaushaltes 1961–1990. In: BWG: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Tafel 6.3), Bern.
- SCHWARB, M., FREI, CH., SCHÄR, CH. & DALY, CH. (2001a): Mittlere jährliche Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971–1990. In: BWG: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Tafel 2.6), Bern.
- SCHWARB, M., FREI, CH., SCHÄR, CH. & DALY, CH. (2001b): Mittlere saisonale Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971–1990. In: BWG: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Tafel 2.7), Bern.
- WEINGARTNER, R. & ASCHWANDEN, H. (1992): Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. In: BWG: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Tafel 5.2), Bern.

## 1.5 Bodenkartierung, Bodeninformationssysteme, Böden und Bodenschutz in der Schweiz

### Anmerkung

Die folgenden Abschnitte sind in weiten Teilen den Bänden „Agroscope Bodendatenarchiv“, „Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH)“, und „Boden in der Schweiz“ entnommen (U. Grob, A. Ruedf, U. Zihlmann, L. Klauser, A. Keller: Agroscope Bodendatenarchiv, Agroscope Science, Nr. 14, 2015, 52 Seiten; A. Keller, J. Franzen, P. Knüsel, A. Papritz, M. Zürrer: Bodeninformations-Plattform Schweiz (bip-ch) – Bodeninformationen, Methoden und Instrumente für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden, Thematische Synthese TS4 im Rahmen des Nationa-

len Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68), 2017, 125 Seiten; Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017, 86 Seiten).

### Einleitung: Die Schweiz braucht eine flächendeckende Bodenkartierung

«Während zu Wasser und Luft seit Jahrzehnten umfangreiche Daten erhoben und entsprechende Messnetze betrieben werden, fehlen in der Schweiz flächendeckende Informationen zum Zustand der Böden. Damit steht die Schweiz – trotz des hohen Drucks auf den Boden – im europäischen Vergleich einzigartig dar.

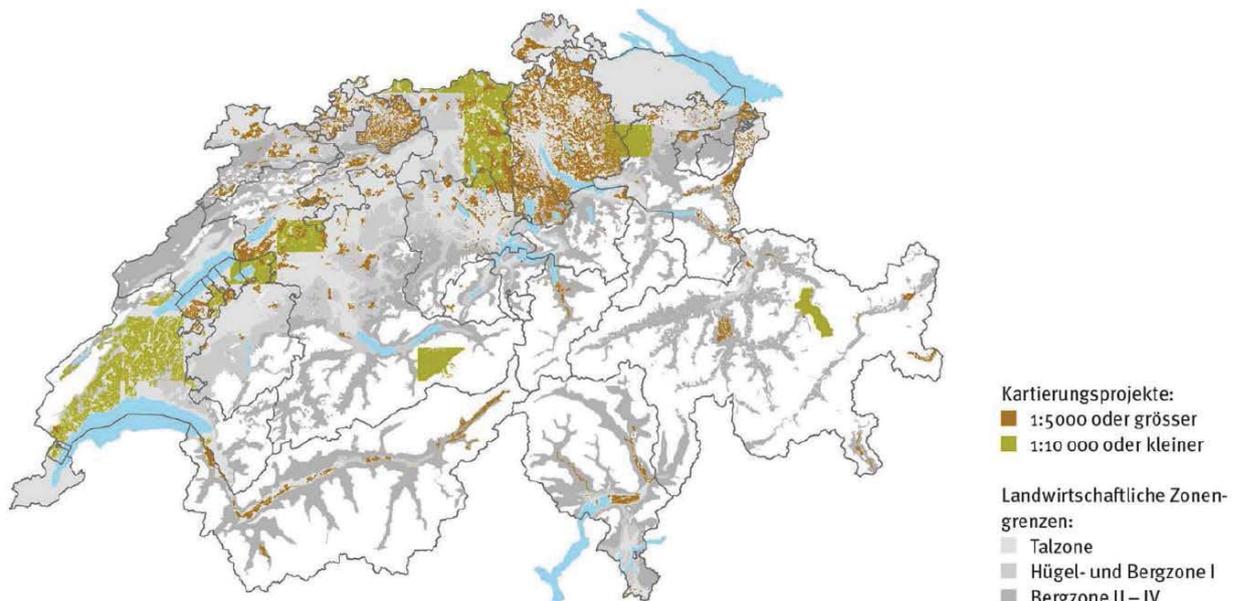


Abb. 1: Bodenkartierung in der Schweiz seit den 1950er-Jahren (Quelle: Grob U., Rehbein K., Keller A. (2018): Stand der Bodenkartierung in der Schweiz: Informationsplattform und Metadatenkatalog. Agroscope, Zürich. [www.nabodat.ch](http://www.nabodat.ch); aus: A. Keller, J. Franzen, P. Knüsel, A. Papritz, M. Zürrer: Bodeninformations-Plattform Schweiz (bip-ch) – Bodeninformationen, Methoden und Instrumente für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden, Thematische Synthese TS4 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68), 2017.

Die Nationale Servicestelle für Bodenkartierungen wurde 1996 eingestellt und die Aufgabe den Kantonen überlassen. Nur wenige Kantone haben seither die bestehenden Datenlücken schliessen können. So sind heute lediglich für 10 bis 15 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzflä-

che Bodeninformationen in ausreichender Qualität und Umfang erfasst, eine flächendeckende Bodenkartierung fehlt (Abb. 1). Die mangelnde Verfügbarkeit an flächendeckenden und harmonisierten Bodeninformationen ist aber ein wesentlicher Grund, warum der Boden in vielen Politikbereichen und Entscheidungen kaum oder gar nicht

berücksichtigt wird.» (Text gekürzt aus: <http://www.snf.ch/de/fokusForschung/newsroom/Seiten/news-180419-medienmitteilung>).

### Historischer Rückblick auf die Geschichte der Bodenkartierung in der Schweiz

Mit der Gründung der Forstschule am Eidgenössischen Polytechnikum im Jahre 1855 begann in

der Schweiz die Bodenkundliche Ausbildung. Hans Pallmann prägte wie kaum jemand die schweizerische Bodenkunde. 1925 entwarf Hans Jenny die erste Bodentypenkarte der Schweiz, welche wenige Jahre später durch Hans Pallmann und Hermann Gessner bereinigt und 1934 im Massstab 1: 2'500'000 in einer neuen Auflage publiziert wurde (Abb. 2).

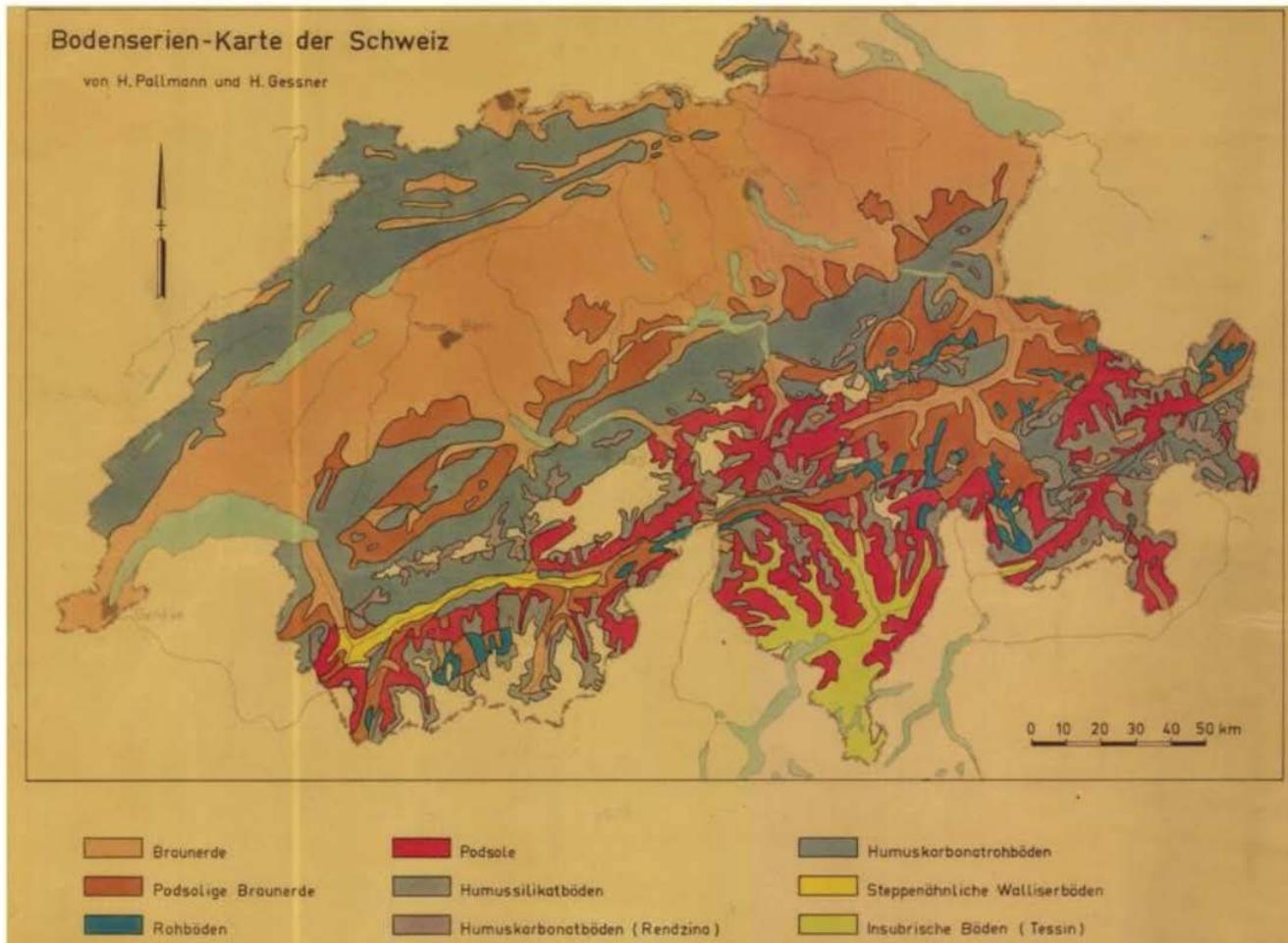


Abb. 2: Erste Bodentypenkarte der Schweiz von H. Pallmann und H. Gessner von 1934 (Bild: Stichting voor Bodemkartering, Wageningen); aus: U. Grob, A. Ruef, U. Zihlmann, L. Klausner, A. Keller: Agroscope Bodendatenarchiv, Agroscope Science, Nr. 14, 2015.

Erwin Frei, ein Doktorand von Pallmann, brachte die Bodenklassifikation und vor allem die Bodenkartierung später in der Schweiz zur Blüte. Frei stellte den Antrag ein Institut für Genetik, Systematik und Kartierung der Böden einzurichten. An der damaligen Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau FAP (zunächst in Zürich-Oerlikon, Ende der 1960iger-Jahre in Zürich-Reckenholz) etablierte sich schliesslich Ende der 1950iger-Jahre ein Bodenkartierungsdienst, unter welchem während 40 Jahren Methoden und Anleitungen zur Bodenkartierung ent-

standen. Eine Gruppe von ausgebildeten Pedologen untersuchte während dieser Zeit die Böden, vornehmlich im Schweizer Mittelland, auf deren Zusammensetzung und Eigenschaften hin.

Eine erste Kartieranleitung entstand 1963. Die heute noch gültige Kartieranleitung „Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden“ stammt aus dem Jahre 1997 (FAL, 1997). Das Handbuch für die Waldbodenkartierung, datiert 1996, basiert auf denselben Grundlagen, allerdings mit Erweiterungen bezüglich der Humusformen und der forstspezifischen Interpretationen und Anwendungen (BUWAL, 1996).

In den Jahren 1951 bis 1994 bearbeitete der Bodenkartierungsdienst ca. 340 Projekte in rund 500 Gemeinden. Die meisten Projekte entstanden im Landwirtschaftsgebiet, oft im Rahmen von Güterregulierungen und Meliorationen, und wurden im Massstab 1:5'000, seltener 1:1'000 oder 1:10'000 dargestellt.

Ab 1977 wurde das längerfristig angelegte Projekt „Bodenkarte der Schweiz 1:25'000“ durch

den FAP Bodenkartierungsdienst unter Einbezug der Waldflächen initiiert. Daraus resultierten 13 im Massstab 1:25'000 publizierte Kartenblätter (zusätzlich die zwei nicht publizierten Blätter Payerne und Hitzkirch). Im Jahr 1984 erschien schliesslich die zweite Auflage des Atlas der Schweiz (Hrsg.: Bundesamt für Landestopographie), mit einer Bodenübersichtskarte im Massstab 1:500'000 (Abb. 3).

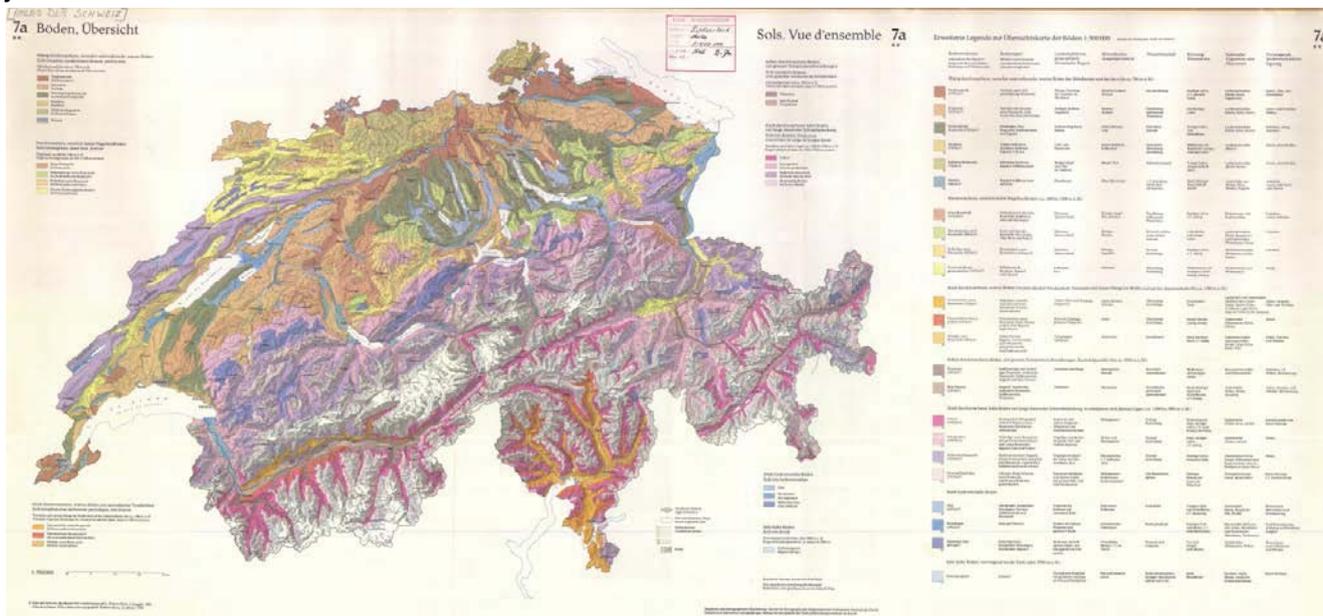


Abb. 3: Bodenübersichtskarte im Massstab 1:500'000; aus: Atlas der Schweiz, Bundesamt für Landestopographie (Hrsg.), 2. Auflage, 1984.

Als Basis für die Bodenkartierung konnte 1992 die Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS) publiziert werden, die heute in dritter, korrigierter Auflage (2010) vorliegt. Ab 1996 entwickelte das Amt für Umwelt im Kanton Solothurn die FAL-Kartiermethode weiter zu einer attributorientierten, polygonbezogenen Erhebungsmethode mit digitaler Datenablage.

Mit der grundlegenden Reorganisation der landwirtschaftlichen Forschung im Jahre 1996 wurde der Bodenkartierungsdienst aufgehoben, unter anderem mit der Begründung, dass die Bodenkartierung durch die Kantone und den Privatsektor durchgeführt werden könne. Damit ging aber die wichtige Aufgabe der kontinuierlichen Sicherung und Weiterentwicklung der bestehenden Methoden der Bodenklassifikation und der Bodenkartierung verloren.

Mit dem Projekt Bodeninformation Schweiz (BI-CH) forcierte die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (BGS) im Jahr 2001 die Rettung und

Sicherung der in analoger Form vorhandenen Bodenprofilaten aus dem Agroscope Bodendateninventar. Damit wurde ein Grundstein für die digitale Aufarbeitung älterer Bodendaten gelegt.

Die Digitalisierung geschah in enger Zusammenarbeit zwischen Agroscope, kantonalen Stellen, externen Fachleuten und der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS). Die Bodenprofilblätter wurden gescannt und sind seither als Scan bei Agroscope verfügbar.

Heute werden Bodenkartierungsdienstleistungen durch relativ wenige private Unternehmen erbracht. Eine kompetente nationale Servicestelle zur Harmonisierung von Bodendaten und zur Erstellung national einheitlicher Methoden und Grundlagen zur Bodenkartierung gibt es seit 1996 nicht mehr. Klassifikation und Bodenkartieranleitung wurden nun seit etwa zwei Jahrzehnten nicht mehr weiterentwickelt und an aktuelle Erfordernisse und Fragestellungen angepasst. Derzeit werden in verschiedenen Kantonen Bodenkartierungen mit unterschiedlichen Vorgehensweisen

durchgeführt. Dies führt auch zu unterschiedlichen Datenlagen, was die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Erhebungen erschwert.

(Text gekürzt und verändert aus: U. Grob, A. Ruef, U. Zihlmann, L. Klauser, A. Keller: Agroscope Bodendatenarchiv, Agroscope Science, Nr. 14, 2015).

### **Erhebung von Bodeninformationen: Konzepte für die Zukunft**

In der thematischen Synthese TS4 «Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH)» des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68, Laufzeit 2013 bis 2017), wurden methodische Ansätze zu einem Konzept zusammengeführt um die grosse Lücke bei den Bodeninformationen in der Schweiz in einem absehbaren Zeithorizont zu schliessen.

Die TS4 schlägt eine Bodeninformations-Plattform Schweiz (bip-ch), als Drehscheibe für Bodeninformationen und daraus abgeleitete Produkte wie Anwendungskarten vor. Diese bip-ch soll die umfangreichen und vielfältigen Informationsbedürfnisse der unterschiedlichen Bedarfsgruppen abdecken. Um die Wissenslücken über Art, Umfang und Qualität der Böden in der Schweiz langfristig zu schliessen, formulierte die TS4 vier Kernbotschaften für den Aufbau und Unterhalt einer bip-ch:

**Notwendigkeit einer flächendeckenden Bodenkartierung** um die Bodeneigenschaften und die Qualität der Böden in ihrer Tiefe zu erheben. Dabei sind Präferenzen für prioritär zu kartierende Gebiete und Etappen zu bestimmen. Dabei soll auf jene Aspekte Rücksicht genommen werden, die für die nachhaltige Nutzung und den Schutz der Böden am wichtigsten sind; dies betrifft beispielsweise siedlungsnah, für die Landwirtschaft hochwertige Fruchtfelderflächen.

**In Fallstudien neue Technologien erproben – parallel zu laufenden Bodenkartierungen.** Mittels Fallstudien soll die Praxistauglichkeit neuester Kartiermethoden erprobt werden. Die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz hat dazu einen Vorschlag erarbeitet. Des Weiteren wird empfohlen die Kartieranleitung für Landwirtschafts- und Waldböden zu aktualisieren. Die aktuelle Version ist mehr als zwei Jahrzehnte alt und stammt aus der Zeit vor der Entwicklung digitaler Techniken.

Es wird angeregt, dass Methoden für die Nah- und Fernerkundung, für geophysikalische Messungen oder die Prozessierung von Umwelt- und Geodaten die Bodenkartierung gezielt ergänzen können.

**Harmonisierte Bodeninformationen und daraus abgeleitete Produkte zur Verfügung stellen: Informationsplattform und Datendrehscheibe aufbauen.** Zentrales Element für das Datenmanagement und die Zusammenführung der Bodendaten soll künftig ein Bodeninformationssystem sein. Um ein solches zu schaffen, sollte auf Bestehendem, vor allem auf dem Bodeninformationssystem nabodat, aufgebaut werden. Dieses System hat sich in den letzten Jahren als leistungsfähiges und praxistaugliches Instrument für die Zusammenführung und Nutzung von Bodendaten erwiesen; allerdings sind sie bisher nicht allen Akteurinnen und Akteuren zugänglich. Der dauerhafte Betrieb und die Weiterentwicklung dieses Systems sind sicherzustellen. Die TS4 empfiehlt, für die Nutzenden von Bodeninformationen eine Plattform zu schaffen, die es ihnen erlaubt, die verfügbaren Bodeninformationen und die essenziellen Meta-Informationen abzurufen, und ihnen für fachliche Fragen zur Verfügung steht. Künftig sollen Bodendaten zwischen Akteurinnen und Akteuren nach einem einheitlichen Standard schnell und effizient ausgetauscht und zur Verfügung gestellt werden können. Der Abbau von Zugangsbarrieren und die freie Verfügbarkeit sind wichtige Voraussetzungen für eine breite Nutzung der Bodeninformationen durch Bund, Kantone und Gemeinden sowie durch die Öffentlichkeit und die Forschung. Die bip-ch soll dies gewährleisten.

**Den Wissenstransfer stärken: Instrumente für die nachhaltige Nutzung und den vorsorglichen Schutz entwickeln.** In mehreren Projekten des NFP 68 wurden Instrumente entwickelt, die zum Schutz der Ressource Boden beitragen. Für eine regionale oder gar landesweite Anwendung dieser Instrumente fehlen aber in der Regel die erforderlichen Bodendaten. Beispielsweise benötigt das Instrument *terranimò* Angaben zum Ton- und Wassergehalt in Böden, um das Bodenverdichtungsrisiko beim Einsatz landwirtschaftlicher Fahrzeuge zu berechnen. Künftig müssen die Instrumente zum Schutz des Bodens einheitlich

und grossflächig angewendet werden. Anwendungskarten etwa, die Informationen zur Verdichtungsempfindlichkeit, Erosionsrisiko oder zu Nährstoffverlusten enthalten, können die nachhaltige Nutzung der Böden unterstützen. Zudem ist ein Set an Bodenindikatoren festzulegen, mit Hilfe dessen Politik und Verwaltung günstige Rahmenbedingungen für die Steuerung einer nachhaltigen Nutzung der Böden schaffen können. Bodenfunktionskarten erlauben, die Bodenqualität in der dritten Dimension für standortspezifische Interessen- und Nutzungsabwägungen angemessen zu berücksichtigen und die Multifunktionalität der Böden aufzuzeigen. Bewertete Bodenfunktionskarten bieten sich an, um den Wert des Bodens und seinen Beitrag zu Ökosystemleistungen nachvollziehbar zu vermitteln. Im NFP 68 wurde ein erster Methodenkatalog für zehn Bodenfunktionen entwickelt; mittelfristig sollte ein nationaler Katalog mit weiteren relevanten und praxiserprobten Bewertungsmethoden erstellt werden.

(Text gekürzt und verändert aus: A. Keller, J. Franzen, P. Knüsel, A. Papritz, M. Zurrer: Bodeninformations-Plattform

Schweiz (bip-ch) – Bodeninformationen, Methoden und Instrumente für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden, Thematische Synthese TS4 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68), 2017).

### Hauptbodentypen der Schweiz

Im Band „Boden in der Schweiz“ (2015) werden für die Schweiz neun verschiedene Hauptbodentypen mit zahlreichen Untertypen unterschieden, die den grössten Teil der Landesfläche abdecken (Abb. 5).

### Bodennutzung in der Schweiz

In der Schweiz wird mehr als ein Drittel (35,9 %) der Böden landwirtschaftlich genutzt. Allerdings stehen pro Kopf aufgrund der fortgeschrittenen Versiegelung nur noch 0,14 Hektare Ackerfläche zur Verfügung – nach den Niederlanden ist dies der zweitkleinste Wert in Europa (ohne Kleinststaaten). Insgesamt 31,3 % der Böden werden forstlich genutzt und ein Viertel liegt in Naturräumen, die fast alle in den oberen Höhenstufen der Alpen liegen (25,3 %). Die Siedlungsfläche bedeckt 7,5% der Schweiz (Abb. 4).

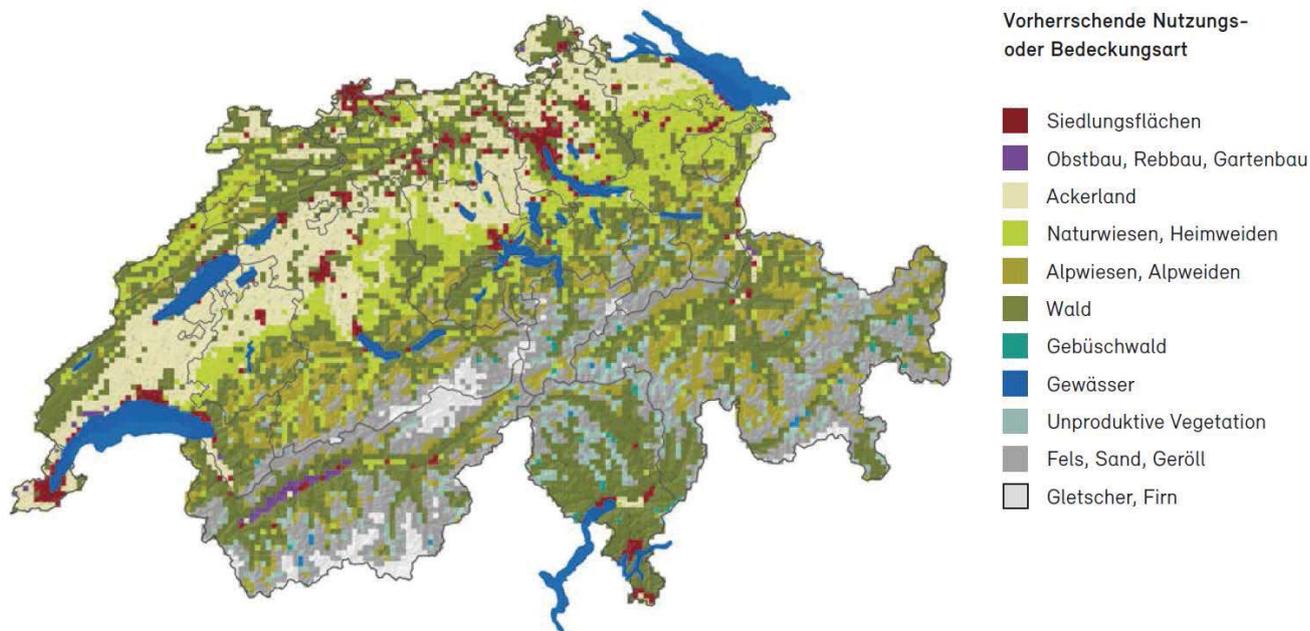


Abb. 4: Aktuelle Hauptbodennutzungen in der Schweiz (aus: Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017)



Braunerde



Kalkbraunerde



Parabraunerde



Moorboden



Regosol



Podsol



Schwemmlandboden (Fluvisol)



Pseudogley auf Schwemmlern



Gleyboden auf Schwemmlern

Abb. 5: Hauptbodentypen der Schweiz (Klassifikationssystem der Schweiz; aus: Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung, Stand 2017, Bern 2017)

## Langfristige Bodenbeobachtung und Bodenüberwachung

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) betreibt in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) seit 1983 ein Referenzmessnetz von über 100 Standorten (Nationale Bodenbe-

obachtung NABO). Die Standorte wurden so ausgewählt, dass verschiedene Naturräume der Schweiz sowie unterschiedliche Nutzungs- und Bewirtschaftungstypen vertreten sind (Abb. 6). Hauptziel ist die landesweite Erfassung und Beurteilung von chemischen, physikalischen und biologischen Bodenbelastungen.

- ◆ Ackerbau
- Spezialkulturen (Gemüse, Obst, Reben)
- Grasland, intensiv
- Grasland, wenig intensiv
- Grasland, extensiv
- ▲ Laubwald
- ▲ Mischwald
- ▲ Nadelwald
- ✚ Schutzstandort
- Stadtpark

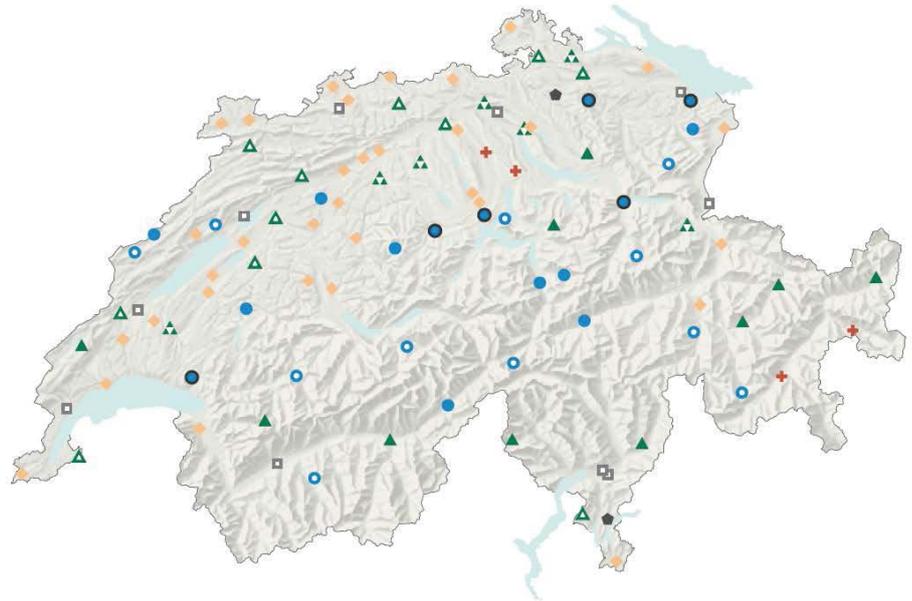


Abb. 6: Dauerbeobachtungsstandorte der nationalen Bodenbeobachtung NABO (aus: Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017)

Zu Beginn der Messungen lag der Fokus auf Schwermetalleinträgen aus der Luft sowie durch landwirtschaftliche Hilfsstoffe (z. B. Klärschlamm, Düngemittel). Die Analysen umfassten auch den pH-Wert und den Kohlenstoffgehalt des Bodens. Neue Themen wie der Einfluss des Klimawandels oder der Verlust an Biodiversität im Boden erfordern Anpassungen des NABO-Messnetzes. So werden seit 2012 biologische Bodeneigenschaften wie zum Beispiel die mikrobielle Biomasse erhoben. Seit 2011 besteht zwischen der NABO und dem Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM) eine Zusammenarbeit. Beim BDM wird die langfristige Entwicklung der Artenvielfalt ausgewählter Pflanzen- und Tierarten erhoben.

### Bodengefährdungen

#### **Bodenversiegelung**

Die Siedlungsfläche der Schweiz ist zwischen 1985 und 2009 um 23,4 % oder 584 Quadratkilometer gewachsen. Dies entspricht der Grösse des Genfersees oder einer Flächenzunahme von rund 0,75 Quadratmeter pro Sekunde. Im Jahr 2009 bedeckten Siedlungen 7,5 % der Schweiz.

Die zwischen 1985 und 2009 neu entstandenen Siedlungsflächen waren vorher zu 32 % Ackerland, 33 % Naturwiesen, 13 % Obstgärten, Reben oder Gartenbauanlagen und zu 9 % Weiden. Die Siedlungsausdehnung fand vor allem in den flachen Tallagen statt und betrifft damit die besonders wertvollen und produktiven Landwirtschaftsböden der Schweiz.

Über 62 % der Siedlungsfläche ist versiegelt (Gebäude und Strassen). Innerhalb von 24 Jahren (1985 bis 2009) haben die versiegelten Böden in der Schweiz um 29 % zugenommen. Insgesamt sind 4,7 % der Landesfläche dauerhaft mit luft- und wasserdichten Materialien bedeckt (1900 km<sup>2</sup>).

#### **Erosionsrisiko**

In der Schweiz wurde das Problem der Bodenerosion im internationalen Vergleich lange Zeit als wenig gravierend eingestuft. Als im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nutzung des Bodens in der Schweiz» in den 1980er-Jahren genauere Untersuchungen durchgeführt wurden und sich ein dringender Handlungsbedarf zeigte,

hat der Bund 1998 die gesetzlichen Grundlagen zur Verminderung von Bodenerosion in der Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo) geschaffen. Zudem gaben die landwirtschaftlichen Beratungsdienste verschiedener Kantone Anleitungen zur Ermittlung der Erosionsgefährdung (sog. Erosionsschlüssel) sowie Merkblätter heraus. Eine 2013 erschienene Vollzugshilfe konkretisiert die gesetzlichen Grundlagen und bietet Möglichkeiten an, wie der Vollzug in Zukunft verbessert werden kann.

In der Schweiz ist die standortbedingte Erosionsgefahr aufgrund der hohen und jahreszeitlich schwankenden Niederschläge sowie des hügeligen Reliefs mit mehr oder weniger starken Hangneigungen gross. Dies zeigt die Erosionsrisikokarte des Bundes (Abb. 7). Fast ein Drittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Tal- und Hügelland wird als potenziell stark erosionsgefährdet klassiert. Die Vegetationsbedeckung ist dabei allerdings nicht berücksichtigt.

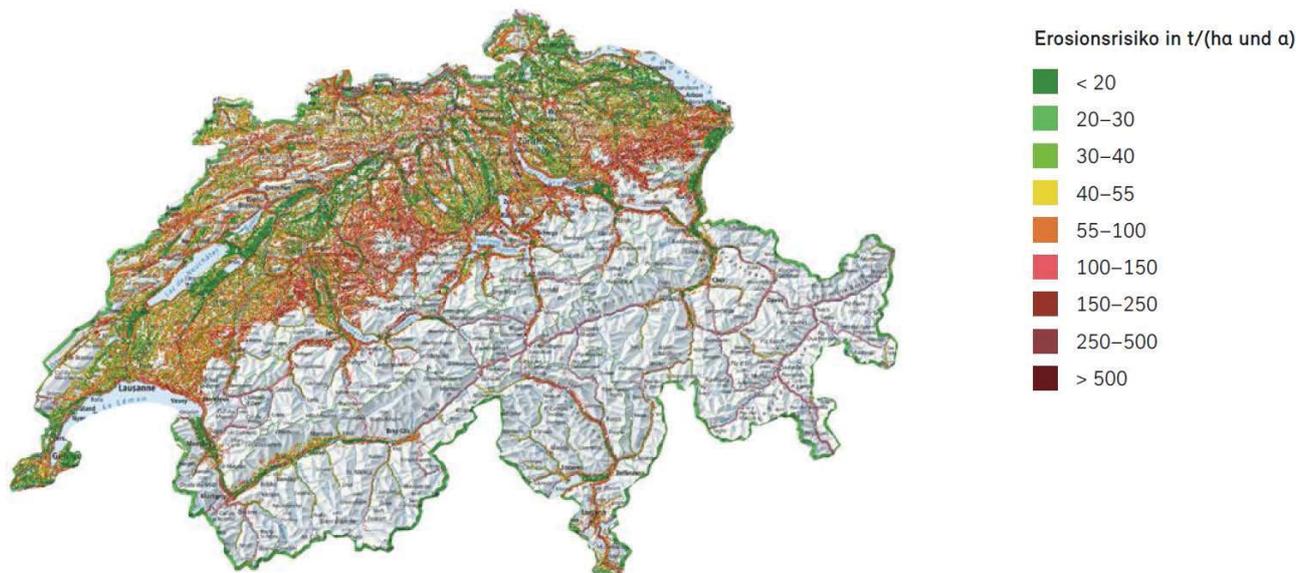


Abb. 7: Potenzielles Erosionsrisiko (ohne Einbezug der aktuellen Bewirtschaftung) für die landwirtschaftliche Nutzfläche der Tal- und Hügellandzone sowie der Bergzonen 1 und 2 in Tonnen pro Hektare und Jahr (aus: Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017)

Ende 2018 soll eine verbesserte Erosionsrisikokarte der Schweiz vorliegen, die eine Auftrennung in Acker- und Grasland erlaubt.

Gewässerbelastungen durch Bodenerosion sind in 55 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche möglich, die einen potentiellen Gewässeranschluss haben (Abb. 8). Der grösste Teil ist dabei indirekt über entwässerte Strassen und Talwege ans Gewässer angeschlossen. Rund 60 000 ha bzw. 10 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Tal- und Hügelland haben eine hohe Anschlusswahrscheinlichkeit.

### **Bodenverdichtung**

Ende der 1980er-Jahre schätzten Fachexperten, dass 10 bis 15 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche von Bodenverdichtung betroffen sind.

Untersuchungen von landwirtschaftlich genutzten Böden in der Zentralschweiz bestätigen, dass das Ausmass der Bodenverdichtung heute deutlich über der Schätzung aus den 1980er-Jahren liegen dürfte und Bodenverdichtung in der Schweiz mit ihren lehmigen Böden und feuchten Klimaverhältnissen ein verbreitetes Phänomen ist. Gemäss Experteneinschätzung wurden rund ein Drittel der untersuchten Standorte als schwach bis stark bodenphysikalisch beeinträchtigt eingestuft.

### **Schadstoffeintrag**

Die Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) zeigen, dass die Grenzwerte für Staubbiederschlag und Schwermetalle seit Jahren flächendeckend eingehalten werden. Dementsprechend wurden im Rahmen der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) bei den Elementen Cadmium, Nickel,

Chrom und Cobalt keine signifikanten Veränderungen über die letzten 20 Jahre beobachtet. Die

Gehalte an Blei und Quecksilber im Oberboden haben sogar deutlich abgenommen.



Abb. 8: Direkte und indirekte Gewässeranschlusskarte zur Erosionsrisikokarte der Schweiz für die landwirtschaftliche Nutzfläche der Tal- und Hügelzone sowie der Bergzonen 1 und 2 (aus: Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017)

Im Hinblick auf organische Schadstoffe enthält die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) Grenzwerte für vier Gruppen organischer Schadstoffe: Polychlorierte Dioxine (PCDD), Furane (PCDF), polyzyklische Biphenyle (PCB) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Die Konzentrationen in den Schweizer Böden liegen in der Regel jedoch deutlich unter den Grenzwerten. Während der letzten 30 Jahre blieben die Gehalte der schweren PAK stabil, jene der leichten PAK waren rückläufig. Auch für PCB geben die zeitlichen Verläufe derzeit keinen Anlass zur Besorgnis. Für Chlorparaffine sind die Resultate nicht eindeutig und bedürfen weiterer Abklärungen.

### **Belastungen durch die Landwirtschaft**

Die NABO beobachtet kontinuierlich steigende Konzentrationen von Zink und Kupfer in Böden mit einer intensiven Graslandnutzung. Eine unveränderte Zunahme würde in 80 bis 200 Jahren zu einer Richtwertüberschreitung führen. Messungen in den Kantonen bestätigen die Zunahme an Kupfer und Zink in Schweizer Landwirtschaftsböden. Im Kanton Aargau weist fast die Hälfte der ackerbaulich genutzten Standorte eine Zunahme des Kupfer-Totalgehalts auf; im Kanton St. Gallen wurde eine bedeutende Zunahme des Zinkgehalts verzeichnet.

Die Anforderungen des Düngerrechts für mineralische, organische und organisch-mineralische Dünger werden zurzeit in Bezug auf die Schwermetallgehalte nicht immer vollständig eingehalten. Insbesondere Überschreitungen des Cadmium-Grenzwertes werden relativ häufig festgestellt. Die Analyseresultate von zehn Schwermetallen zeigen, dass mineralische, phosphathaltige Dünger besonders hohe Schwermetallgehalte aufweisen. Durch die kontinuierliche Optimierung des Nährstoffmanagements in der Schweizer Landwirtschaft konnte der Import von mineralischem Phosphordünger seit Beginn der 1990er-Jahre zwar reduziert werden, dennoch ist das Potenzial zur Reduktion von Phosphordünger noch nicht ausgeschöpft. Das zeigt die nationale Phosphorbilanz: 2012 resultierten im Durchschnitt jährliche Überschüsse von 2 kg Phosphor pro Hektare Landwirtschaftsfläche.

### **Belastung mit Pflanzenschutzmitteln**

In der Schweiz sind rund 250 Wirkstoffe zugelassen. Auf den einzelnen landwirtschaftlich genutzten Standorten der Nationalen Bodenbeobachtung NABO werden im Durchschnitt jährlich 10 Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln ausgebracht. Eine NABO-Pilotstudie hat gezeigt, dass von 80 Wirkstoffen 73 % auch längere Zeit nach

der Anwendung im Boden nachweisbar sind. At-razin wurde gar in 85 % der Bodenproben vorgefunden. Ein eigentliches Monitoring für Pflanzenschutzmittel im Boden existiert allerdings nicht.

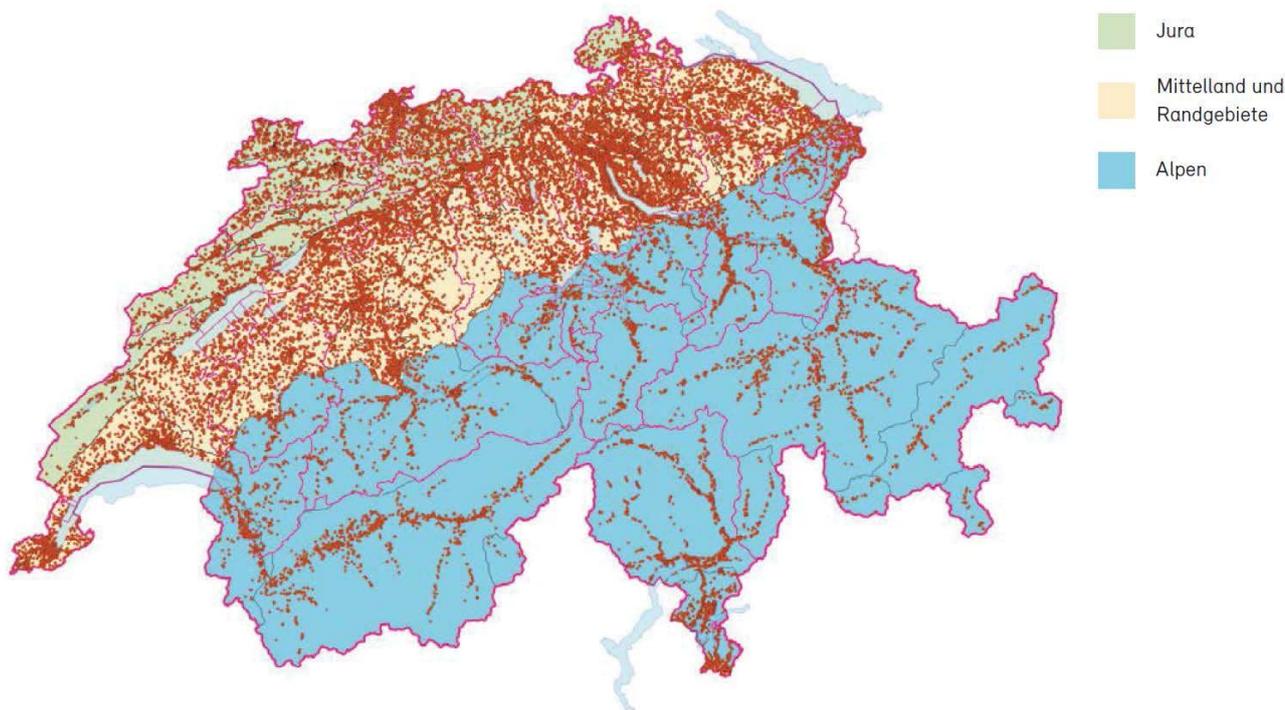


Abb. 9: Verteilung der 38 000 belasteten Standorte in der Schweiz. Im Mittelland entfallen auf 1 Quadratkilometer durchschnittlich 1,9 belastete Standorte, im Jura sind es 1,2 und im Alpenraum lediglich 0,3. Die regionale Verteilung widerspiegelt die Besiedelungsdichte und die unterschiedliche Intensität der wirtschaftlichen Aktivitäten. Jeder Punkt entspricht einem belasteten Standort (nicht flächengetreu). (aus: Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017)

### **Verlust an organischer Substanz**

In mineralischen Ackerböden wurde ein Rückgang des organischen Kohlenstoffs innerhalb der letzten hundert Jahre festgestellt; die Gehalte scheinen sich aber seit den 1990er-Jahren stabilisiert zu haben.

Bedenklich ist die Entwicklung bei den Schweizer Mooren. Allein seit 1900 sind in der Schweiz 82 % der Moore verschwunden. Vor allem durch den Torfabbau und die nachfolgende energetische Nutzung der organischen Substanz wurden grosse Mengen an CO<sub>2</sub> freigesetzt. Mit der anschliessenden landwirtschaftlichen Nutzung der entwässerten organischen Böden wurden infolge der einsetzenden mikrobiellen Zersetzung des Torfs ebenfalls grosse Mengen an CO<sub>2</sub> freigesetzt. Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung dieser Böden führt bis heute zu anhaltenden CO<sub>2</sub>-Freisetzungen.

Insgesamt haben sich die Treibhausgasemissionen aus genutzten Moorflächen seit Anfang des 20. Jahrhunderts sogar verdoppelt. Diese Erhöhung trat trotz der kleiner werdenden Fläche organischer Böden auf. Sie ist eine Folge der zunehmenden Intensivierung der Landnutzung.

Bei gleichbleibender Nutzung wird der noch vorhandene Kohlenstoffvorrat in genutzten organischen Böden in rund 185 Jahren vollständig oxidiert sein. Die für das Treibhausgasinventar erhobenen Schätzungen gehen von 0,7 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> aus, die in der Schweiz gegenwärtig pro Jahr aus entwässerten Mooren entweichen. Dies entspricht 14 % der landwirtschaftlichen Emissionen.

### **Flächendeckende Stickstoffdüngung**

Während der natürliche atmosphärische Eintrag von Stickstoff in die Böden lediglich 0,5 bis 2 kg pro Hektare und Jahr beträgt, hat sich dieser Wert

in den letzten Jahrzehnten vervielfacht. In der Schweiz gelangen Jahr für Jahr durchschnittlich 16 kg Stickstoff über die Luft auf eine Hektare Boden (Abb. 10). Verglichen mit den Düngergaben der Landwirtschaft entspricht dies der ausgebrachten Menge für mittel intensiv genutzte Wiesen. Je nach Standort schwankt die eingetragene Menge zwischen 3 und über 50 kg. Der durchschnittliche Eintrag in Wälder liegt bei 23 kg.

In der Schweiz werden die kritischen Eintragswerte (Critical Loads) für Stickstoff in vielen Lebensräumen zum Teil deutlich überschritten. Es muss daher langfristig mit Veränderungen von Struktur und Funktion der Ökosysteme gerechnet werden. Flachmoore verwandeln sich in triviale Hochstaudengesellschaften; Magerwiesen werden zu artenarmem Normgrünland. Der übermässige Stickstoffeintrag wird für den schleichenden und anhaltenden Verlust an Biodiversität in der Schweiz mitverantwortlich gemacht.

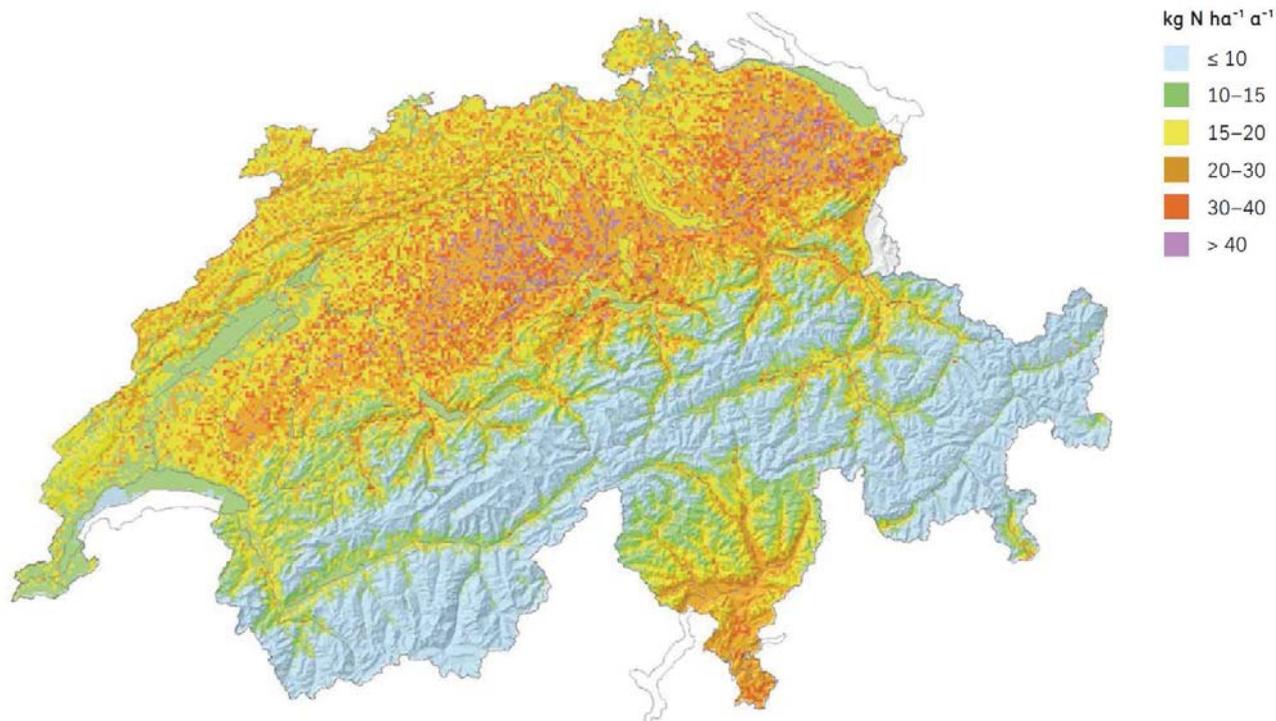


Abb. 10: Stickstoffeintrag in die Schweizer Böden über die Atmosphäre für das Jahr 2010. Insgesamt gelangen auf diesem Pfad jährlich 66 700 Tonnen Stickstoff in die Böden (1 x 1 km Raster; in kg N pro Hektare und Jahr) (aus: Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017)

### Bodenschutz

Seit dem Inkrafttreten des Umweltschutzgesetzes (USG; SR 814.01) am 1. Januar 1985 gibt es in der Schweiz eine rechtliche Grundlage für den qualitativen Bodenschutz. Das Gesetz bezweckt insbesondere die langfristige Erhaltung der biologischen Vielfalt und der Fruchtbarkeit des Bodens. Dem Schutz der Böden vor chemischen Belastungen (Schadstoffeintrag) und physikalischen Belastungen (z. B. Erosion, Verdichtung) ist ein eigenes Kapitel gewidmet (Artikel 33 bis 35).

Gemäss Artikel 33 USG wird der Schutz der Bodenfruchtbarkeit vor chemischen Bodenbelastungen durch Massnahmen angestrebt, die in den

Ausführungsverordnungen zu anderen Bereichen des Umweltschutzes verankert sind (Gewässerschutz, Störfallrecht, Luftreinhaltung, Umgang mit Stoffen, Organismen und Abfällen sowie Lenkungsabgaben). Damit werden all diese Rechtsbereiche neben ihrer Kernaufgabe mit der Wahrnehmung von Bodenschutzanliegen beauftragt.

Die am 1. Oktober 1998 in Kraft getretene Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo; SR 814.12) regelt die Beobachtung, Überwachung und Beurteilung von Bodenbelastungen. Sie bestimmt zudem vorsorgliche Massnahmen gegen Bodenerosion und Bodenverdichtung und gibt vor, welche Massnahmen beim Umgang mit abgetragenen Boden zu treffen sind. Schliesslich

legt sie fest, was auf kantonaler Ebene getan werden muss, wenn in bestimmten Gebieten Bodenbelastungen über den Richt-, Prüf- und Sanierungswerten liegen und damit die Bodenfruchtbarkeit dort nicht mehr langfristig gewährleistet ist.

Darüber hinaus enthalten auch das Gewässerschutz- und das Landwirtschaftsgesetz Vorschriften zum qualitativen Bodenschutz.

(Text gekürzt und verändert aus: Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017).

## **Literatur**

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Boden in der Schweiz - Zustand und Entwicklung. Stand 2017, Bern 2017, 86 Seiten.

BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1996): Handbuch, Waldbodenkartierung. 3003, Bern. 125 S.

FAL Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Autoren: Brunner J., Jäggli F., Nievergelt J., Peyer K., Schriftenreihe Nr. 24. Reckenholz, Zürich.

Grob, U, A. Ruef, U. Zihlmann, L. Klausner, A. Keller: Agroscope Bodendatenarchiv, Agroscope Science, Nr. 14, 2015, 52 Seiten.

Keller, A., J. Franzen, P. Knüsel, A. Papritz, M. Zürrer: Bodeninformations-Plattform Schweiz (bip-ch) – Bodeninformationen, Methoden und Instrumente für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden, Thematische Synthese TS4 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68), 2017, 125 Seiten.

<http://www.snf.ch/de/fokusForschung/newsroom/Seiten/news-180419-medienmitteilung>

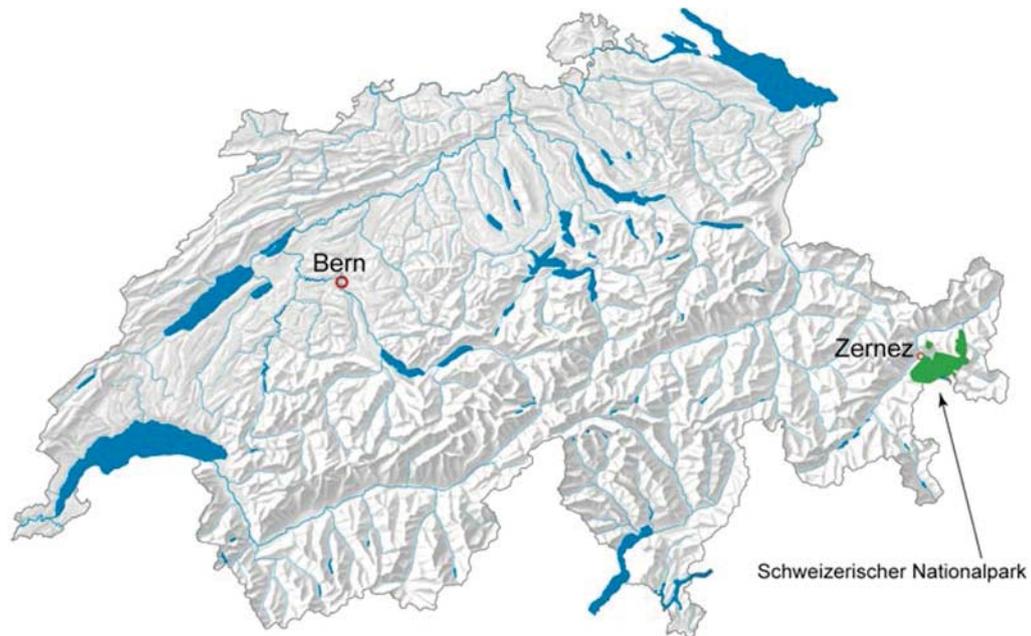
# Z-01: Exkursion in den Schweizerischen Nationalpark in Graubünden

Stephan Zimmermann, Ivano Brunner

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

---

## Exkursionspunkte



## Exkursionsroute

Die Wanderung führt auf einem Bergwanderweg von den Ofenpasswäldern über Alp Stabelchod zu den hochalpinen Matten auf Margunet mit reicher Flora und Fauna und herrlicher Rundschau über den halben Nationalpark, weiter in die Val dal Botsch und wieder zurück auf die Ofenpassstrasse (Abb. 1 und 2).

Auf der Alp Stabelchod lassen sich oft Murmeltiere beobachten. Nun relativ steil ansteigend wandert man am künstlichen Horst vorbei, in dem bisher 26 Bartgeier ausgewildert wurden. Alpine

Matten mit im Juni prächtiger Alpenflora mit Enzian und Edelweiss führen hinauf nach Margunet. Von hier bietet sich ein überwältigendes Panorama über den halben Nationalpark und die von den Gletschern der letzten Eiszeit geformte Landschaft. Oft können Steinadler und Gämser, manchmal auch Bartgeier beobachtet werden. Durch die Val dal Botsch geht es vorbei an eindrucksvollen Geröllhalden und Felsformationen zurück zur Passstrasse. Kurz nach der Überquerung des Fuornbaches erreicht man das Hotel Il Fuorn.



Abb. 1: Links: Höhenprofil der Wanderung Stabelchod – Margunet – Val dal Botsch – Il Fuorn; rechts: Aufstieg durch die Val da Stabelchod (Quelle: <https://www.nationalpark.ch/de/besuchen/wandern/wanderrouten/?trail=18>)

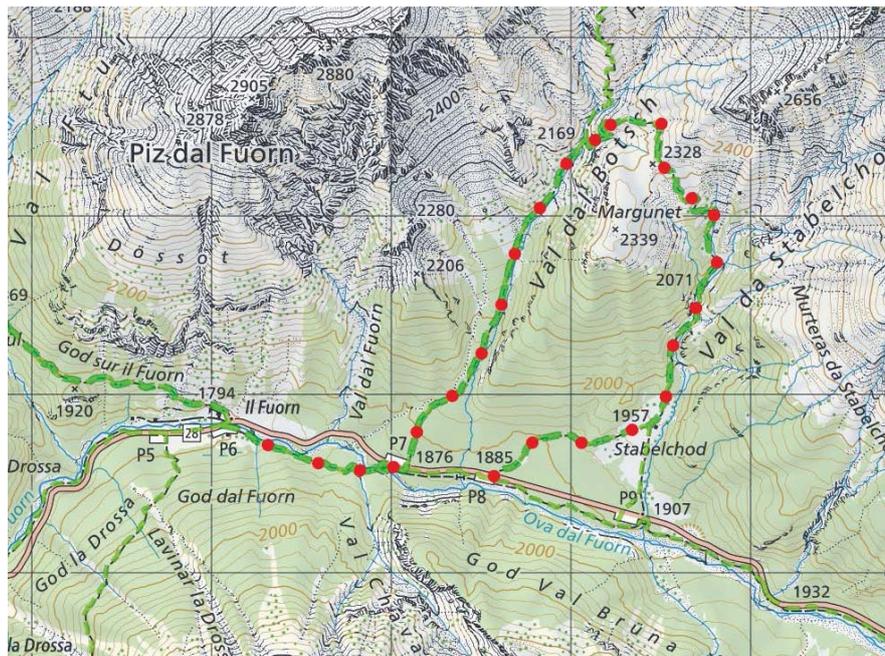


Abb. 2: Wanderroute auf topographischer Karte mit 1 km-Koordinatennetz; Länge: 8 km, Aufstieg: 480 m, Abstieg: 560 m, Wanderzeit: ca. 3 h.

## Allgemeine Informationen zum Schweizerischen Nationalpark

### *Geschichte und Besonderheiten*

Der Schweizerische Nationalpark (SNP) ist das grösste Wildnisgebiet der Schweiz. Diese einmalige Naturoase liegt in der südöstlichsten Ecke der Schweiz und umfasst 170 km<sup>2</sup> unberührte Naturlandschaft mit 80 km markierten Wanderwegen. Gemäss internationaler Naturschutzunion (IUCN) ist der SNP ein Reservat der Kategorie 1a (höchste Schutzklasse, Wildnisgebiet).

Mit Gründungsjahr 1914 ist er zudem der älteste Nationalpark der Alpen und Mitteleuropas. Tiere, Pflanzen, Lebensräume und natürliche Prozesse sind seit über 100 Jahren vor menschlichen Einflüssen geschützt. Hier darf die Natur einfach Natur sein – der Mensch steht im Hintergrund und ist Zeuge der dynamischen Prozesse, die dieser alpinen Landschaft ihren unvergleichlichen Charakter verleihen.

Die wissenschaftliche Forschung ermöglicht es, die natürlichen Prozesse zu verstehen. Der SNP dient als Freiluftlaboratorium, indem wir beobachten können, wie sich die Natur ohne menschliches Zutun entwickelt. Dabei geht es nicht um Wertungen wie «zu viele oder zu wenige Hirsche», «nützliche und unnütze Arten», «richtige und falsche Entwicklungen». Im Zentrum steht viel mehr das Verstehen der natürlichen Zusammenhänge. Der aussergewöhnliche Reichtum an Alpentieren wie Gämsen, Hirsche und Murmeltiere sind eines der Markenzeichen des Nationalparks. Vielfältige Alpenpflanzen sorgen für Farbe entlang der Wanderwege. Zahlreiche Wanderwege mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad bieten Wanderern vielfältige Möglichkeiten. Das Nationalparkzentrum in Zernez bietet eine umfassende, moderne Ausstellung und vielfältige Informationsmöglichkeiten. (Quelle: <https://www.nationalpark.ch/de/about/ueber-uns/naturoase/besondereheiten/>).

Der Nationalpark ist seit 1979 ein UNESCO-Biosphärenreservat und umfasst Höhenlagen von 1400 bis 3174 m ü. M. (Piz Pisoc), der Grossteil liegt in der Subalpinstufe. Ein Drittel des Parkgebiets wird von Wald bedeckt, 20% von Alpen und Wiesen, der Rest besteht aus vegetationsfreien Flächen: Fels, Geröll, Schnee, Eis und Wasser. Berg- und Legföhre sind mit 90% die dominanten

Baumarten, ein Viertel des Baumbestands besteht aus Totholz – Tendenz steigend, da das Verrotten über 100 Jahre dauern kann. (Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Schweizerischer\\_Nationalpark](https://de.wikipedia.org/wiki/Schweizerischer_Nationalpark)).

Im Jahr 2017 erschien ein Buch mit Erinnerungen an Forscherpersönlichkeiten, die in den vergangenen gut 100 Jahren die Forschungsgeschichte des Schweizerischen Nationalparks wesentlich geprägt haben (Baur et al. 2017). Aus bodenkundlicher Sicht gehört ganz sicher Hans Jenny zu diesem Personenkreis. Er wurde am 7. Februar 1899 in Basel geboren, studierte Agronomie an der ETH Zürich und schrieb seine Dissertation in Bodenchemie. Während dieser Zeit untersuchte er auch in Zusammenarbeit mit dem Botaniker Josias Braun-Blanquet verschiedene Böden im Schweizerischen Nationalpark. Dies war die erste interdisziplinäre Forschungsarbeit, die im Nationalpark durchgeführt wurde. Nach Abschluss seiner Dissertation zog Hans Jenny in die Vereinigten Staaten von Amerika, wo er seine Karriere weiterverfolgte und bald ein bekannter Professor für Bodenwissenschaften an der Universität von Kalifornien in Berkeley wurde. Die relativ kurze Zeit in der Schweiz hat ihn aber wissenschaftlich stark geprägt. Zudem hatten seine frühen Arbeiten, die er noch in der Schweiz ausgeführt hatte, eine grosse Bedeutung für den Fortschritt in den bodenwissenschaftlichen Disziplinen.

Weiter waren die Arbeiten von Jules Favre für die Mykologie und im weiteren Sinn auch für die Bodenkunde wegweisend. Er studierte Naturwissenschaften und vertiefte sich im Rahmen seiner Dissertation in Geologie. Seine geologischen und paläontologischen Studien führten ihn zunehmend auch ins Ausland. Durch die Wirren des ersten Weltkrieges waren solche Forschungsreisen nicht mehr möglich und so fokussierte sich Jules Favre auf das Studium der Pilze, ein Gebiet, in welchem er bald zu den international bekannten Fachpersonen gehörte. Seine Frau Jeanne, eine begabte Aquarellmalerin, war ebenfalls eine ausgezeichnete Mykologin. Sie begleitete ihn auf zahlreichen Exkursionen und unterstützte ihn bei der Bestimmung der schwierigen Pilzarten. Während 13 Jahren untersuchte Jules Favre die Pilzflora des Schweizerischen Nationalparks. Die Hauptergebnisse wurden in zwei Monographien mit zahlreichen Erstbeschreibungen

von alpinen Pilzen zusammengefasst. Er stellte die Vergesellschaftung der untersuchten Arten (Soziologie der Pilzarten) vor und erkannte, dass Böden, Bäume, Krautpflanzen und Pilze eng miteinander verbunden sind sowie Temperatur,

Schneebedeckung und Herbivoren mitbestimmende Faktoren für die Artenzusammensetzung sind.

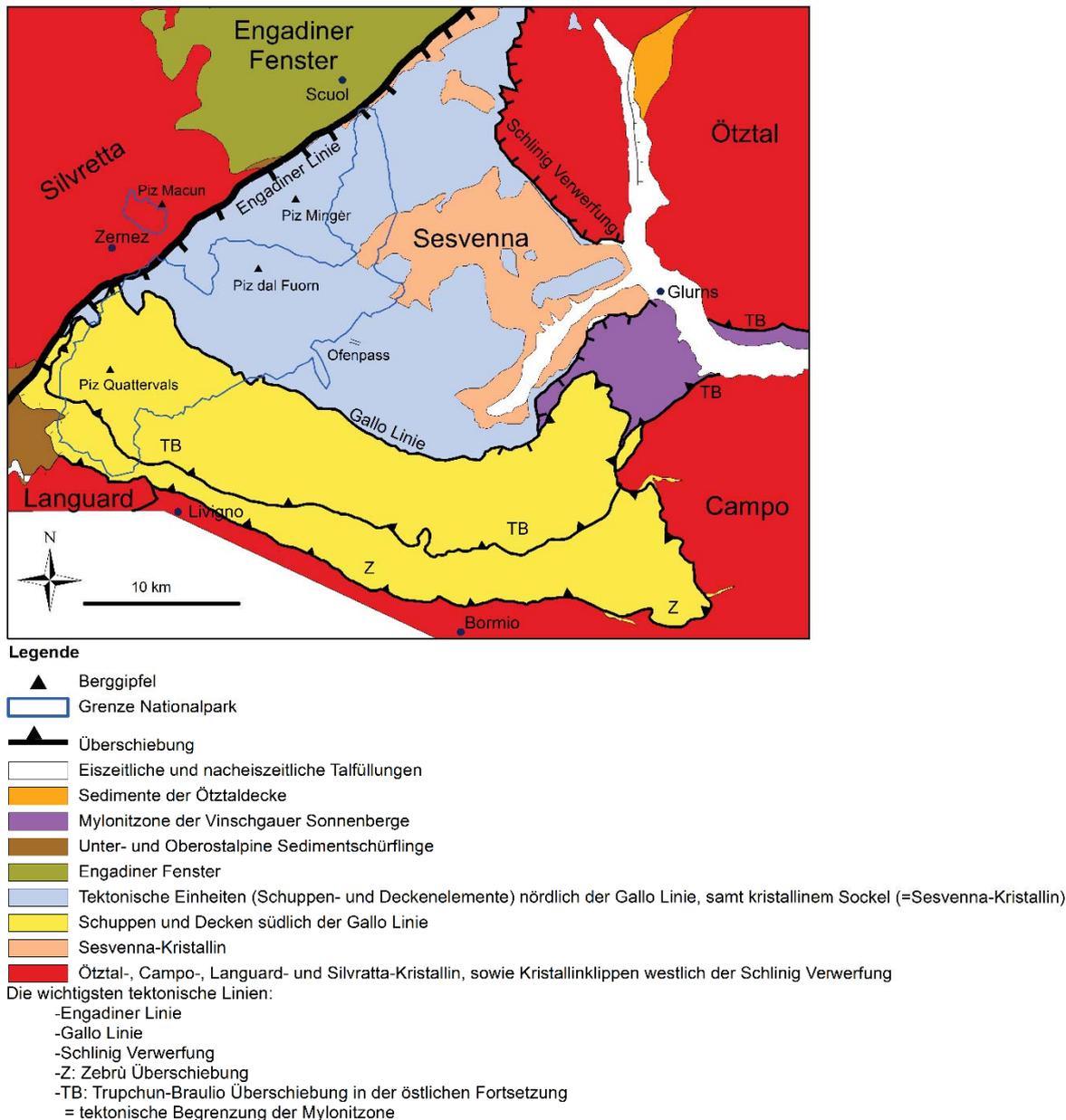


Abb. 3: Tektonische Kartenskizze für das Gebiet des Schweizerischen Nationalparks und seiner Umgebung. Die Engadiner Dolomiten, als Dreieck von gestapelten und übereinandergeschobenen Gesteinspaketen, erscheinen als eingerahmter Gebirgstheil inmitten großer Kristallinmassen: Silvretta im Nordosten, Ötztal im Osten, Campo im Süden und Südosten und Languard im Westen (vereinfacht nach Trümpy et al. 1997; Bearbeitung: Andrea Roesch, Geoinformation SNP). Aus: Zimmermann et al. (2014).

### Geologie

Der Nationalpark gehört geologisch und folglich auch morphologisch zu den Ostalpen. Nach Staub (1934) und Trümpy et al. (1997) ist das ostalpine Relief älter als das westalpine. Auffallend ist, dass in Teilen der Ostalpen – und besonders

im Gebiet des Nationalparks – viele Berggipfel eine ähnliche Höhe von rund 3100 Metern aufweisen. Darum spricht man hier und in Anlehnung an Staub (1934) von einer Gipfelflur, was der Vorstellung einer alten Hochfläche, die durch die seit-

herige Talbildung durchschnitten wurde, entspricht und noch in der heutigen Landschaft alte Landschaftselemente erkennen lässt.

Die Engadiner Dolomiten sind als sogenannte ostalpine Fazies- und Deckeneinheit gut definiert und von den umgebenden Gebirgseinheiten klar unterscheidbar. Es sind große tektonische Linien, die den Rahmen bilden (Abb. 3). Im Nordwesten ist es die Engadiner Linie, im Südwesten bis Südosten die Überschiebung auf das Campo-Kristallin und im Osten die Front der großen Ötztal-Kristallindecke (Trümpy et al. 1997). Mit Ausnahme des Kontakts zum Engadiner Fenster im Unteren Engadin sind die Engadiner Dolomiten von kristallinen Einheiten umrahmt. Es macht also den Anschein, dass die Engadiner Dolomiten ein geologisches Fenster oder eine mächtige Aufwölbung sind, welche teilweise von ihrem kristallinen Deckel entblößt wurde. Der Nationalpark liegt praktisch vollständig im Gebiet dieses Fensters von Engadiner Dolomit, womit die Bodenbildung vor allem durch karbonatische Gesteine geprägt ist.

Der Schichtaufbau der Engadiner Dolomiten gibt die typischen ostalpinen Ablagerungsbedingungen (Fazies) schlechthin wieder. Ihre paläogeographische Heimat ist der südliche Kontinentalrand des Tethys-Ozeans. Sie sind am frühesten von den orogenen Bewegungen erfasst und am weitesten nach Norden verschoben worden. Und ihre Ablagerungsgeschichte endet im Vergleich mit jener der Nord- und Westalpen deutlich früher. Bereits in der Oberen Mittelkreide (vor 100 bis 110 Mio. Jahren) wird dieser Ablagerungsraum – eine riesige Plattform aus Karbonatgesteinen – über den Meeresspiegel gehoben und trockengelegt.

Die Schichtreihe beginnt mit kontinentalen Sedimenten (Münstertaler Verrucano) über dem kristallinen Sockel, der als Resultat extensiver Tektonik auseinandergerissen wird und Becken bildet. Großräumige Absenkungen führten in der mittleren Trias zur Überflutung und zur Bildung von küstennahen Sand- und Karbonat-Ablagerungen im seichten Meer (Fuorn- bis Altein-Formation). Nach einer längeren Phase mit häufiger Trockenlegung und Ausfällung von Gipsschichten (Raibl-Gruppe) bildeten sich in der späten Trias die Gezeitenablagerungen des mächtigen Hauptdolo-

mits (gibt dem Nationalpark sein eigentliches Gepräge, mächtigste Schichtfolge) und die lagunären Gesteine der Kössen-Formation. Im frühen Jura lagerten sich am Kontinentalrand die kieseligen Kalke und Mergel der Allgäu-Formation ab, gefolgt von Tiefwassersedimenten des späten Jura und der Kreide. Rund 80 % der ostalpinen Schichtreihe ist während der Trias (vor 250 – 200 Mio. Jahren) auf einem Schelf (bis 200 Meter tiefes Meer) entstanden.

### ***Landschaftsformende Prozesse (Zimmermann et al. 2014)***

Während der großen Eiszeiten waren im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks einzig die höchsten Gipfel gletscherfrei. Spuren der Kaltzeit sind im Park reichlich vorhanden stammen aber zumeist von der letzten Eiszeit (ca. 110'000 bis 12'000 Jahre vor heute), welche ältere Zeugnisse stark überprägt und einen reichen glazialen Formenschatz hinterlassen hat. Gletscher aus dem Oberengadin stauten sich zwischen Zernez und Susch, so dass ein Teil des Eisstroms über den Ofenpass in den Vinschgau floss und auf seinem Weg granitische Findlinge aus dem Bernina-Gebiet im Nationalpark ablagerte, so auch in der Val Varusch und Val dal Fuorn. In den Nährgebieten kleiner Lokalgletscher formten die Eismassen Felsnischen, sogenannte Kare aus. Solche Karnischen sind etwa in der Val Muschauns, Val Sassa, Val Nügglia oder Val Trigl da Plavna ausgezeichnet erhalten. Die Entstehung junger Schluchten, wie jener der Ova da Varusch, des Spöls und der Clemgia lässt sich ebenfalls mit der Eisbedeckung der letzten Kaltzeit erklären, als sich unter dem Gletscher Abflussrinnen bildeten. Schmelzwasserrinnen am Gletscherrand haben zudem im Laufe der Zeit die heutigen Trockentäler Champsech (bei Ova Spin) oder Champplönch entstehen lassen. Die Moränen am Ausgang der Val da l'Acqua, Val Plavna oder bei Jufplau wurden von den Lokalgletschern am Ende der letzten Kaltzeit abgelagert, als sich das Eis im Oberengadiner Haupttal bereits stark zurückgezogen hatte. Die jüngsten Spuren postglazialer Gletschervorstöße finden sich schließlich in den höchsten Karnischen des Schweizerischen Nationalparks und bezeugen unter anderen den letzten Hochstand von 1850.

Die stark steigenden Temperaturen am Ende der letzten Kaltzeit führten nicht nur zu einem starken Gletscherrückzug, sondern auch verbreitet zum Auftauen des dauerhaft gefrorenen Untergrunds (Permafrost). Weil die Vegetation auf den mit Gletscherschutt bedeckten Hängen damals noch weitestgehend fehlte, gerieten zahlreiche Flanken in Bewegung und formten so imposante Trockenschutthalden und Schuttkegel aus (Abb.4). Seit ihrer Entstehung unmittelbar nach dem Ende der letzten Kaltzeit erfuhren viele der Schuttkörper über Jahrtausende kaum mehr wesentliche

Veränderungen. Es setzte eine Phase weitgehender Stabilität ein, die auf vielen Halden Pioniervegetation (zum Beispiel Legföhren) aufkommen ließ. In jüngster Vergangenheit wurden diese dynamischen Schutthaldensysteme wieder verstärkt belebt, vermutlich als Folge der Kleinen Eiszeit, die vor gut 150 Jahren ihr Ende fand. Erkennen lässt sich die Wiederbelebung der Schuttkörper etwa durch die Ausbildung rezenter Murrinnen oder die erneute Materialverfrachtung aus den meist vegetationsbedeckten Schutthalden auf die Schuttkegel, so wie dies etwa im Mursystem der Val Brüna der Fall ist.



Abb. 4: Das Gebirge zerfällt: Ausgeprägte, aktive Schutthaldenbildung aus dem Hauptdolomit in der hintersten Val Nügla, aufgenommen von Fop da Buffalora (Foto: Christian Schlüchter).

In tieferen Lagen wurde die Oberfläche des Parks in erster Linie von der Wildbachaktivität und kleineren Massenbewegungen geprägt. So hat die Ova dal Fuorn etwa im Laufe der Jahrtausende zwischen der Parkgrenze bei Buffalora und dem Parkplatz P8 (1906 m ü. M.) kontinuierlich Material abgelagert und so ausgedehnte Schwemmfächen geschaffen, durch welche sie noch heute frei fließt. Die Bildung der beachtlichen Schwemmfächer kann auf die große Materialzufuhr aus den Seitenbächen zurückgeführt werden, im Besonderen auf die häufig auftretenden Murgänge aus der Val da Stabelchod oder aus der Val Brüna, wo seit 1789 über 30 größere Murgänge anhand von Jahrringanalysen belegt sind.

Als Folge der intensiven Materialverlagerung am Ende der letzten Kaltzeit vor gut 12'000 Jahren bildeten sich auf den schuttbedeckten Hängen aber auch eine Vielzahl von charakteristischen Reliefformen. In Höhenzonen mit Permafrost bleibt die Boden-, Sediment- und Gesteinstemperatur während mindestens zwei Jahren ununterbrochen unter dem Gefrierpunkt. Im periglazialen Bereich zogen dabei zwei geomorphologische Erscheinungen das Interesse der Forschung ganz besonders auf sich: Erdströme und Blockströme (heute Blockgletscher genannt) (Abb.5). Sowohl Block- wie auch Erdströme sind an Standorte mit zeitweiligem oder ständigem Bodenfrost gebunden, wie er im Park verbreitet in

Höhenlagen oberhalb 2000 m ü. M. potentiell vorkommt.



Abb. 5: Blockgletscher in der Val da l'Acqua fotografiert vom Munt la Schera. (Foto: Christian Schlüchter)

Als wohl typischste Geländeform treten im Permafrost sogenannte Blockgletscher auf, längliche, konvexe Zungen mit deutlichen Fließstrukturen und ausgeprägten Wülsten sowie scharf begrenzten, steilen Stirnpartien und Flanken aus eckigem Gehängeschutt. Die Blockgletscher bestehen aus einem Gemisch von gröberem und feinerem Schutt sowie Eis, wobei der Eisgehalt im Normalfall 40–70 Prozent des Gesamtvolumens des Fließkörpers ausmacht. Durch den hohen Eisgehalt fließen die heute noch aktiven Blockgletscher im Nationalpark, ähnlich einem Lavaström, hang- oder talabwärts, jedoch deutlich langsamer als die eigentlichen Gletscher (ca. 0.5 Meter pro Jahr). Durch die Fließbewegungen entstehen oberflächliche Wülste und eine Stirn mit steiler Böschung, aus welcher immer wieder ungefrorener Schutt losbricht. Die Blockgletscher werden aus dem Gehängeschutt und Stein-

schlagmaterial der benachbarten Bergflanken gespeisen, teilweise aber auch aus verschwemmtem Moränenmaterial.

Nebst den relativ mächtigen Blockgletschern sind auch morphologisch feinere periglaziale Geländeformen beobachtbar: Im zeitweiligen Bodenfrost werden Bewegungen durch das Vorhandensein von flüssigem Wasser auf einer mehr oder weniger undurchlässigen Unterlage hervorgerufen. Derartige Voraussetzungen sind normalerweise an Standorten gegeben, an denen Winterfrost im Sommer teilweise oder komplett auftaut. Die sommerliche Erwärmung der obersten Bodenschicht, die Schneeschmelze und Regen führen zu einer Übersättigung der bereits aufgetauten Erdschicht. Bereits bei geringer Hangneigung beginnt die übersättigte Bodenschicht auf dem noch gefrorenen, wasserundurchlässigen Untergrund in Form von plastischem Bodenkriechen zu fließen. Das Bodenfließen unter Frosteinfluss (Solifluktion) führt zur Bildung von Girlandenrasen, Wanderblöcken und Erdzungen. Ähnlich den Blockgletschern sind auch die verschiedenen Solifluktionsformen auf Gebiete oberhalb der Waldgrenze beschränkt; sie treten aber im Gegensatz zu ersteren auch außerhalb des Permafrosts auf sofern Bodenfrost im Jahresverlauf prägend ist.

Wenn Blöcke oder eine raue Hangoberfläche die Fließbewegung des Bodens hemmen, werden die kriechenden Erdmassen gestaucht und dabei langgestreckte, zungenförmige Loben ausgeformt. Der Höhenrücken des Munt Buffalora (2437 m ü. M.) und die Kuppe des Munt Chavagl (2542 m ü. M.) beherbergen zahlreiche und prachtvoll ausgebildete Erdströme und gelten daher weltweit als Typuslokalität für diese Oberflächenform. An beiden Lokalitäten treten Fließerden im oberen Bereich auf, die hangabwärts allmählich in zungenförmige Ausläufer oder Erdströme verlaufen. Die Erdströme erreichen typischerweise Längen von wenigen bis einigen Dutzend Metern und zeichnen sich durch leicht aufgewölbte Erdstromrücken und parallel dazu verlaufende Steilränder aus, die meistens nach außen markant abfallen. Der Vegetationsbewuchs der Erdströme beschränkt sich vorwiegend auf die Ränder und die Stirn, allenfalls auch auf randnahe Rücken. Die Zungenränder sind nebst Gräsern und Seggen vor allem mit Silberwurz, Edelweiß, Wundklee, und Feldthymian bewachsen.

Auf den Erdstromrücken wachsen dagegen nur vereinzelte Rasenpolster, stellenweise können Ansätze von Girlandenrasen (Abb. 6) erkannt werden. Die untersten und ältesten Erdstromzungen weisen dagegen eine Vegetation auf, die vergleichbar dicht ist, wie jene der umgebenden Wiesen; die Bedeckung der Zungen nimmt jedoch von unten nach oben kontinuierlich ab.



Abb. 6: Beispiele von Strukturböden. Oben links: Girlandenrasen. Oben rechts: Detailansicht einer Rosettenstruktur in schiefri- g, frostverwittertem Gestein. Unten rechts: Steinstreifen bilden sich häufig auf feinem Gesteinsschutt (Foto: a und c: Kurt Graf, b: Christian Schlüchter)

Die Verschiebungsraten schwanken jedoch recht beachtlich, sowohl zwischen einzelnen Jahren als auch zwischen den Loben. Die Schneedecke steuert nicht nur die thermischen Verhältnisse des Untergrunds, sondern auch die Durchnäsung des Bodens und die Vegetationsbedeckung, und so auch die Kriechbewegung der Erdströme. Das Eindringen des Frosts fällt umso stärker aus wenn die Schneedecke im Herbst gering ist (< 40 cm) und dem Boden so die Sommerwärme entzogen wird. Da die Schneedeckendauer und -mächtigkeit von Jahr zu Jahr stark va-

Die Bewegungen der Erdströme wurden im Park gemessen. Die Fließbewegung der Erdströme beschränkt sich typischerweise auf die obersten Dezimeter des Bodens, und die Verschiebung in den obersten 2 bis 5 Zentimetern ist am größten (Gamper 1981).

riieren, erstaunt es kaum, dass auch die Solifluk- tionsbewegungen stark schwanken. Jahre ohne Bewegung wechseln sich mit Jahren ab, in denen die Erdströme bis zu 8 cm talwärts fließen. Die Erdströme am Munt Chavagl befinden sich nahe der Untergrenze des aktuellen Auftretens aktiver Solifluktion, und dürften daher sensibel auf die Klimaerwärmung reagieren. Jahre ohne Bewe- gung dürften in Zukunft häufiger auftreten.

Nebst den imposanten Blockgletschern und Erd- strömen treten im Park viele kleinere Phänomene in Erscheinung, die ebenfalls durch Gefrier- und Tauprozesse des Untergrunds gesteuert werden,

beispielsweise Wanderblöcke, zumeist Findlinge, welche von den Gletschern während der letzten Kaltzeit an Hängen abgelagert wurden. Durch das Auftauen des Winterfrosts gleiten die Blöcke aufgrund ihrer Schwerkraft auf der Auftauschicht hangabwärts. Da ihre Bewegung schneller ist als jene der Umgebung formen die Wanderblöcke eine Furche aus und stoßen Stirnwülste vor sich her. Auf Macun sind Wanderblöcke eine häufige, in allen Expositionen vorkommende Erscheinung, in tieferen Lagen kommen sie jedoch nur noch im Nordwesten bis Nordosten und bis Höhenlagen von etwa 2400 m ü. M. vor.

In hochgelegenen, flacheren Zonen des Schweizerischen Nationalparks treten Frostmusterböden auf, sichtbar als Oberflächenformen mit regelmäßigen Strukturen. Diese Frostmusterböden entstehen durch die Einwirkung von zeitweiligem Bodenfrost und die damit verbundene, von der Temperatur gesteuerte Kontraktion des Materials und durch Frosthub. Durch die regelmäßigen Gefrier- und Tauprozesse werden die Bodenpartikel sortiert, es entstehen Steinringe, Steinpolygone und Steinnetze, wie sie in Abbildung 6 dargestellt sind. Aufgrund der Wasserverfügbarkeit und der Verteilung von feinerem und gröberem Material konzentriert sich auch die Vegetation entlang der Risse, so dass die Steinformationen noch viel deutlicher in Erscheinung treten. An Hanglagen können durch denselben Prozess abwechslungsweise Streifen mit feinem und gröberem Material

ausgeformt werden, sogenannte Steinstreifen (Abb. 6), die mit einer typischen Breite von rund einem Meter und Längen von bis zu hundert Metern hangabwärts verlaufen.

Girlandenrasen, welche sich im Nationalpark besonders auf feinkörnigem und dadurch fließfähigem Lockermaterial wie der gipshaltigen Rauhwacke ausbilden, zogen auch das Interesse der Botaniker auf sich (Zuber 1968). Das Zusammenspiel von Fließbewegung und stabilisierendem Wurzelwerk erfordert Spezialisten wie horstbildende Gräser und Seggen (zum Beispiel *Carex firma*, *Carex sempervirens*, *Sesleria coerulea*, *Festuca pumila*). Trotz dieser Grundlagenarbeit erschienen nach 1980 Fotos von Girlandenrasen in der Presse, welche diese als zerstörerische Folge der damals hohen Huftierbestände belegen sollten.

Die Blockgletscher, Erdströme, Schutthalden und andere periglaziale Formen lassen sich bei weitem nicht nur auf Prozesse, die durch Gletscher oder Bodenfrost geprägt sind, zurückführen. Vielmehr treten im Park eine Vielzahl und Diversität von Landschaftsformen auf wie es sie in anderen intensiv genutzten Gebieten der Schweiz nicht (mehr) gibt (Graf 1991). Dazu gehören karstische Prozesse im kalkhaltigen und dolomitischen Gestein und die Ausbildung von typischen Depressionen, sogenannten Dolinen (Abb. 7), aber auch die Existenz von Höhlensystemen.



Abb. 7: Links: Karstbildung und rechts: Ausbildung einer Doline im Schweizerischen Nationalpark. (Fotos: Kurt Graf)

### **Bergbau (Scheurer et al. 2014)**

Neben der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung prägte der Abbau von Erzen die Nutzungs-

geschichte des heutigen Nationalparks vom frühen 14. Jahrhundert bis in das frühe 19. Jahrhundert (Schläpfer 1960). Wichtigste Abbaustellen waren bei Scharl (14.-17. Jahrhundert), am Munt

Buffalora (14.-15. Jahrhundert) und die Bergwerke Ova Spin, Val Ftur und Val dal Botsch bei Il Fuorn (15.-17. Jahrhundert). Der Abbau erfolgte stets in Phasen, zwischen denen die Bergwerke und Verarbeitungsanlagen während Jahren oder Jahrzehnten stillgelegt waren. Die Minengebiete (Bergwerke) lagen generell über der Waldgrenze und immer in Hanglagen, denn beides begünstigte das Aufspüren der Lagerstätten. Während des Betriebs wurde das Roherz von den Bergwerken zur Erzverhüttung transportiert. Die Hüttenwerke lagen grundsätzlich im nächstgelegenen waldreichen Gebiet und – für den Betrieb der Gebläse und Schmiedehämmer – an der Wasserkraft. Die Verhüttung erforderte grosse Holzmenngen in Form von Holzkohle, welche die Schmelz- und Reduktionsprozesse in den Öfen und im Falle des Eisens auf den Schmiedeessen in Gang hielten.

Der Bergbau hinterliess in den Abbaugebieten des Munt Buffalora, der Murteras da Grimmels, der Val dal Botsch und der Val Mingèr vor allem im Bereich der Gruben mit ihren Halden, Scheideplätzen, Schürfstellen und Transportwegen bis heute sichtbare Spuren. Im Gebiet Il Fuorn und in der Val Mingèr wurden nahezu alle Waldungen für den Bergbau genutzt. Die intensive Nutzung der Wälder ist heute noch an den zahlreichen Stellen ehemaliger Kohlemeiler sichtbar, welche bevorzugt um die Verhüttungsanlage und entlang der Transportwege betrieben wurden.

#### **Klimatische Bedingungen (Bader et al. 2014)**

Das Klima der Schweiz und damit auch das Klima Graubündens werden stark durch den nahen Atlantik geprägt. Mit den vorherrschenden Strömungen aus westlicher und südwestlicher Richtung gelangt vorwiegend feucht-milde Meeresluft in die Schweiz, wobei die Alpen als markante Klimaschranke zwischen der Nord- und der Südschweiz, welche hauptsächlich vom Mittelmeer beeinflusst wird, wirken.

Für die Niederschlagsverteilung ist der Alpenbogen ebenfalls stark prägend. Die grössten Mengen fallen als Stauniederschläge in den nördlichen Voralpen und Alpen sowie im Tessin. Im Schutze der Berge hingegen befinden sich inneralpine Trockengebiete wie das Wallis, Mittelbünden und das Engadin (Abb. 8). Das Gebiet des

Nationalparks liegt also innerhalb eines inneralpinen Trockengebietes. An der Station Buffalora wird mit rund 800 mm pro Jahr nicht einmal die Hälfte der Niederschlagssumme gemessen, die in den Glarner oder Tessiner Alpen fällt. Selbst in weiten Teilen des Mittellandes werden grössere Mengen registriert.

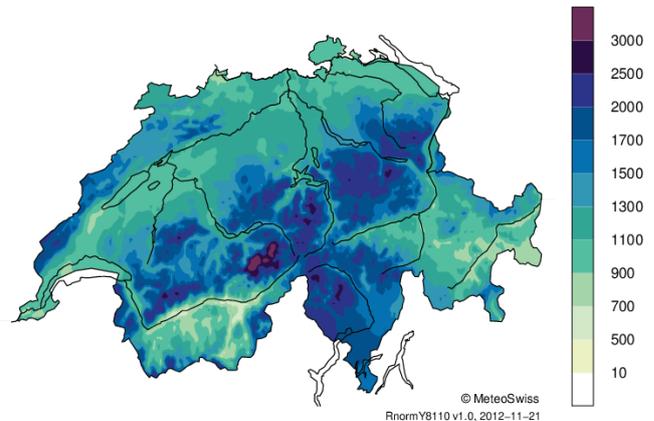


Abb. 8: Mittlerer Jahresniederschlag (mm) in der Schweiz auf der Basis Normperiode 1981-2010. Aus Bader et al. (2014)

Das Klimadiagramm von Buffalora (Abb. 9) zeigt einen ausgeprägten Jahresgang des Niederschlags mit einem Maximum in den Sommer- und einem Minimum in den Wintermonaten. Im Winter fallen die Niederschläge weitgehend aus herangeführten Luftmassen. Da sich diese an den Voralpen/Alpen stauen, geht bereits viel Feuchtigkeit verloren, bevor sie das Gebiet des Nationalparks erreicht haben.

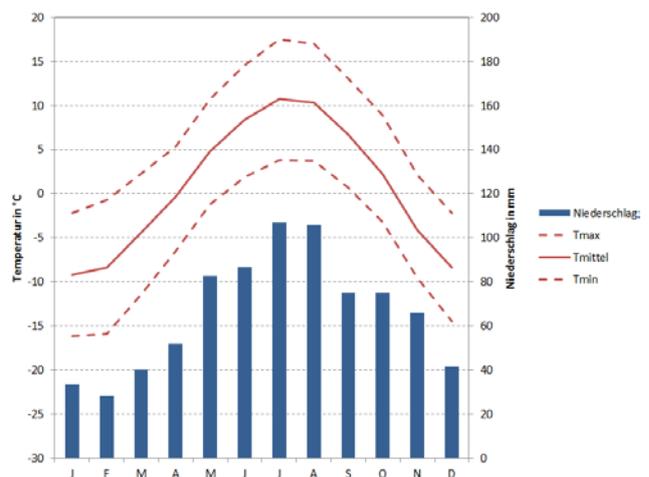


Abb. 9: Mittlerer Klimadiagramm der MeteoSchweiz Messstation Buffalora. Dargestellt sind die Monatswerte der Normperiode 1981-2010 (Temperaturmittel, mittleres Minimum und mittleres Maximum bei der Lufttemperatur, Mittelwert beim Niederschlag). Aus: Bader et al. (2014).

Die Sommerniederschläge hingegen entstammen oft Schauern und Gewittern, welche gewöhnlich an Ort und Stelle über den Bergen entstehen. Diese konvektiven Niederschläge treten im gesamten Alpenraum auf, und die regionalen Unterschiede sind kleiner, wobei die Maxima am Alpennordhang auftreten. Frühling und Herbst schliesslich sind typische Föhnjahreszeiten. Anhaltende Südstaulagen führen in dieser Zeit vor allem im Tessin und im Oberengadin zu starken Niederschlägen, die auch den Nationalpark treffen können.

Neben saisonalen Unterschieden weisen die Niederschlagsmengen, abhängig von unterschiedlichen Grosswetterlagen, auch eine grosse jährliche Variabilität auf. Auffallend sind diesbezüglich die im Engadin und in der Val Müstair und somit auch im Nationalpark sehr trockenen Jahre von 2003 bis 2007.

Die Temperatur an einem Standort wird grundsätzlich durch die Höhenlage und die Exposition bestimmt. Die Abnahme mit der Höhe beträgt dabei im Mittel  $-0.4$  bis  $-0.6$  °C pro 100 m. Diese Ab-

nahme gilt aber nicht beim Vergleich von Standorten mit unterschiedlicher Exposition, wie zum Beispiel in ausgeprägten Tal- und Gipfellagen oder bei klimatologischen Besonderheiten wie der inneralpinen Trockenheit.

Im Winterhalbjahr kühlt die Luft bei vorhandener Schneedecke während klarer Nächte bodennah stark aus und sammelt sich in Tal- und Muldenlagen. Daraus resultieren tiefere Minimumtemperaturen als an Gipfel- und Hanglagen in vergleichbarer Höhe. Am Tag wird die einfallende Sonnenstrahlung in die Erwärmung der Atmosphäre und die Verdunstung von Wasser umgesetzt. Als Folge des inneralpin geringen Wasserangebots ist die Verdunstung im regionalen Vergleich reduziert, und es fliesst mehr Energie in die Erwärmung der Luft.

Zusammengefasst kann das aktuelle Klima des Nationalparks als trocken-kühl mit ausgeprägten Temperaturunterschieden zwischen Sommer und Winter bezeichnet werden. Tabelle 1 zeigt die langjährigen Durchschnittswerte an der Messstation Buffalora.

Tab. 1: Langjährige Mittelwerte ausgewählter Messgrößen an der Messstation Buffalora 1968 m.ü.M. (Normperiode 1981-2010, für Schneedecke: 1981-1998); Legende: Temperatur = Monatsmittel der Temperatur, Maximumtemp = Monatsmittel aller täglichen Maximumtemperaturen., Minimumtemp = Monatsmittel aller täglichen Minimumtemperaturen, Eistage = Anzahl Tage mit einer Maximumtemperatur kleiner als 0° Celsius, Frosttage = Anzahl Tage mit einer Minimumtemperatur kleiner als 0° Celsius, Sommertage = Anzahl Tage mit einer Maximumtemperatur grösser oder gleich 25° Celsius, Hitzetage = Anzahl Tage mit einer Maximumtemperatur grösser oder gleich 30° Celsius, Rel. Feuchte = Monatsmittel der relativen Luftfeuchtigkeit, Niederschlag [mm] = Monatliche Niederschlagssumme, Niederschlag [Tage] = Anzahl Tage mit 1 mm oder mehr Niederschlag, Neuschnee [cm] = Monatssumme des Neuschnees, Neuschnee [Tage] = Anzahl Tage mit 1 cm oder mehr Neuschnee, Schneedecke = Anzahl Tage mit einer Gesamtschneehöhe grösser oder gleich 1 cm

		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Auf	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	[°C]	-9.2	-8.4	-4.4	-0.4	4.8	8.4	10.7	10.3	6.6	2.2	-4.1	-8.4	0.7
Maximumtemp	[°C]	-2.2	-0.7	2.3	5.3	10.7	14.6	17.5	17.0	13.0	8.9	2.1	-2.2	7.2
Minimumtemp	[°C]	-16.2	-15.9	-11.4	-6.6	-1.2	1.9	3.8	3.7	0.6	-3.2	-9.6	-14.5	-5.7
Eistage	[Tage]	20.6	15.8	9.9	3.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	9.0	20.3	80.4
Frosttage	[Tage]	31.0	28.2	30.7	28.7	20.0	9.1	4.0	3.4	12.6	24.4	29.2	31.0	252.3
Sommertage	[Tage]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
Hitzetage	[Tage]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rel. Feuchte	[%]	78	74	72	72	72	69	68	71	73	76	80	81	74
Niederschlag	[mm]	34	28	40	52	83	87	107	106	75	75	66	42	793
Niederschlag	[Tage]	7.0	5.8	7.4	9.1	11.2	11.3	11.3	11.0	8.8	8.3	8.1	7.4	106.7
Neuschnee	[cm]	65.1	44.7	50.9	54.8	18.0	5.1	1.7	2.8	6.2	24.6	54.1	73.5	401.5
Neuschnee	[Tage]	9.1	7.2	8.2	7.8	3.0	0.6	0.2	0.3	1.0	3.1	6.8	8.5	55.8
Schneedecke	[Tage]	31.0	28.2	30.3	24.0	9.9	0.8	0.2	0.2	1.2	5.5	18.8	30.0	180.1

## Böden (Zimmermann et al. 2014)

### Bodenbildung auf karbonathaltigem Gestein:

Dolomit ist das am meisten verbreitete karbonathaltige Gestein im Nationalpark, Kalkstein und Mergel sind seltener. Frost- und Lösungsverwitterung zersetzen das Gestein und nicht-karbonatische Bestandteile reichern sich im Lösungsrückstand an, weshalb die Feinerde der Böden bis zu einem gewissen Grad karbonatfrei sein kann. Grundsätzlich ist der Abbau der organischen Substanz in karbonathaltigen Böden der subalpinen, mit Wald bedeckten Stufe nur durch die Verbindung mit Kalzium und die damit verbundene Stabilisierung limitiert. Zusätzlich wird der Abbau im Nationalpark durch tiefe Temperaturen und Trockenheit gehemmt, was oft zu organischen Auflagen der Böden führt. Dadurch versauert der mineralische Oberboden, jedoch nicht so stark, dass eine ausgeprägte Verbraunung eintreten könnte. Die Böden auf Dolomit zeigen normalerweise ein A-C Profil, mit einer mehr oder weniger

mächtigen organischen Auflage, einem A-Horizont, in welchem organische Substanz mit Mineralerde vermischt ist, und einem C-Horizont, welcher aus wenig verwittertem Ausgangsgestein besteht. Sie werden als Humuskarbonatböden bzw. Rendzinen bezeichnet. Ihre Entwicklung im subalpinen Bereich des Schweizerischen Nationalparks ist in Abb. 10 dargestellt.

Abb. 11 zeigt die unterschiedliche Ausprägung von Humuskarbonatböden unter Wald auf Wettersteindolomit am Hügel Plan da la Posa. Der Hügel von Plan da la Posa bei Il Fuorn, ein markanter Felshügel aus Wettersteindolomit auf 1900 m ü. M., weist über alle Expositionen die gesamte Entwicklungsserie der Rendzinaböden und die verschiedenen Waldassoziationen der Erika-Föhrenwälder (Pineto-Ericion-Verband) auf annähernd gleicher Meereshöhe auf, wobei die hauptsächlich modifizierenden Bodenbildungsfaktoren die Exposition und die unterschiedliche Vegetationszusammensetzung sind.

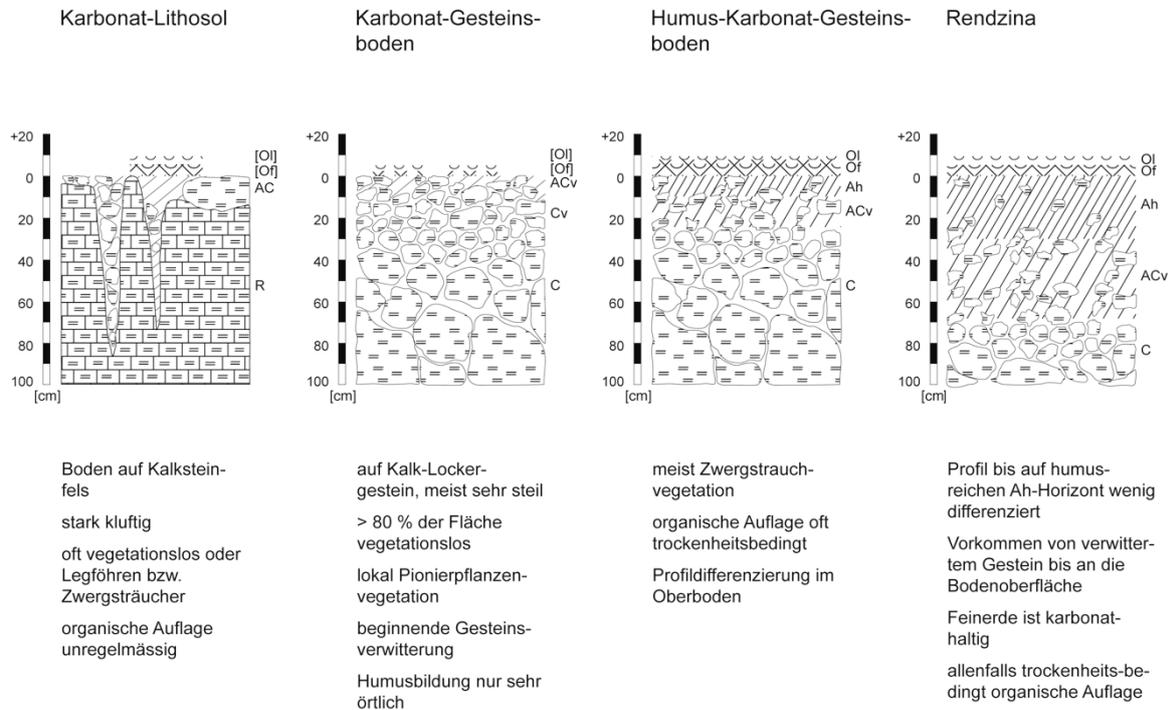


Abb. 10: Bodenentwicklung im Dolomitgestein in der subalpinen Stufe des Schweizerischen Nationalparks. Aus Zimmermann et al. (2014)

In der höher gelegenen alpinen Zone (oberhalb der Waldgrenze) bildet sich zuerst ein Humus-Karbonatboden mit Mull, der nach und nach entkarbonatisiert wird und versauert. Im mineralischen Oberboden setzt eine flachgründige Verbraunung ein, verbunden mit einer weiteren Versauerung und Auswaschung von Nährstoffen. Dadurch nimmt die Produktivität bis zur Verbraunung zuerst zu und mit der weiteren Versauerung wieder ab. Die entsprechende Vegetationssukzession führt von einem Caricetum firmiae über ein Seslerietum zu einem Festuco-Trifolie Thalii und endet mit dem Krummseggenrasen (Caricetum curvulae).

**Bodenbildung auf Silikatgestein:**

Im Gebiet des SNP steht nur auf einer geringen Fläche Silikatgestein als Ausgangsgestein für die Bodenbildung an. Der wichtigste Vertreter ist der Münstertaler Verrucano, der an der Nordabdachung des Munt la Schera ansteht. Der Verrucano ist sehr sauer und enthält wenige Basen. Er verwittert vor allem hydrolytisch wobei die Elemente Eisen und Aluminium aus den Mineralien frei werden und als Oxide bzw. Hydroxide ausfallen. Durch die Eisenoxide wird der Mineralboden rotbraun gefärbt, was als Verbraunung bezeichnet wird. Im Gegensatz zu den karbonathaltigen

Böden sind die Prozesse der Verbraunung, Versauerung und Auswaschung viel intensiver, sodass sich eine ausgeprägte Profildifferenzierung einstellt.

Im Detail beginnt die Bodenentwicklung in der subalpinen Zone des Nationalparks mit einem Rohboden, auf welchem sich eine Pioniervegetation einstellt. Durch die Produktion von organischer Substanz wird Humus gebildet, was zu einem Humus-Silikatgesteinsboden führt. Es können sich mit der Zeit auch anspruchsvollere Pflanzen wie Zwergsträucher und erste Bäume etablieren. Da die biologische Aktivität bei den sauren Verhältnissen in Verbindung mit der meist schwer abbaubaren Streu gering ist, bildet sich eine organische Auflage. Die Gesteinsverwitterung schreitet fort und führt zu einer Verbraunung des Mineralbodens. Versickernder Niederschlag löst in den organischen Auflagen Säuren, welche die farbgebenden Eisenverbindungen, aber auch andere Kationen lösen und im Boden in die Tiefe verlagern. Dadurch wird der mineralische Oberboden gebleicht und die tiefer gelegenen Horizonte durch die verlagerten und wieder ausgefällten Humusstoffe dunkel bzw. durch die Eisenverbindungen intensiv rostrotbraun gefärbt. Dieser Prozess der Auswaschung, Verlagerung

und Wiederaus-fällung wird als Podsolierung bezeichnet. Somit folgt in der Bodensukzession auf den Humus-Silikatgesteinsboden die saure

Braunerde, die podsolierte Braunerde und schließlich der Podsol.



Abb. 11: Typische Bodenentwicklung auf karbonatischem Gestein im Schweizerischen Nationalpark am Beispiel des Hügels Plan da la Posa: In S-Exposition flachgründiger, in N-Exposition tiefgründiger sowie in W- und E-Exposition mittelgründiger Humus-Karbonatboden (Fotos: M. Walser, WSL). Aus: Zimmermann et al. (2014)

Oberhalb der Waldgrenze bilden sich unter Grasvegetation keine markanten organischen Auflagen. Der humushaltige Mineralboden enthält nicht vollständig mineralisierte organische Substanz, welche ebenfalls podsolierend wirkt, jedoch nicht so ausgeprägt wie unter Wald in der subalpinen Zone. Deshalb finden sich hier keine ausgeprägten Eisen-Humus-Podsole, sondern meistens Braun-Podsole, bei welchen die Podsolierung morphologisch nicht sichtbar und nur analytisch nachweisbar ist.

### Exkursionsobjekt

#### **Bodenprofil**

In Abb. 12 sowie den Tabellen 2 bis 4 ist das Bodenprofil mit den morphologischen Eigenschaften und den Standortfaktoren vorgestellt. In den Tabellen 5 bis 9 sind die Bodendaten des Profils zusammengestellt.

Die von den Berg-Föhren und den Zwergsträuchern anfallende Streu ist sehr schwer abbaubar

(nährstoffarm, viele phenolische Inhaltsstoffe). Die Humusform wird als Xeromoder bezeichnet. Gründe für den gehemmten Abbau sind ein sehr weites C/N-Verhältnis in der org. Auflage (31 bzw. 39, Tab. 8) sowie ein weites C/P-Verhältnis (726 bzw. 1232, Tab. 8). Hinzu kommt, dass im kontinentalen Klima am Ofenpass am S-exponierten Standort ein Risiko für Trockenstress besteht und die zeitweilige Austrocknung des Oberbodens den Streuabbau zusätzlich hemmt. Aufgrund der Krümelstruktur und des alkalischen pH-Wertes im Oberboden ist jedoch anzunehmen, dass die Mineralisierung im Mineralboden bei ausreichender Feuchtigkeit relativ hoch ist. Deshalb wird ein Grossteil der Humusstoffe, welche in den Mineralboden eingewaschen werden, mineralisiert und ein weiterer Teil durch die Bildung von Ca-Humaten stabilisiert. Auf diese Weise konnte sich ein im gesamtschweizerischen Vergleich mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 101 t/ha bilden (Tab. 9).

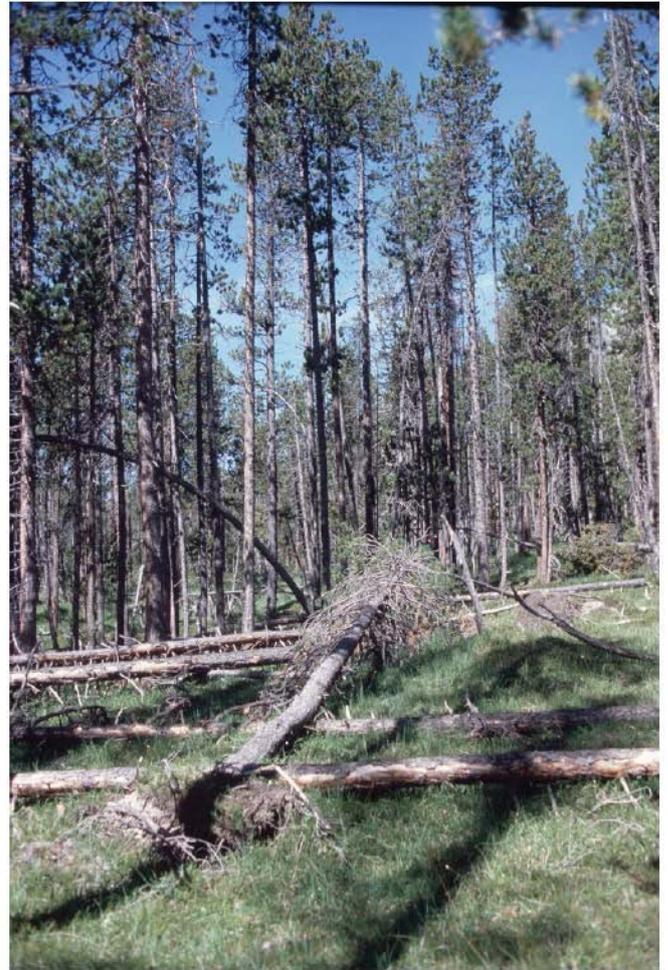


Abb. 12: Bodenprofil und Bestand am Profilort der langfristigen Waldökosystemforschung im Nationalpark (Fotos: M. Walser, WSL). Aus: Blaser et al. (2005).

Der gegenüber dem C4-Horizont viel grössere Tongehalt im CS-Horizont sowie der grössere Tongehalt in den obersten 20 cm Tiefe (Tab. 5) dürften mit der Schichtung des Profils, welche durch die Ablagerung und Sortierung von wechselweise kiesigen und schluffigen Schichten durch den nahegelegenen Wildbach erfolgte, erklärt werden.

Die Schichtung im Profil hat einen Einfluss auf die extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte. Die C2-, C3- und C4-Horizonte sind deutlich kiesreicher sowie ton- und schluffärmer als die anderen Horizonte. Hier sind die  $Fe_d$ -,  $Fe_o$ - und  $Al_o$ -Gehalte sowie das  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnis am kleinsten.

Es ist das am wenigsten verwitterte Material. Die anderen Horizonte sind viel feinkörniger. Es kann angenommen werden, dass in diesen Schichten durch den Wildbach bereits vorverwittertes Material abgelagert wurde, denn nur so kann die Zunahme des  $Fe_d$ -Gehaltes im CS-Horizont (Tab. 6) erklärt werden. Durch die Vorverwitterung wurde auch das  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnis beeinflusst. Es ist im CS-Horizont gegenüber den C-Horizonten grösser, was nicht als Verbraunung interpretiert werden darf. Ebenso kann eine Verbraunung im Oberboden ausgeschlossen werden. Der Anstieg des  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnisses im Oberboden ist wohl auf die Ablagerung von vorverwittertem Material zurückzuführen.

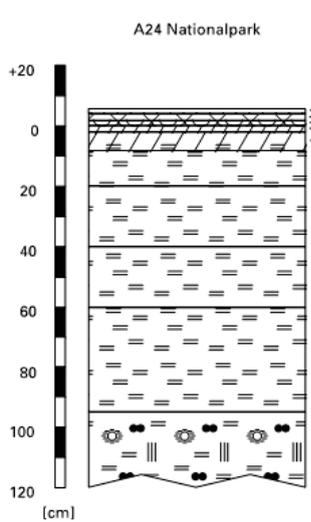
Tab. 2: Zusammenfassende Angaben zum Bodenprofil Nationalpark

<b>Lokalname</b>	Nationalpark (Kanton Graubünden, Gemeinde Zernez) Forschungsfläche der Langfristigen-Waldökosystem-Forschung
<b>Lage</b>	Landeskarte 1: 25 000 Blatt 1219, S-charl
	Koordinaten 813599 / 171719
<b>Waldgesellschaft</b> (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 67: Schneeheide-Bergföhrenwald (Erico-Pinetum montanae)
<b>Horizontfolge</b>	L-F1-F2-Ah-AC-C1-C2-C3-C4-CS
<b>Humusform</b>	Xeromoder
<b>Bodentyp</b>	Rendzina
<b>Bodentyp nach FAO (1988)</b>	Calcaric Fluvisol

Tab. 3: Bodenbildungsfaktoren am Profilort Nationalpark

<b>Relief</b>	Höhe ü. M.	1900 m	
	Exposition	S	
	Neigung	11 %	
	Geländeform	Mittelhang	
<b>Ausgangsgestein</b>	Tektonik / Geologie	Ostalpin; Schwemmfächer aus Dolomiten, Kalken, Tonschiefern und Rauhwacke	
	Lithofazies (nach Tuchs Schmid 1995)	Nr. 31: Wildbachablagerungen und Gehängeschutt physikalische Verwitterbarkeit Gestein: mittel chemische Verwitterbarkeit Gestein: mittel Tongehalt Gestein: sehr niedrig-niedrig	
<b>Klima</b>	T / N Jahresmittel	1.4 °C / 1048 mm	
	T / N Januarmittel	-7.2 °C / 57 mm	
	T / N Julimittel	10.8 °C / 115 mm	
	Tage mit Schneedecke	206	
	Wärmegliederung	sehr rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	120-135 Tage	
<b>Pflanzen</b>	<b>häufigste Arten</b>		
	<b>Schicht</b>	<b>Deckung</b>	
	Baumschicht (10 m Höhe)	40 %	35 % Berg-Föhre (Pinus montana)
	Strauchschicht	5 %	-
	Krautschicht	85 %	Erika (Erica carnea) Preiselbeere (Vaccinium vitis-idaea) Buntes Reitgras (Calamagrostis varia) Weisse Segge (Carex alba) Blaugras (Sesleria caerulea) Heide-Wachtelweizen (Melampyrum pratense) Buchsblättrige Kreuzblume (Polygala chamaebuxus)
	Moosschicht	15 %	-

Tab. 4: Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Nationalpark (Bodenart: U Schluff, IS lehmiger Sand, S Sand)



Horizont	Tiefe [cm]	Skelett	Bodenart	Gefüge	Dichte	Hydro-morphie	Farbe Soil Color Chart	Durch-wurzelung
L	5.5-4							
F1	4-1.5							
F2	1.5-0							
Ah	0-2	sehr schwach	U	Krümel	sehr locker	keine	10 YR 2/2	stark
AC	2-8	sehr schwach	U	Krümel	locker	keine	10 YR 4/2	stark
C1	8-20	sehr schwach	U	Fragmente	mittel	keine	2.5 Y 6/3	mittel
C2	20-40	sehr stark	IS	Einzelkorn	mittel	keine	2.5 Y 6/2	mittel
C3	40-60	sehr stark	IS	Einzelkorn	mittel	keine	2.5 Y 6/2	mittel
C4	60-95	sehr stark	S	Einzelkorn	mittel	keine	2.5 Y 6/2	schwach
CS	> 95	sehr schwach	U	Fragmente	dicht	Rostflecken	2.5 Y 7/3	schwach

**Bodendaten**

Tab. 5: Bodenphysikalische Mess- und Schätzgrößen im Bodenprofil Nationalpark (n.b. nicht bestimmt)

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett-gehalt [%v]	Bodenart [%g]			Trockenraumdichte		ges. Wasser-leitfähigkeit [cm/d]	nWSK [l/m <sup>2</sup> ]
			Sand	Schluff	Ton	Boden [g/cm <sup>3</sup> ]	Feinerde [g/cm <sup>3</sup> ]		
F1	4 - 1.5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9
F2	1.5 - 0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6
Ah	0 - 2	5	29	47	25	1.01	0.89	100	5
AC	2 - 8	3	40	50	10	1.43	1.39	49	16
C1	8 - 20	2	27	63	10	1.38	1.37	49	32
C2	20 - 40	55	65	31	4	1.86	1.13	92	22
C3	40 - 60	55	68	27	4	1.85	1.14	92	22
C4	60 - 95	56	73	23	4	1.89	1.12	155	30
CS	95 - 120	1	17	73	10	1.61	1.61	9	63

Tab. 6: Eisen- und Aluminiumoxide im Bodenprofil Nationalpark (n.b. nicht bestimmt)

Horizont	Tiefe [cm]	pedogene Al- und Fe-Bindungsformen [mg/kg]					Verhältnisse					
		Fe_d	Fe_o	Fe_p	Al_o	Al_p	Fe_o / Fe_d	Fe_p / Fe_o	Al_p / Al_o	Fe_d / Ton	Fe_o / Ton	
F1	4 - 1.5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
F2	1.5 - 0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ah	0 - 2	9939	3004	1073	756	765	0.30	0.36	1.01	41	12	
AC	2 - 8	6319	1709	876	273	653	0.27	0.51	2.39	62	17	
C1	8 - 20	5639	1583	803	230	656	0.28	0.51	2.85	59	17	
C2	20 - 40	3921	761	506	180	659	0.19	0.67	3.66	91	18	
C3	40 - 60	3831	497	515	115	610	0.13	1.04	5.32	88	11	
C4	60 - 95	3385	568	469	139	667	0.17	0.82	4.79	87	15	
CS	95 - 120	5628	1709	347	230	614	0.30	0.20	2.68	54	17	
Bestimmungsgrenze		400	50	50	40	40	-	-	-	-	-	

Tab. 7: pH-Wert und Ammoniumchlorid-extrahierbare Kationen im Bodenprofil Nationalpark (n.b. nicht bestimmt; < BG kleiner Bestimmungsgrenze)

Horizont	Tiefe [cm]	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	austauschbare Kationen [mmol <sub>c</sub> /kg]										KAK [mmol <sub>c</sub> /kg]	BS [%]	BC/Al
				Na	K	Ca	Mg	H	Mn	Pb	Zn	Al	Fe			
F1	4-1.5	n.b.	6.4	0.59	11.5	337	204	2.8	0.93	< BG	< BG	0.3	0.07	557	99	1816
F2	1.5-0	6.5	6.0	1.23	15.4	364	227	2.9	1.49	0.02	0.35	0.2	0.12	613	99	2612
Ah	0-2	7.7	7.1	0.29	3.1	166	75	< BG	0.18	0.02	0.19	< BG	0.10	244	100	n.b.
AC	2-8	8.3	7.4	0.31	0.7	88	27	< BG	0.11	0.02	0.12	< BG	0.09	117	100	n.b.
C1	8-20	8.7	7.6	0.29	< BG	95	18	< BG	0.07	0.01	0.13	< BG	0.05	113	100	n.b.
C2	20-40	8.9	7.7	0.14	< BG	80	13	< BG	0.05	0.02	0.11	< BG	0.07	93	100	n.b.
C3	40-60	9.1	7.9	0.21	< BG	92	8	< BG	0.03	0.02	0.12	< BG	< BG	101	100	n.b.
C4	60-95	9.1	7.9	0.22	< BG	98	7	< BG	0.03	0.02	0.13	< BG	< BG	105	100	n.b.
CS	95-120	8.8	7.8	< BG	< BG	103	11	< BG	0.02	0.02	0.14	< BG	< BG	114	100	n.b.
Bestimmungsgrenze				0.11	0.41	0.06	0.01	-	0.01	0.01	0.04	0.19	0.05	-	-	-

Tab. 8: C- und N-Gehalte sowie unterschiedliche P-Fractionen im Bodenprofil Nationalpark (n.b. nicht bestimmt; < BG kleiner Bestimmungsgrenze)

Horizont	Tiefe [cm]		C- und N-Gehalte [g/kg]				P-Fractionen [mg/kg]				Verhältnisse	
			N_tot	C_tot	C_anorg	C_org	P_tot	P_anorg	P_org	P_verf	C_org / N_tot	C_org / P_org
F1	4	- 1.5	10.3	325.0	n.b.	325.0	448	n.b.	448	n.b.	31	726
F2	1.5	- 0	9.6	375.3	n.b.	375.3	399	94	305	n.b.	39	1232
Ah	0	- 2	2.8	132.8	71.9	60.9	315	177	137	n.b.	22	444
AC	2	- 8	0.7	111.2	85.5	25.7	217	143	74	n.b.	35	347
C1	8	- 20	0.4	109.2	96.6	12.6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	31	n.b.
C2	20	- 40	< BG	115.5	107.9	7.5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
C3	40	- 60	< BG	112.9	107.8	5.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
C4	60	- 95	< BG	111.1	105.7	5.4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
CS	95	- 120	< BG	107.8	98.9	< BG	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Bestimmungsgrenze			0.3	2.0	0.3	1.7	15	15	-	-	-	-

Tab. 9: Vorräte an austauschbaren Nährstoffkationen, organisch gebundenem C und totalem N und P im Bodenprofil Nationalpark (n.b. nicht bestimmt)

Horizont	Tiefe [cm]		Vorräte					
			[kg/ha]			[t/ha]		
			K	Ca	Mg	C_org	N_tot	P_tot
F1	4	- 1.5	22	337	124	16.2	0.52	0.02
F2	1.5	- 0	18	219	83	11.3	0.29	0.01
Ah	0	- 2	21	564	154	10.4	0.48	0.05
AC	2	- 8	22	1434	271	20.9	0.59	0.18
C1	8	- 20	0	3057	350	20.3	0.64	n.b.
C2	20	- 40	0	1613	155	7.6	0.00	n.b.
C3	40	- 60	0	1892	101	5.3	0.00	n.b.
C4	60	- 95	0	3341	143	9.3	0.00	n.b.
CS	95	- 120	0	8174	543	0	0.00	n.b.

## Langfristige Waldökosystemforschung

Um den Zustand des Waldes laufend zu erfassen und um genau zu verstehen, was mit dem Wald passiert, wenn sich die Umwelt verändert, brauchen wir verlässliche Informationen. Eine wichtige Datenquelle hierfür ist das Programm Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF. Es besteht aus 19 Dauerbeobachtungsflächen, auf denen wir seit 1994 regelmässig zahlreiche Messungen durchführen. Zudem erfassen wir seit 1985 den Gesundheitszustand der Bäume auf Probeflächen der Sanasilva-Inventur, die Teil des LWF-Programms ist (siehe Flächen).

Die erhobenen Daten und ihre wissenschaftliche Interpretation liefern wir an nationale und internationale Entscheidungsträger. Mit den gesetzlich verankerten Aufgaben des LWF-Programms beteiligt sich die Schweiz an internationalen Forschungsprogrammen wie dem „Internationalen Kooperationsprogramm zur Beurteilung und Untersuchung der Auswirkungen der Luftbelastung auf die Wälder“ ICP-Forests oder dem LTER-Europe Netzwerk (Long-Term Ecosystem Research in Europe).

Das Programm Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF wird von der WSL durchgeführt und finanziert.

## Programmziele

- Früherkennung und repräsentative Erfassung von Veränderungen des Waldzustandes
- Erfassen von externen Einflüssen anthropogenen und natürlichen Ursprungs und ihrer Auswirkung auf das Ökosystem Wald (Stoffeinträge, Klima)
- Erfassen von Veränderungen wichtiger Komponenten des Ökosystems Wald
- Entwicklung von Indikatoren zum Waldzustand
- Ganzheitliche Risikoanalyse bei unterschiedlichen Belastungsszenarien
- Forschungsplattform für programminterne und -externe Forschungsprojekte

Beispielhaft seien hier die Ergebnisse der Stickstoffdeposition und der Stickstoff-Nadelspiegelwerte der LWF-Fläche Nationalpark vorgestellt (Waldner et al. 2014, Johnson et al. 2017, Thimonier et al. 2005).

In Abb. 13 wird die Stickstoffdeposition in Freifläche und Bestand von 14 LWF-Flächen der Schweiz für das Jahr 2016 verglichen.

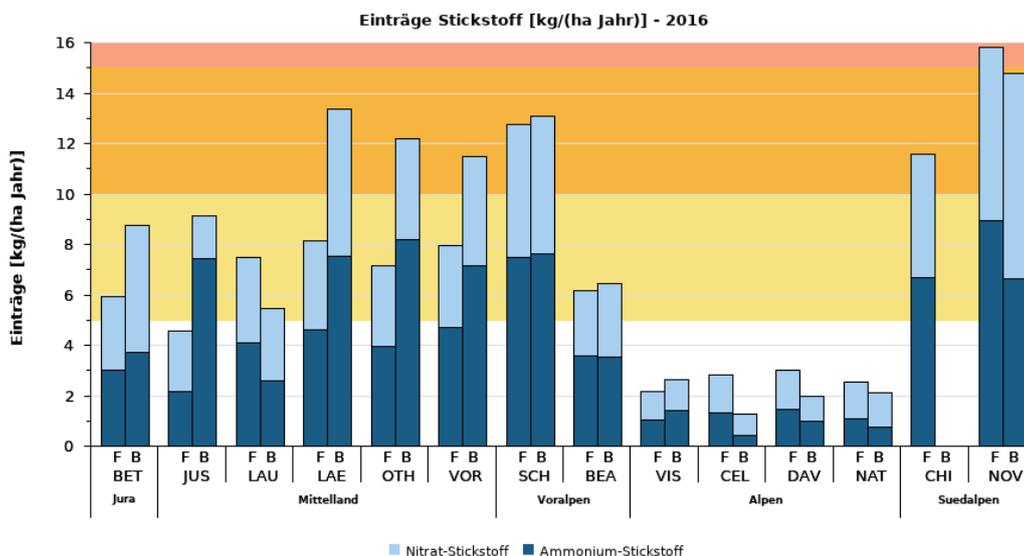


Abb. 13: Stickstoffdeposition in den LWF-Flächen im Jahr 2016 (Quelle: <https://www.wsl.ch/de/wald/waldentwicklung-und-monitoring/langfristige-waldoekosystemforschung-lwf/daten.html#tabellement1-tab5>) Legende: F Freiland, B Bestand, BET Bettlachstock, JUS Jussy LAU Lausanne, LAE Lägern, OTH Othmarsingen, VOR Vordemwald, SCH Schänis, BEA Beatenberg, VIS Visp, CEL Celerina, DAV Davos, NAT Nationalpark CHI Chironico NOV Novaggio; gelber Bereich: critical loads Nadelwald (5-15 kg/(ha Jahr)), roter Bereich: critical loads Laubwald (10-20 kg/(ha Jahr)), oranger Bereich: Überschneidungsbereich

Der Nationalpark gehört diesbezüglich zu den «Reinluftgebieten» der Schweiz. Die Deposition beträgt ca. 2 kg N pro ha und Jahr. Das ist verglichen mit der Fläche in Novaggio (Südtessin, beeinflusst durch Südstaulagen und Luftbelastung aus dem stark industrialisierten Raum Mailand) eine um den Faktor sieben geringere Deposition, obwohl die Fläche Nationalpark an der stark befahrenen Ofenpassstrasse liegt.

Die zeitliche Entwicklung der Deposition von anorganischem Stickstoff ist aus Abb. 14 ersichtlich. Die Luftreinhaltemassnahmen, welche im Lauf der letzten Jahrzehnte umgesetzt wurden, haben ihre Wirkung entfaltet. Die Bestandesdeposition von Stickstoff ist im Nationalpark von 5 kg/ha\*Jahr im Jahr 1999 auf 2 kg/ha\*Jahr im Jahr 2016 zurückgegangen.

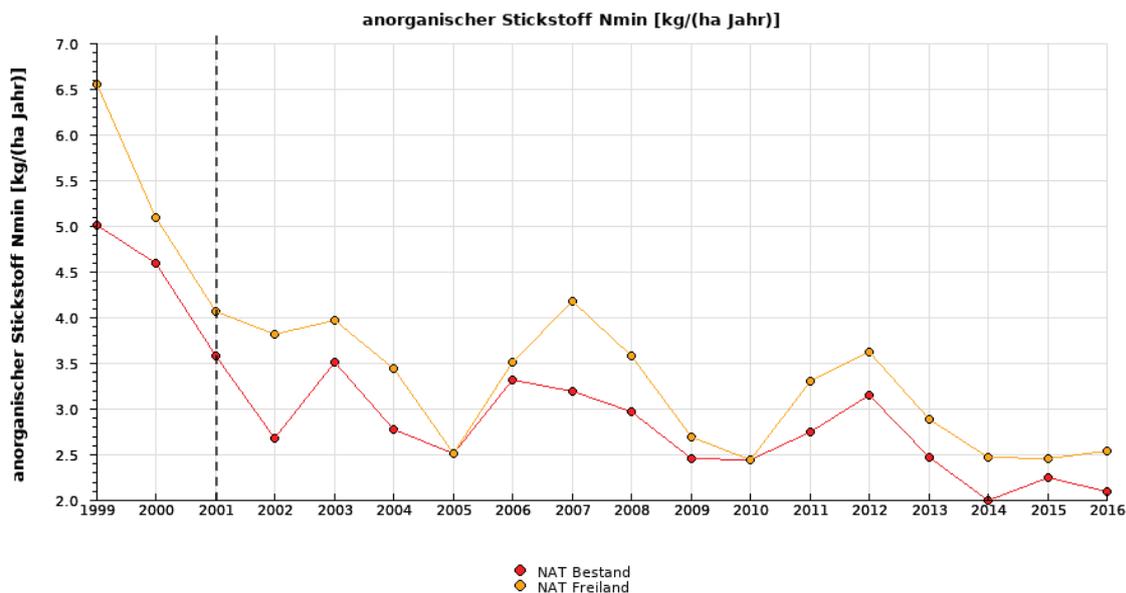


Abb. 14: Deposition von anorganischem Stickstoff im Nationalpark von 1999 bis 2016 in Bestand und Freiland (Quelle: <https://www.wsl.ch/de/wald/waldentwicklung-und-monitoring/langfristige-waldoekosystemforschung-lwf/daten.html#tabellement1-tab5>)

Der Nadelspiegelwert der Bergföhren-Nadeln bewegt sich im Nationalpark um den Wert 10 mg

N/g Trockensubstanz (Abb. 15). Er liegt damit im Mangelbereich.

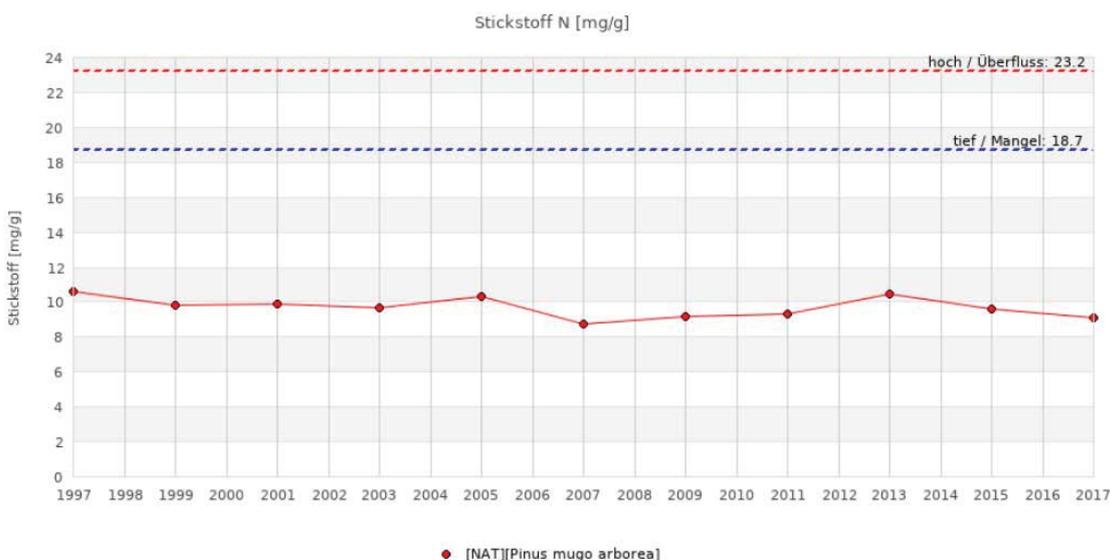


Abb. 15: Nadelspiegelwerte von Stickstoff in Bergföhre im Nationalpark von 1997 bis 2017 (Quelle: <https://www.wsl.ch/de/wald/waldentwicklung-und-monitoring/langfristige-waldoekosystemforschung-lwf/daten.html#tabellement1-tab4>)

## Methoden

Sowohl morphologische Aufnahme und Beprobung des Bodenprofils, wie auch die chemischen und physikalischen Labormethoden sind in Walthert et al. (2004) beschrieben.

## Literatur

- Bach R et al. (1976): Durch den Schweizerischen Nationalpark. Ein wissenschaftlicher Führer. Kommission für die wissenschaftliche Erforschung des Nationalparks (Hrsg.) unter Mitwirkung zahlreicher Autoren. Verlag Schweiz. Bund für Naturschutz, Basel.
- Bader S, Begert M, Defila C, Konzelmann T, Marty C, Scherrer S, Schlegel T. (2014): Klimaentwicklung. In: Baur B, Scheurer T (Eds.): Wissen schaffen. 100 Jahre Forschung im Schweizerischen Nationalpark. Nationalpark-Forschung in der Schweiz Band 100/I: 83-114. Haupt Verlag Bern.
- Baur B, Rohner J, Scheurer T. (Red.) (2017): Erinnerungen an Pioniere des Schweizerischen Nationalparks. Nationalpark-Forschung in der Schweiz 107.
- Blaser P, Zimmermann S, Luster J, Walthert L, Lüscher P. (2005): Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseite. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 920 S.
- Gamper M. (1981): Heutige Solifluktionsträger von Erdströmen und klimamorphologische Interpretation fossiler Böden. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark 79.
- Graf K. (1991): Ökologische Studien auf alpinen Matten in der weiteren Umgebung des Schweizerischen Nationalparks. In: Beiträge zur Geographie Graubündens (Hrsg. H. Elsasser & M. Boesch). Zürich, Geographisches Institut der Universität Zürich, pp. 50-58.
- Johnson J, Graf Pannatier E, Carnecelli S, Cecchini G, Clarke N, Cools N, Hansen K, Meesenburg H, Nieminen TM, Pihl-Karlsson G, Titeux H, Vanguelova E, Verstraeten A, Vesterdal L, Waldner P, Jonard M. (2017): The response of soil solution chemistry in European forests to decreasing acid deposition. *Global Change Biology* 24: 3603-3619.
- Scheurer T, Jenny H, Kupper P, Parolini JD, Schläpfer D. (2014): Die Landschaft und ihre Nutzung von der letzten Eiszeit bis zur Parkgründung. In: Baur B, Scheurer T (Eds.): Wissen schaffen. 100 Jahre Forschung im Schweizerischen Nationalpark. Nationalpark-Forschung in der Schweiz 100/I: 61-81. Haupt Verlag Bern.
- Schläpfer D. (1960): Der Bergbau am Ofenpass. Eine wirtschaftsgeographische Untersuchung im Unterengadin und seinen Nachbartälern. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark 43.
- Staub R. (1934): Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 69, Abhandlung 1. Zürich, Fretz, 183 S.
- Thimonier A, Schmitt M, Waldner P, Rihm B. (2005): Atmospheric Deposition on Swiss Long-Term Forest Ecosystem Research (LWF) Plots. *Env. Monit. Ass.* 104: 81-118.
- Trümpy R, Schmid SM, Conti P, Froitzheim N. (1997): Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50'000 des Schweizerischen Nationalparks (Geologische Spezialkarte Nr. 122). Nationalpark-Forschung in der Schweiz 87
- Waldner P, Marchetto A, Thimonier A, Schmitt M, Rogora M, Granke O, Mues V, Hansen K, Pihl Karlsson P, Zindra D, Clarke N, Verstraeten A, Lazdins A, Schimming C, Iacoban C, Lindroos A-J, Vanguelova E, Benham S, Meesenburg H, Nicolas M, Kowalska A, Apuhtin V, Napa U, Lachmanova Z, Kristoefel F, Bleeker A, Ingerslev M, Vesterdal L, Molina J, Fischer U, Seidling W, Jonard M, O'Dea P, Johnson J, Fischer R, Lorenz M. (2014): Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Atmospheric Environment* 95: 363-374.
- Walthert L, Zimmermann S, Blaser P, Luster J, Lüscher P. (2004): Waldböden der Schweiz. Band 1. Grundlagen und Region Jura. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 768 S.
- Zimmermann S, Furrer H, Stoffel M, Schlüchter C. (2014): Das Gesicht der Erde. In: Baur B, Scheurer T (Eds.): Wissen schaffen. 100 Jahre Forschung im Schweizerischen Nationalpark. Nationalpark-Forschung in der Schweiz 100/I: 115-148. Haupt Verlag Bern.
- Zuber E. (1968): Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen an Strukturrasen (bes. Girlandenrasen) im Schweizerischen Nationalpark. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im schweizerischen Nationalpark 60.

## Z-02: Gebirgsböden im Wandel der Zeit

Stéphane Burgos<sup>1</sup>, Stefan Julen<sup>2</sup>, Matias Laustela<sup>3</sup>, Simon Amrein<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Professur für Bodenkunde, Abteilung Agronomie, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Bern

<sup>2</sup>Bodenkundlicher Baubegleiter BGS, Aufdereggen, Julen + Zenzünen AG, Brig

<sup>3</sup>Bodenkundlicher Baubegleiter BGS, Basler & Hofmann AG

<sup>4</sup>Geschäftsstelle der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz BGS

### Allgemeine Informationen

Die Exkursion Z-02 führt ins Wallis, einem inneralpinen Trockental. Der erste Exkursionstag im Val d'Hérens ist dem Thema Bodenentwicklung gewidmet. Der Tag beginnt in Sion mit einer Einführung in die Geologie und Geschichte des Tals. Bei der anschliessenden Begehung der ausgewählten Standorte und mit Hilfe der Bodenprofile, erhalten Sie einen Einblick in die Entwicklung des Bodens von seiner jungen, kargen, ursprünglichen Form bis hin zum gut entwickelten, mit Vegetation bewachsenen Boden. Der Fokus des zweiten Exkursionstages wird uns wieder in den Talgrund und zu den dortigen

Böden führen. In der Region Gäu-Olten wird Grundwasser zur Trinkwassergewinnung genutzt.

### Geologie des Val d'Hérens (Stéphane Burgos)

Das Val d'Hérens liegt im Herzen der Alpen im Kanton Wallis. Südlich der Rhone, in der Nähe von Sitten, erstreckt sich das Tal seitlich bis zum Fusse des spektakulären Dent-Blanche (4'357 m. ü. M.) an der schweizerischen-italienischen Grenze. Die Region ist reich an geologischer Vielfalt und lädt zum Entdecken ein (vgl. Abb. 1).

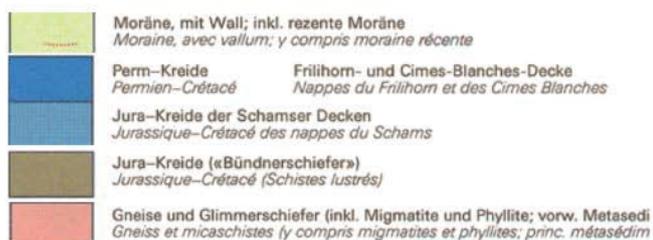
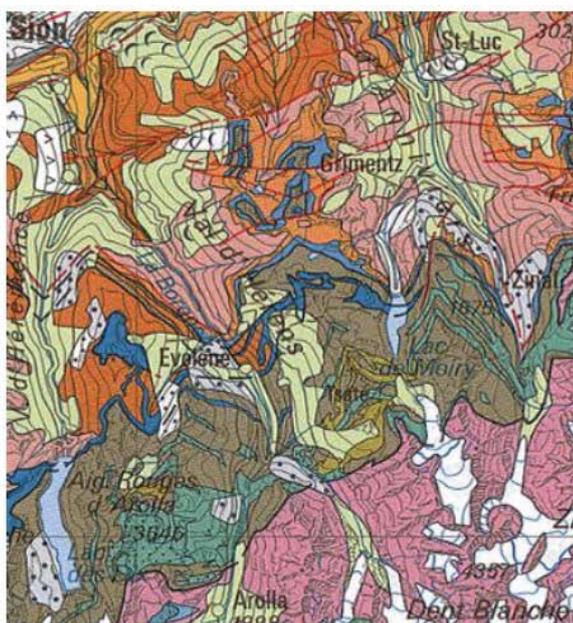
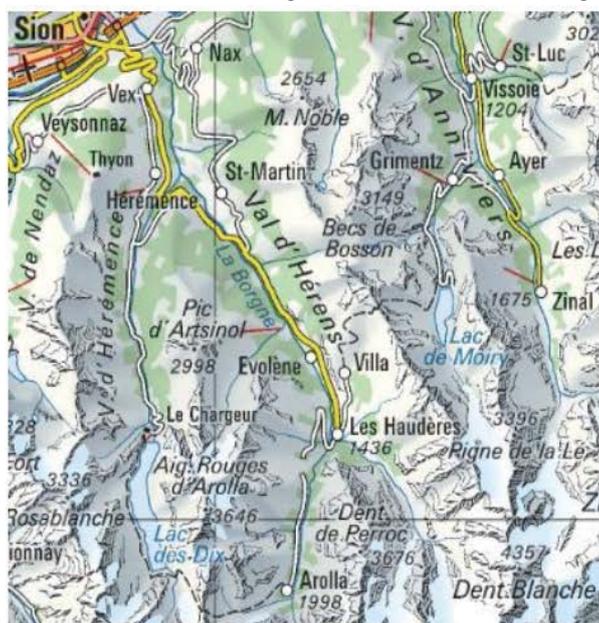


Abb. 1: Topographische - (1:50'000) und geologische (1:500'000) Karte

Im geologischen Querschnitt in Abb. 2 ist die orographisch rechte Flanke des Val d'Hérens. Tektonisch kann das Val d'Hérens vereinfacht wie folgt eingeteilt werden. Im Süden des Tales repräsentiert das Dent-Blanche-Massiv die afrikanische Kontinentalplatte. Zwischen Ferpècle und La Forclaz befinden sich bis heute Überreste des alpinen Ozeans in Form von Serpentiniten und basaltischer Lava. Zwischen La

Sage und Evolène indizieren gekippte Blöcke den europäischen Kontinentalrand. Im Bereich zwischen Lana bis Sion zeugen dolomitische Felsen vom ehemaligen voralpinen Becken. Gut erkennbar sind die sehr alten Gesteine (Präkambrian > 540 Mal bis Kreide und Eocène etwa 60 Mal).

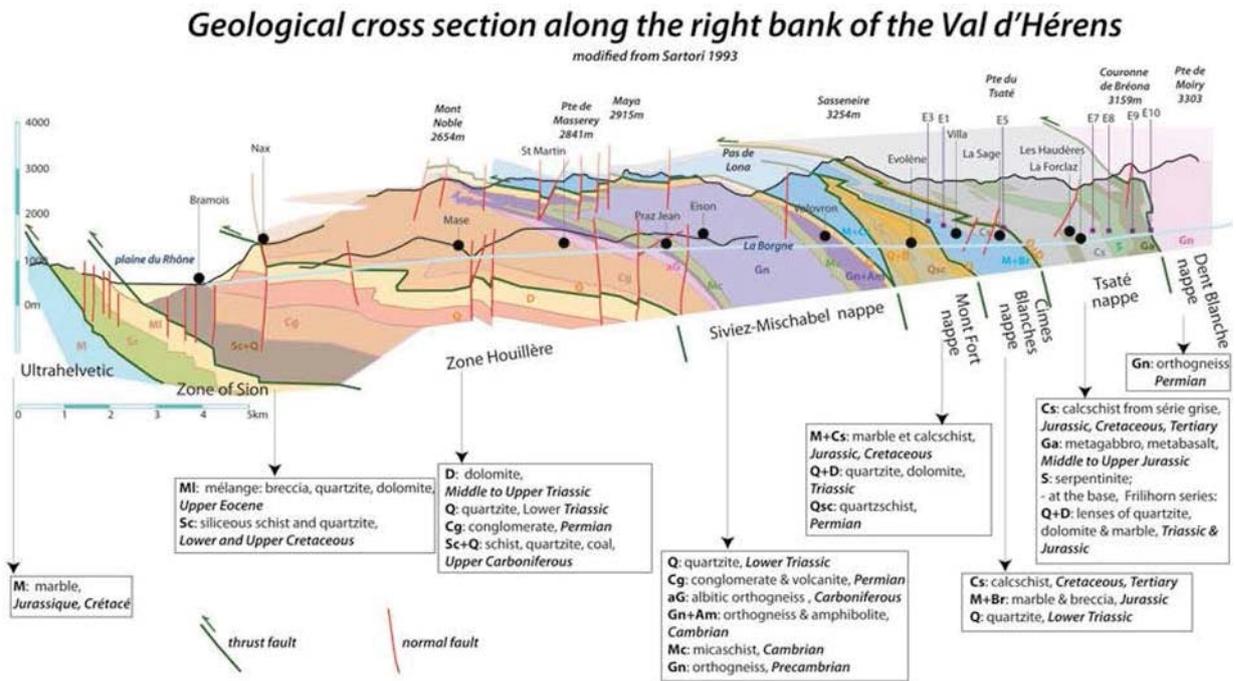


Abb. 2: Geologischer Querschnitt entlang der rechten Talseite des Val d'Hérens

### Glazialsystem der Gletscher von Mont Miné und Ferpècle

In Abb. 3 ist der dramatische Rückgang der Gletscherstände des Mont Miné sowie des Ferpècle-Gletschers seit ihrem letzten Maximum am Ende der kleinen Eiszeit um 1850 deutlich erkennbar. Abb. 4 zeigt eine Luftaufnahme der Glazialsysteme des Mont Miné (links), sowie des Ferpècle-Gletschers (rechts), welche grossen Einfluss auf die heutige Landschaftsform nahmen. Der Punkt A9 in Abb. 3 zeigt in etwa den Standort 1 der Exkursion. Die Abb. 4 zeigt die verschiedenen Teile der Ferpècle- und Mont Mine-Gletscher. Die Veränderung der Gletscherlandschaft während der letzten 120 Jahre wird in den untenstehenden vier Kartenausschnitten verdeutlicht (vgl.

Abb. 5). Der erste Ausschnitt oben links ist von 1899, der zweite oben rechts von 1940, der dritte unten links von 1984 und derjenige unten rechts von 2018.

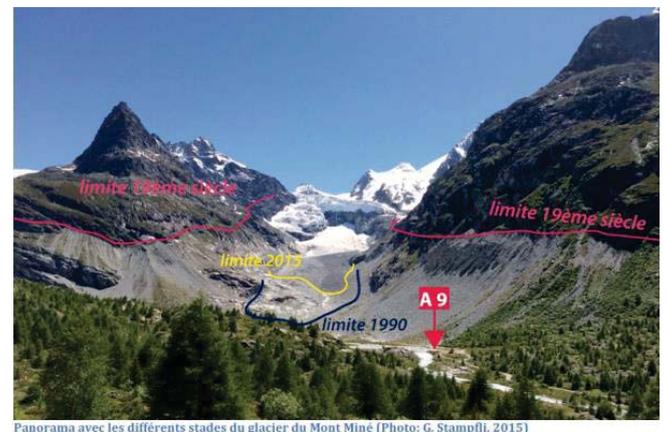


Abb. 3: Bild der Gletscher im Jahr 2015



## Geologische Besonderheiten entlang des Weges der Exkursionsstandorte

In der Region des ersten Profilstandortes befindet man sich zwischen der Frontal- und der Lateralmoräne des Mont Miné-Gletschers (Abb. 6). Die Frontalmoräne bildet die Grenze des letzten Gletschervorstosses im Zeitraum zwischen 1980 - 1990. Seit damals hat sich der Gletscher um mehr als 800 m weit zurückgezogen. Mittlerweile hat sich der Gletscher zu einem "sterbenden Gletscher" entwickelt, da das Nähr- vom Zehrgebiet getrennt ist. Vor der Moräne hat sich mit Material, welches mit dem Schmelzwasser transportiert und abgelagert

wurde, eine fluvio-glaziale Ablagerungsfläche gebildet. Bei dem Material handelt es sich vorwiegend um glaziale Tonmineralien und Moränenmaterial wie Sand, Schotter und Blöcke, welches durch die Abreibung von Gestein durch die Massenbewegungen des Eises entstand. Da die Gletscherbäche eine Vielzahl von Fließwegen einschlagen, spricht man in diesem Fall von einem verflochtenen Flusssystem. Die im Bild dargestellte glaziale Ablagerungsfläche wird von Glaziologen als "Sandur" bezeichnet. Charakteristisch für solche Landschaften sind schöne, durch die Gletscherbewegungen abgerundete Steine mit horizontaler Streifenbildung.



Sandur devant la moraine frontale de 1990 (Photo: S. Ruttimann, 2014)



Abb. 6: Darstellung der Sandur von der Frontmoräne (links) und Bild der aktuellen Sicht (rechts)

In der Nähe des zweiten Standortes konnte man zu einem früheren Zeitpunkt noch die Gletscherzunge des Ferpècle-Gletschers erkennen. Die geologischen Eigenschaften des Ferpècle-Gletschers sind in Abb. 9 dargestellt. Am Fusse des Gletschers ist eine Vielzahl von hellen Granitsteinen sichtbar, welche auch als Rundhöcker bezeichnet werden. Ihre abgerundeten Formen sind auf die Gletscherbewegungen zurückzuführen (Abb. 7). Auf der linken Talseite befindet sich der steinige Fuss des Veisivi Massivs. Dieser wird von einer hohen lateralen Moräne bedeckt, welche während der kleinen Eiszeit (Anfang 16. Jahrhundert bis 1850) abgelagert wurde. Die Moräne wurde durch andauernde Erosion stark zerfurcht und ist mittlerweile teils mit Vegetation bedeckt.



Abb. 7: Abgerundete Felsen und Riffelungen

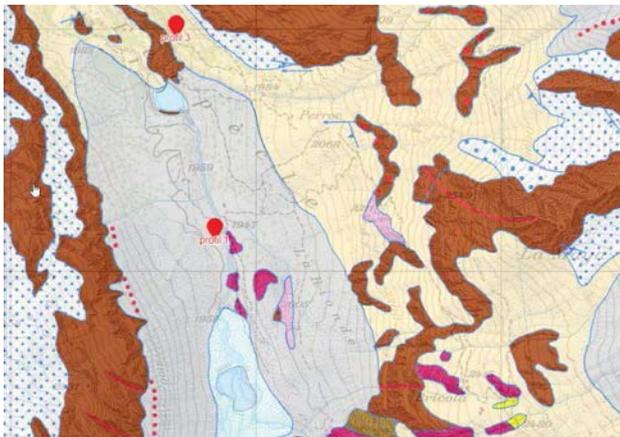
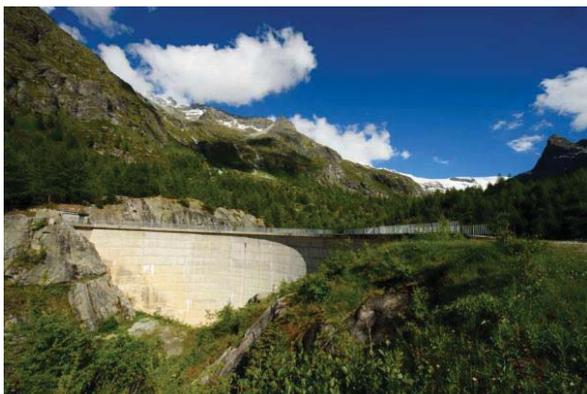


Abb. 8: Geologische Karte des Ferpècle- Gletschers (Geocover 2017)

Der Weg zum dritten Standort führt am Ferpècle - Damm (Abb. 9) vorbei. Der Damm ist gegen ein steiniges massiv aus grünlichem Patinagneis gebaut, welcher zu einem früheren Zeitpunkt durch die Gletscher abgelagert wurde. Die massiven Steine erstrecken sich entlang beider Seiten der kleinen Schlucht, welche unterhalb des Damms beginnt. Die langen schwarzen Streifen auf den Gesteinsoberflächen können als Anzeichen für die Wasserversickerung gedeutet werden. Während des Sommers füllt sich der Damm langsam mit Wasser und erreicht seinen Wasserhöchststand Ende September. Das glaziale Schmelzwasser wird anschliessend mittels Druckleitung zur Station in Arolla gepumpt, wo es unter Druck zum Lac de Dix weitergeleitet wird.



The Ferpècle dam (Photo: S. Ruttimann)

Abb. 9: Der Ferpècle - Damm

## Val d'Hérens - Frühere und heutige Bewirtschaftung (Stefan Julen)

### Ausgangslage

Neben anderen Standortfaktoren wie Geologie, Klima, Exposition, Höhenlage haben auch die frühere und aktuelle Bewirtschaftung und damit

die menschliche Nutzung einen entscheidenden Einfluss auf die Bodenentwicklung. Umgekehrt ist der Boden auch ein Speicher früherer Bewirtschaftungsformen, da die Bodenentwicklung gerade im alpinen Raum mehrere Tausend Jahre dauert und durch Nutzungsänderungen nicht sofort ausgelöscht wird. Dies haben zum Beispiel die Vorkommen von Podsol-Waldböden weit oberhalb der aktuellen Waldgrenze anlässlich der BGS-Exkursion 2011 im Val d'Anniviers gezeigt. Die anstehenden Felsen sind im Val d'Herens vielfach durch Moränenablagerungen überdeckt. Diese kalkhaltigen, kiesig bis tonigen Ablagerungen bilden die Ausgangsmaterialien der Böden auf den Hangterrassen, welche die Vorranggebiete der landwirtschaftlichen Nutzung bilden. In den Talböden und an den Seitenhängen werden die Moränen durch Flusssedimente und Hangschutt abgelöst.

### Klima

Die Jahresniederschläge steigen von 500 mm im Rhonetal bis auf über 2'000 mm in den Gebirgsregionen an. Längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr wie 2018, und fehlende Wärme im Winter hemmen speziell den Abbau der organischen Substanz (Humifizierung). Um das Niederschlagsdefizit auszugleichen, ist bei den Mähwiesen die Bewässerung notwendig.

### Geschichte

Die Besiedlung und damit anthropogene Nutzung des Val d'Herens reicht mehrere Tausende Jahre zurück, wie Funde aus der Bronze- und Steinzeit belegen. Die Romanisierung hat sich in zahlreichen Flurnamen und sprachlich im „Patois“ franko-provenzalischer Prägung erhalten. Im Mittelalter gehörte das Tal teils zu Savoyen, teils war es auch Hoheitsgebiet des Bischofes von Sitten. Wie Familiennamen bezeugen, bestanden auch Beziehungen ins Mattertal über die damals weniger stark als heute vergletscherten Hochalpenpässe.

### Bewirtschaftung früher und heute

Die frühere Bewirtschaftung war mangels Transportmittel und anderer Erwerbsmöglichkeiten auf eine möglichst weitgehende Selbstversorgung der einheimischen Bevölkerung ausgerichtet. Die Produktion diente primär dem

Überleben der einheimischen Bevölkerung und umfasste Produktionszweige wie den Ackerbau, die inzwischen weitgehend aufgegeben worden sind. Jede Familie besass einen eigenen kleinen Landwirtschaftsbetrieb mit bis zu 100 Parzellen, die alle Anbausektoren und Bodenqualitäten abdeckten. Der Wirtschaftsraum erstreckte sich über mehrere Höhenstufen von den Reben bis zu den Alpen, was saisonale Wanderungen einzelner Familienmitglieder und des Viehs bedingte. Dementsprechend war diese nomadisierende Landwirtschaft äusserst zeit- und arbeitsintensiv.

Nach dem 2. Weltkrieg entstanden mit dem Kraftwerkbau und dem Tourismus neue Erwerbsmöglichkeiten im Tal. Dadurch kam es in einer Übergangsphase zu eigentlichen Auflösungsprozessen der traditionellen Landwirtschaft. In den 60er- und 70er-Jahren wurde die Bewirtschaftung grosser Flächen, insbesondere der Ackerterrassen und von nicht erschlossenen Mähwiesen (Grenzertragsflächen), ganz oder teilweise aufgegeben. Es entstand Brachland, das je nach Ausgangsvegetation rasch verbuschte oder sich erneut bewaldete. Die Betriebszahl nahm rasch ab, die zahlreichen Kleinbetriebe wurden durch wenige hauptberuflich

geführte und mechanisierte Landwirtschaftsbetriebe abgelöst. In Mase z. B. sank die Betriebszahl in den letzten 50 Jahren von 64 auf 2 bei praktisch gleichbleibendem Viehbestand.

Durch Projekte zur regionalen Entwicklung wurde im Val d'Hérens die Berglandwirtschaft und Formen des sanften Tourismus gefördert. Dazu gehören:

- Wiederbelebung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Ossona)
- Verbesserung der landwirtschaftlichen Infrastrukturen (Wege, Bewässerung, Infrastruktur)
- Agrotourismus
- Vernetzung agrotouristisches Angebot, Vermarktungsstrukturen, Themenwege

Ein Projekt für einen regionalen Naturpark scheiterte am Widerstand der Bevölkerung.

Dadurch wird heute wieder eine weitgehend flächendeckende Bewirtschaftung erreicht. In einzelnen Sektoren ist eine markante Waldflächenzunahme zu beobachten, wie das nachstehende Beispiel südwestlich der Pyramiden von Euseigne zeigt.

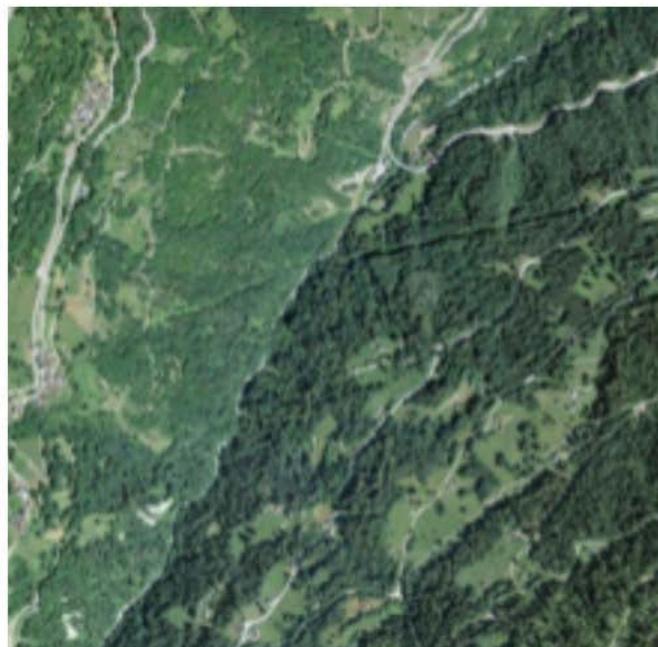


Abb. 10: Links Luftbild 1945; rechts Orthophoto 2013 (swisstopo)

## Bewirtschaftungsformen

### Ackerbau

Die Ackerparzellen befinden sich auf eher südexponierten, meist flachgründigen Moränen und konnten nicht bewässert werden, weshalb die trockenheitsresistenten Sorten, wie Roggen oder Gerste, angebaut wurden. Das Getreide wurde in Stadeln gelagert. Die kleinparzellierten Äcker wurden früher jedes Jahr von Hand oder mit dem Pflug umgebrochen und mit Mist gedüngt. Die Bodenentwicklung wird durch Trockenheit und Umbruch verzögert. Die Äcker sind durch Hangterrassen und Trockensteinmauern gegliedert und stellen auch nach der Nutzungsaufgabe ein prägendes Landschaftselement dar. Je nach Standort sind die Äcker heute als Mähwiesen, Weiden genutzt oder wachsen mit wärmeliebenden Gebüsch ein.

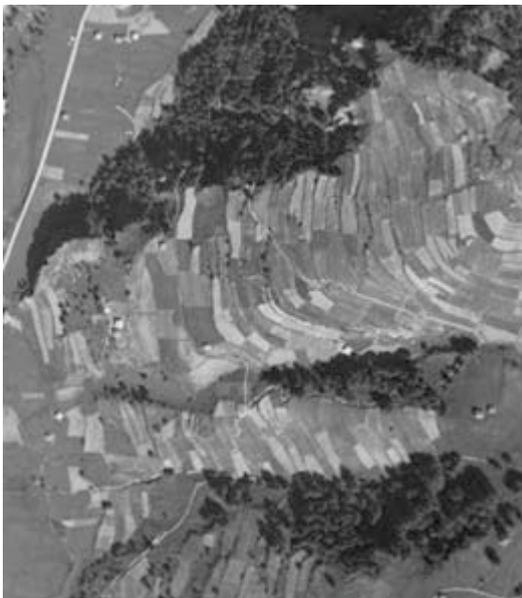


Abb. 11: Links Luftbild der landwirtschaftlich genutzten Flächen.

### Mähwiesen

Die Mähwiesen befinden sich hauptsächlich in Dorfnähe und werden regelmässig gedüngt und über ein fein-verzweigtes Netz von Wasserleitungen bewässert, um zwei Schnitte zu ermöglichen. Die Wasser werden im Gletschervorfeld oder an Seitenbächen gefasst. Die Wasserrechte sind genau geregelt, innerhalb eines Kehrs von normalerweise drei Wochen hat jede Parzelle Anrecht auf stundenweise Wasser. Typisch für die Dorfzone sind auch die mehrgeschossigen Wohnhäuser. Die Böden der Mähwiesen sind normalerweise tiefgründiger

und weiterentwickelt. Bei schwacher Wasserspeicherkapazität oder fehlender Bewässerung entstehen Trockenwiesen oder Trockenweiden. Das Val d'Herens weist mehrere Hundert Hektaren solcher TWW-Objekte nationaler Bedeutung auf.

### Maiensässe / Mayens

Der Gürtel zwischen den Dörfern und den Alpen gehört zur Zone der Mayens und umfasst Wiesen- und Weideflächen mit den dazugehörigen Ökonomiegebäuden (Stallscheunen). Das Vieh nutzte diese Flächen im Mai und Juni vor der Alpung. Im Herbst wurde das an Ort und Stelle eingelagerte Heu verfüttert. Aufgrund der Zentralisierung der Landwirtschaftsbetriebe haben die Stallscheunen ihre ursprüngliche Funktion verloren und werden als Ferienhäuser umgenutzt oder zerfallen.



Abb. 12: Oben Maiensäss / unten Waldweide

### Alpen

Die Weideflächen oberhalb der Waldgrenze werden als Alpen bezeichnet, wobei hier auch Alpmatten (Mähwiesen) dazugehören. Die Weideflächen für das Grossvieh erstrecken sich bis

auf 2'700 m. ü. M. Die früher verbreitete Einzelalpung wurde durch gemeinschaftlich organisierte Alpbetriebe abgelöst. Typisch für das Val d'Herens ist auch die lokale Viehrasse, die sich durch ihre Kampfeigenschaften auszeichnet.



Abb. 13: Alpsiedlung

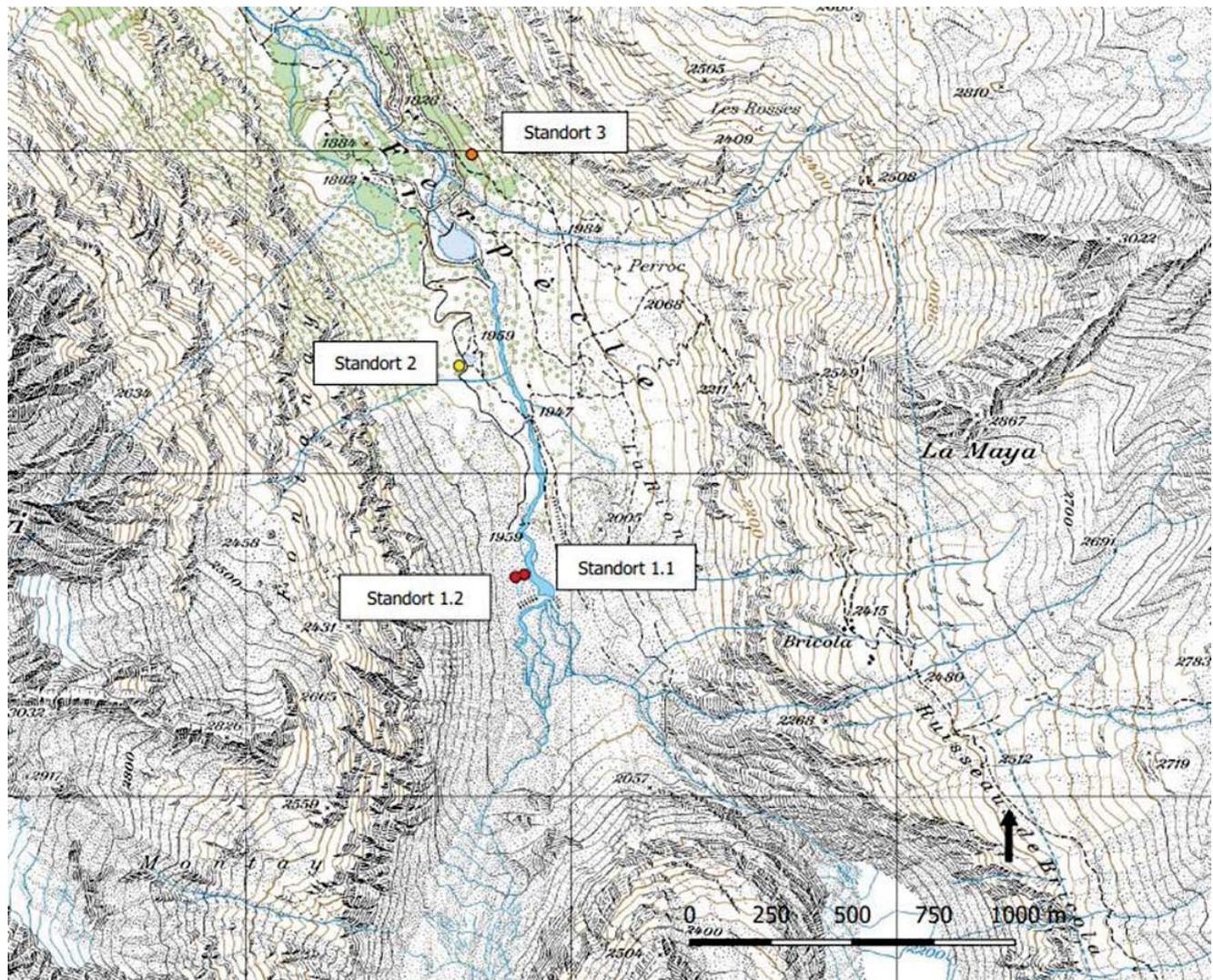
### **Wälder und Allmenden**

Die Wälder und weitere schlecht geeignete Landwirtschaftsflächen sind Eigentum der Bürger und damit der Allgemeinheit. Im Arven-Lärchen-Nadelwald besteht eine Tendenz zur Podsolisierung. Im jungen Pionierwald hat die Bodenentwicklung erst eingesetzt.

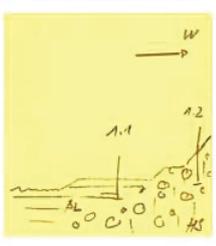
Der Wald diente nicht nur der Holzversorgung, sondern auch als Weide, zur Streugewinnung usw. Dadurch wurde der Wald tendenziell übernutzt. Heute wird der Wald eher unternutzt und die Waldfläche hat zugenommen. Aufgrund der Schätzungen des Raumentwicklungskonzeptes des Kantons Wallis wird die Waldfläche bis 2020 um 2'000 ha zunehmen, primär zu Lasten der Alpflächen und der extensiven Landwirtschaft.

# Bodenprofile

## Übersicht der Standorte



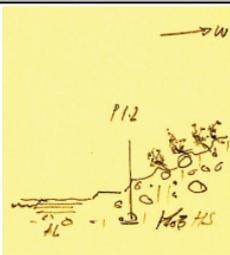
**Profilblatt Standort 1.1**

Situation		Topographie / Geologie		Titeldaten												
		Daten-schlüssel	Projekt-Nr.	Profilart	Pedologe	Datum			Profil-bezeichnung							
		1	2	3	4	5			6	7						
		6.2		B	Zü	12	06	2018	1.1							
		8 Polit. Gem. Evolène Valais				Gem. Nr.		10								
		9 Kanton				Ort Flurname La Rionde						11				
12 Blatt-Nr. 1:25'000		Koordinaten		13	2608	832	1099	838		14						
		Kartierungscode										15				
Bemerkungen		Bodenbezeichnung														
		AUENBODEN					Bodentyp	16	A	8116		17				
		alluvial, stark durchlässiger Untergrund, sehr stark grundnass, extrem gleyig, labilaggregiert, verdichtet, blockig, schwach sauer					Untertyp	PA, PD, R4, G6, ZL, L2, VB, E2					18			
							Skelettgehalt	19	0	0		20				
							Feinerdekorung	21	10	10		22				
		3 + 2 + 1 = 6 cm					Wasserhaushaltsgruppe / Pflanzennutzbare Gründigkeit		cm	6	6		23			
							Neigung	25	0	%		Geländeform	a	26		
Profilskizze																
27	28	29/30		31/32		33/34	35/36	37/38	39/40	41	(43)	42	44/45	46/47	48 - 55	56
Horizont		Profilskizze		Gefüge	OS/Corg	Ton	Schluff	Sand	Kies (0.2-5) Vol. %	Steine (>5cm) Vol. %	Kalk CaCO <sub>3</sub> %	pH CaCl <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen		
Nr.	Tiefe	Bezeichnung			%	%	%	%	%	%	%					
	0	0														
1	11	Cg.x		P1, Ko	- / 0.2 [0.7]	4.0 [0.5]	64.2 [49]	31.5	0	0	0 [0]	6.0 / 6.1 [5.0]	7.5Y 6/2	25% wf4		
2	20	Cgg.x,r1		Ko, P1	- / 0.3 [0.3]	7.3 [0.5]	77.4 [45]	14.9	0	0	0 [0]	5.7 / 6.5	7.5GY 7/1 5YR 5/6	20% wf 1		
3	28	Cgg.x,r2		Ko, P1	- / 0.1 [0.3]	3.9 [0.5]	74.9 [49]	21.0	0	0	0 [0]	5.8 / 6.7	5Y 6/3 5YR 5/6	20% wf1		
4	42	Cr		Ek	- / 0.1 [0.03]	0.5 [0.1]	6.9 [1.0]	92.5	0	0	0 [0]	6.3 / 6.9	2.5GY 5/1	0% wf 0		
5	46	Cr.x		Ko, P2	- / 0.1 [0.1]	4.8 [0.3]	46.8 [1.1]	69.5 /	0	0	0 [1.1]	6.5 / 6.8	2.5GY 7/1	0% wf0		
	60															
	70															
	80															
	90															
	100															
	120															
	140															
	160															
	180															
Profiltiefe		57														
50 cm																
Standort							Bewertung / Eignung									
Höhe ü. M. m	Exposition	Klima-eignungszone		Vegetation aktuell	Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Nutzungsgebiet	Stufe	Boden-punktzahl	Eignung	Eignungs-klasse					
58	59	60		61	62/63	64	65	60 b	73	74	75	76				
1960	-	G		Ruderal	AL	TS	0									
Nutzungsbeschränkungen / Meliorationen																
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen festgestellte		empfohlene		Düngereinsatz fest flüssig					
66		67		68			69		70		71 72					
Wald																
Humus-form	Bestand	Baumhöhe, m gem. gesch.		Vorrat, m <sup>3</sup> /ha gem. gesch.		Alter (Jahre) gem. gesch.		Gesell-schaft	Geeignete Baumarten		Produktionsfähigkeit Stufe Punkte					
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109		110	111				
	a	b														

Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich, © 2005

# Profilblatt Standort 1.2

Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich, © 2005

Situation		Topographie / Geologie				Titeldaten									
						Daten-schlüssel	Projekt-Nr.	Profilart	Pedologe	Datum		Profil-bezeichnung			
						1	2	3	4	5		6		7	
						6.2		P	Zü	12	06	2018	1.2		
		8 Polit. Gem. Évölène Valais				9 Kanton Valais		Gem. Nr.		10					
		12 Blatt-Nr. 1:25'000				Koordinaten		13	2608	808	1099	832			
		Ort Flurname La Rionde				11									
		Kartierungscode				15									
Bodenbezeichnung															
Humus-silikatgesteinboden						Bodentyp	16	S	1211		17				
modrighumos, blockig, psephitisch (extr. kiesig), stark durchlässiger Untergrund, labilagregiert, schwach sauer						Untertyp	MF, VB, VK, PD, ZL, E2					18			
						Skelettgehalt	19		6	9		20			
						Feinerdekörnung	21		1		1		22		
						Wasserhaushaltsgruppe / Pflanzennutzbare Gründigkeit		cm		11		5	23		
3 + 1 + 1 + 3 + 2 + 1 = 11 cm						Neigung	25	60 %		Geländeform		x	26		
Profilskizze															
Horizont		Profilskizze		Gefüge	31/32	33/34	35/36	37/38	39/40	41 (43)	42	44/45	46/47	48 - 55	56
Nr.	Tiefe	Bezeichnung													
1	-4	Of		ofi	41.6 / 130							[0]	5.9 / 6.5	7.5YR 4/3	100% wf6
2	-1	Oh		ofi	13.6 / 13.1							[0]	5.9 / 6.8	7.5YR 2/2	100% wf6
3	2	AhC (AC)		Gr1	3.3 / 3.0	2.5	16.2	78.3	20	8	0	0	5.8 / 6.9	5Y 5/2	100% wf6
4	13			Ek, Gr	- / 0.4	1.0	7.2	91.4	35	18	0	0	7.0 / 7.8	10Y 6/2	50% wf5
5	40	C1		Ek	- / 0.3	0.0	5.4	94.3	35	18	0	0	6.7 / 6.8	10Y 5/2 6/2	10% wf4
6	60	C2		Ek	- / 0.1	0.8	5.8	93.3	35	18	0	0	7.1 / 7.1	10Y 5/2	10% wf2
Profiltiefe															
57															
70 cm															
Standort						Bewertung / Eignung									
Höhe ü. M.	Exposition	Klima-eignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Nutzungsgebiet		Stufe	Boden-punktzahl	Eignung	Eignungs-klasse				
58	59	60	61	62/63	64	65	60 b	73	74	75	76				
1960	SE	E	BK	HS, GR	SF	0									
Nutzungsbeschränkungen / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung		Meliorationen festgestellte		empfohlene		Düngereinsatz fest		flüssig			
66		67		68		69		70		71		72			
Wald															
Humus-form	Bestand	Baumhöhe, m gem. gesch.		Vorrat, m³/ha gem. gesch.		Alter (Jahre) gem. gesch.		Gesell-schaft	Geeignete Baumarten			Produktionsfähigkeit Stufe Punkte			
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109			110 111			
	a	b													

Profilblatt Standort 3

Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich, © 2005

Situation		Topographie / Geologie				Titeldaten									
						Daten-schlüssel	Projekt-Nr.	Profilart	Pedologe	Datum		Profil-bezeichnung			
						1	2	3	4	5		6	7		
						6.2		P	Zü	12	06	2018	3		
8	Polit. Gem.				Évolène Valais				Gem. Nr.		10				
9	Kanton				Valais										
		Ort				Flurname				Ferpècle		11			
12	Blatt-Nr. 1:25'000		Koordinaten		13	2608	663	1100	980	14					
		Kartierungscode										15			
Bemerkungen		Bodenbezeichnung													
		RANKER						Bodentyp	16	1311		17			
		blockig, stark durchlässiger Untergrund, modrighumos, psephitisch (extr. kiesig), schwach sauer, schwach ausgeprägt						Untertyp	VB, PD, MF, VK, E2, T1				18		
								Skelettgehalt	19	7	9	20			
								Feinerdekörnung	21	1 (3)		1	22		
								Wasserhaushaltsgruppe / Pflanzennutzbare Gründigkeit		cm		17	5	23	
		1 + 2 + 2 + 2 + 5 + 5 = 17 cm						Neigung	25	26 %		Geländeform	r	26	
Profilskizze															
Horizont		Profilskizze		Gefüge	31/32	33/34	35/36	37/38	39/40	41 (43)	42	44/45	46/47	48 - 55	56
Nr.	Tiefe	Bezeichnung			OS/Corg %	Ton %	Schluff %	Sand %	Kies (0.2-5) Vol. %	Steine (>5cm) Vol. %	Kalk CaCO <sub>3</sub> %	pH CaCl <sub>2</sub> / H <sub>2</sub> O	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen	
1	-3	(Ol) Of		ofi	60.5 / -							5.0 / 6.1	7.5YR 3/3	100% wf5	
2	-2	Oh		ofi	28.1 / -	[org.] [7.5]	[org.] [10]					5.0 / 5.9	10YR 2/2	100% wf5	
3	0	Ah		Sp2	- / 3.1 [4]			[0]	0.	03	[0]	4.4 / 4.7	10YR 4/2	100% wf5	
4	2	AhC		Sp2	- / 0.7 [1.2]	1.5 [2.0]	11.1 [1.0]	86.7 [0]		0.	[0]	4.9 / 6.5	2.5Y 6/2 6/4	100% wf5	
5	7	Cz		Ek, Sp2	- / 0.4 [0.4]	1.2 [1.0]	12.3 [1.0]	86.1	05	30	[0]	5.6 / 6.3	5Y 5/6	60% wf4	
6	25	C		Ek	- / 0.3 [0.1]	2.6 [0.5]	10.0 [1.0]	87.1	05	30	[0]	5.3 / 6.3	5Y 5/3	10% wf3	
Profiltiefe															
57															
2. ak															
Standort						Bewertung / Eignung									
Höhe ü. M. m	Exposition	Klima-eignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschafts-element	Nutzungs-gebiet	Stufe	Boden-punktzahl	Eignung	Eignungs-klasse					
58	59	60	61	62/63	64	65		73	74	75	76				
1880	NW	G	WA, WI	HS	SK	.									
Nutzungsbeschränkungen / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung		Meliorationen		Düngereinsatz							
66		67		68		festgestellte empfohlene		fest flüssig		71 72					
						69 70									
Wald															
Humus-form	Bestand	Baumhöhe, m		Vorrat, m <sup>3</sup> /ha		Alter (Jahre)		Gesell-schaft	Geeignete Baumarten		Produktionsfähigkeit				
		gem.	gesch.	gem.	gesch.	gem.	gesch.				Stufe Punkte				
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109		110 111				
	a	b													

# Datenschlüssel zu den Profilblättern

Datenschlüssel 6.1 (modifiziert) für Profilblatt - mit Ergänzungen Bodenkartierung Kanton Solothurn, August 2004 (■) und mit Anpassungen an NABODAT, April 2010 (■)  
\*\* Code-Auflösung der Bereiche: "untere Grenze" (inkl.) - "obere Grenze" (exkl.) #

## 3 Profilart

P	Profil
B	Böschung, Kiesgrube
C	Böschung Bohrfahrzeug
H	Böschung Hölzlager
U	Pflücker
S	Spill-Tube #
X	Andere
*	Mit Foto, Dia

## 16 Bodentypen (Auswahl)

O	Regosol	1322
F	Fluvisol	1322
R	Rendzina	1333
K	Kalkbraunerde	1333
B	Braunerde	1332
T	Parabraunerde	1335
E	Saure Braunerde	1331
O	Braunpodsol	1361
P	Eisenpodsol	1360
D	Phänozem	2342
Y	Braunerde-Pseudogley	4300
J	Pseudogley	4370
V	Braunerde-Gley	0352
W	Buntogley	0376
G	Fähigley	0306
N	Halbmoor	0552
M	Moor	0552
A	Aueboden	0322
X	Auffüllung #	

## 18 Untertypen

P	Profilrichtung/-umlagerung	
FE	erodiert	
PK	koluvial	
PM	anthropogen	
PA	alluvial	
PU	überschüttet	
PS	auf Seedecke	
PP	polygenetisch	
PL	aerolith	
PT	mit Torfbodenschicht(en)	
PD	stark durchlässiger Untergrund	
PF	terraest #	
VS	Vermittlungs- (extr. Körnung)	
VL	Vermittlungs- (< 10 cm u.T.)	
VU	auf Fels (10 - 60 cm u.T.)	
VU	kluftig	
VA	karstig	
VB	blockig	
VK	pseudohaltig (extr. kiesig)	
VS	pseudohaltig (extr. sandig)	
VT	teillöslich (extr. feinkörnig)	
E	Säuregrad (pH CaCl2)	
E0	alkalisch	> 6.7
E1	neutral	6.2 - 6.7
E2	schwach sauer	5.1 - 6.1
E3	sauer	4.3 - 5.0
E4	stark sauer	3.3 - 4.2
E5	sehr stark sauer	< 3.3
K	Kohlenstoffgehalt	
KE	teile, entkarbonatisiert	
KH	karbonatfrei	
KR	karbonatreich	
KF	kalktaugig	
KT	kalkkluftig	
KA	natriumhaltig	
F	Verteilung des Fe-Oxids	
FB	verbraunt	
FE	erdig	
FF	eisenhaltig	
FQ	quarzkrönig	
FM	marmoriert	
FK	konkretionär	
FR	grauflechtig	
FR	nubifiziert	
Z	Z Gefüge, Zustand	
ZB	kümmelig, brocklig (stabil)	
ZK	kümmelig	
ZT	tonig	
ZV	vertikal	
ZL	labil/aggregiert	
ZP	pedologisch	
L	Lagerungsdichte	
L1	locker	
L2	verdichtet	
L3	kompakt	
L4	verhärtet	
I	/ Staumasse	
I1	schwach pseudogleyig	
I2	pseudogleyig	
I3	stark pseudogleyig	
I4	sehr stark pseudogleyig	
G	Fremdnässe wechseltend	
G1	grundfeucht	
G2	schwach gleiyig	
G3	gleiyig	
G4	stark gleiyig	
G5	sehr stark gleiyig	
GM	extrem gleiyig	
R	Fremdnässe dauernd	
R1	schwach grundnass	
R2	grundnass	
R3	stark grundnass	
R4	sehr stark grundnass	
R5	sumpfartig	
D	D Drainage	
DD	drainiert	
M	org. Substanz aerob	
ML	rohhumus	
MF	modrohhumus	
MA	humusarm	
MM	müllhumus	
MH	humusstoffreich	
O	org. Substanz hydromorph	
OM	aminoorg	
OS	saprio-organisch	
OA	anortig	
OF	fachforlig	
OT	teillöslich	
T	T Typenausprägung	
T1	schwach ausgeprägt	
T2	ausgeprägt	
T3	degradiert	
H	Horizontierung	
HU	diffus	
HA	abrupt horizontal	
HD	unregelmässig horizontal	
HB	biologisch durchmischt	
HT	teilgeflügel, rigol	

## Skeletthalft (Vol.-%) \*\*

19 OB Schätzung / 20 US Schätzung		
0	skelettfrei, skelettarml	< 5 %
1	schwach skeletthalftig	5 - 10 %
2	Kieschaltig	10 - 20 %
3	steinhaltig	10 - 20 %
4	stark kieshaltig *	20 - 30 %
5	stark steinhaltig	20 - 30 %
6	kiesreich *	30 - 50 %
7	steinreich	30 - 50 %
8	Kies *	≥ 50 %
9	Geröll, Geschiebe	≥ 50 %
	* höchstens 1/3 Grobskelett (s > 5 cm)	

## Skeletthalft Waldböden (Vol.-%) \*\*

0	skelettfrei, skelettarml	0 - 5 %
1	schwach skeletthalftig	5 - 10 %
2	skeletthalftig	10 - 20 %
4	stark skeletthalftig	20 - 30 %
6	skelettreich	30 - 50 %
8	Kies, Geröll, Geschiebe	≥ 50 %

## Felderkörnung \*\*

21 OB Schätzung / 22 US Schätzung		
1	Sand S	0 - 5
2	schuffiger Sand uS	0 - 15
3	lehmiger Sand lS	5 - 10
4	lehmreicher Sand lR	10 - 15
5	sandiger Lehm sl	15 - 20
6	Lehm L	20 - 30
7	toniger Lehm tL	30 - 40
8	lehmiger Ton T	40 - 50
9	Ton T	50 - 100
10	sandiger Schluff su	0 - 10
11	Schluff lu	10 - 20
12	lehmiger Schluff lu	10 - 30
13	toniger Schluff lu	30 - 50

## 23 Wassereigenschaften

Senkrecht durchlässige Böden		
a	sehr fetterd.	
b	fetterd.	
c	mässig fetterd.	
d	ziemlich fetterd.	
e	fachgründig - sehr fachgründig	
f	Stauwasserbeeinflusst	
g	mässig fetterd.	
h	ziemlich fetterd.	
i	fachgründig - sehr fachgründig	
j	Stauwasserbeeinflusst	
k	fetterd.	
l	mässig fetterd.	
m	ziemlich fetterd.	
n	fachgründig - sehr fachgründig	

## Stauwasserprägte Böden

Fluvisol mit angeregter aquif. surface		
o	mässig fetterd. - fetterd.	
p	ziemlich fetterd. - fachgründig	
q	Häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	
r	ziemlich fachgründig	
s	fachgründig und sehr fachgründig	
t	Dauernd bis zur Oberfläche porengesättigt	

## Grund- oder hangwasserprägte Böden

Sollen bis zur Oberfläche porengesättigt		
l	mässig fetterd.	
u	ziemlich fachgründig - fachgründig	
v	Häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	
w	mässig fetterd.	
x	ziemlich fachgründig und fachgründig	
y	fachgründig und sehr fachgründig	
z	Dauernd bis zur Oberfläche porengesättigt	

## 24 Pflanzenzuchtbare Gründigkeit \*\*

0	extrem fetterd.	> 150 cm
1	sehr fetterd.	100 - 150 cm
2	fetterd.	70 - 100 cm
3	mässig fetterd.	50 - 70 cm
4	ziemlich fachgründig	30 - 50 cm
5	fachgründig	10 - 30 cm
6	sehr fachgründig	< 10 cm

## 26 Geländeform

a	eben	0 - 5 %
b	gleichmässig geneigt	5 - 10 %
c	konvex	- 10 %
d	konkav	- 10 %
e	ungleichmässig	0 - 10 %
f	gleichmässig geneigt	10 - 15 %
g	konvex	- 15 %
h	konkav	- 15 %
i	ungleichmässig	0 - 15 %
j	gleichmässig geneigt	15 - 20 %
k	gleichmässig geneigt	20 - 25 %
l	konvex	- 25 %
m	konkav	- 25 %
n	ungleichmässig	0 - 25 %
o	gleichmässig geneigt	25 - 35 %
p	konvex	- 35 %
q	konkav	- 35 %
r	ungleichmässig	0 - 35 %
s	gleichmässig	35 - 50 %
t	konvex	- 50 %
u	konkav	- 50 %
v	ungleichmässig	0 - 50 %
w	gleichmässig	50 - 75 %
x	ungleichmässig	0 - 75 %
y	gleichmässig	> 75 %
z	ungleichmässig	> 75 %

## Horizontbezeichnung

A	Organo-mineral, Oberboden (< 30 % OS)
B	Unterbodenhorizont
C	Untergrund (Ausgangsmaterial)
E	Eluvial- oder Auswaschungshorizont
I	Iluvial- oder Einwaschungshorizont
O	Organischer Auflagehorizont (> 30 % OS)
R	Felsunterlage
T	Torf / hydromorpher organischer Horizont
UB	Übergangshorizont
B/C	Komplexhorizont
II, III	Gesteinswechsel

## 28 Hauptrolle

EE	Ebene	- 5 %
TM	Talmitte	- 10 %
TS	Talsohle	- 15 %
TC	Tächen	- 15 %
SF	Schwemmfächer	- 15 %

## 64 Landschaftselement

EE	Ebene	- 5 %
TM	Talmitte	- 10 %
TS	Talsohle	- 15 %
TC	Tächen	- 15 %
SF	Schwemmfächer	- 15 %

## 30 Unterteilung der Haupthorizonte

a	aminoorg (> 10 % OS)
ch	chemisch verwittert
cm	mit Konkretionen
f	Fermentationszone
fe	Fe-Anreicherung
foss	fossil
g	rostflechtig
gg	bunf. (hydromorph)
h	Humusstoffzone
hh	oberste, schwarze Humusstoffzone (Waide)
ka	kalktaugig, -luftig
sa	Strouzone (Litter)
m	massiv, zementiert
na	Na-Anreicherung
ot	FeAl-Oxid-Anreicherung
p	Phugschicht
q	quarzkrönig
re	reduziert
sa	Salzanreicherung
st	gut strukturiert
t	Tonreicherung
vt	vertikal, schwindrisig
v	Verwitterung d. Ausgangsmaterials
x	kompakt
y	aufgelöster Horizont
z	Zersetzung d. Muttergesteins
( )	schwach ausgeprägt
! !	nur stellenweise vorkommend

## 31 Gefüge: Form

Gr	Granulate
Kr	Krümelgefüge
Sp	Subpolyedergefüge
Po	Polyedergefüge
F	Fingergelbe
Pl	Plattengefüge
Ko	Kohärenzgefüge
em	Einzelkörnergefüge
sch	schwammig
otf	otf. lig. } organisch
otbl	otbl. bildig }

## 32 Grösseklassen (■)\*\*

1	< 2 mm
2	2 - 5 mm
3	5 - 10 mm
3.5	10 - 20 mm
4	10 - 20 mm
5	20 - 50 mm
6	50 - 100 mm
7	> 100 mm

## 44 Kalk (CaCO3)

0	kein CaCO3
1	nur im Skelett CaCO3
2	CaCO3 + vorhanden, gel. Aufbrausen
3	schwach Aufbrausen (+)
4	mässiger Aufbrausen (++)
5	starkes Aufbrausen (+++)

## 59 Exposition

N, NE, E, SE, S, SW, W, NW (■ = keine Exposition)
---

## 60 Klimaregion

Gemein Klimaregionkarte für die Landwirtschaft in der Schweiz (1977a) #

## 60 b) Nutzungsgebiet

Gemäss Klassifikation der Böden der Schweiz (2004) #

## 61 Vegetation (aktuell)

AK	Acker offen
KW	Kunstaiese
WI	Dauerniese
WE	Dauerniese
BG	Baumgarten
SO	Intensivobstanlagen
GS	Gemüse, Garten
SB	Beeren
SR	Reben
BK	Krautvegetation
BS	Strauhvogelvegetation
WA	Wald
SL	Streuland
RI	Rand
MO	Moor
UW	Grasland (Unraiese)
OL	anthropogenes Odländ
XX	andere

## 62 Ausgangsmaterial

TO	Torf
TU	Tuff
BK	Beckenkiese
SA	Sand
LO	Löss
HS	Hangschutt (Bergsturz)
AL	Altküvonen
KD	Kolluvionen
HL	Hanglehme
SL	Seebodenlehm
SC	Schotter *
MS	schottrige Moräne *
MO	Moräne *
MG	Grundmoräne *
ME	Mergel
TN	Ton
TS	Tonschiefer
SB	Sandsteine
KG	Konglomerat
KB	Kalkstein
DO	Dolomitschiefer
RW	Rauwacke
GR	Granit
GN	Gneis
SF	Schiefer

## 63 Einsatz \*

1	Einzel *
2	Mindel
3	Riss
4	Wurm
5	nachseztlich

## 64 Landschaftselement

EE	Ebene	- 5 %
TM	Talmitte	- 10 %
TS	Talsohle	- 15 %
TC	Tächen	- 15 %
SF	Schwemmfächer	- 15 %

## SK Schuttkegel

SK	Schuttkegel	- 25 %
TW	Talwall	- 25 %
TT	Talferasse	- 15 %
HT	Hängemasse	- 15 %
PF	Plateau	- 15 %
KR	Kuppe, Rücken	- 25 %
HF	Hangflur	- 25 %
HH	Fischhang	- 25 %
HX	Steilhang	- 50 %
HY	Steilhang	- 75 %
HZ	extremer Steilhang	> 75 %

## 65 Kleinrelief

1	Konvex (Verlustlage)
2	Konkav (Gewinnlage)
0	ausgeglichen

## 66 Mäusenutzung

1	gut
2	mässig gestört
3	stark gestört

## 67 Limitierende Eigenschaften

A	Bodenart
C	Chemismus
F	Fremdnässe
G	nutzbarer Wurzelraum
S	Staunässe
B	Bodenskelett
U	Untergrund extrem durchlässig
Z	Zustand Gefüge der Topografie
L	Lage im Relief
N	Nahgründigkeit
O	Oberflächenzustand des Klimas
K	Klimatische Lage
H	Höhenstufen
X	Exposition
Y	Niederschläge

## 68 Nutzungsbeschränkungen

B	maschinelle Bearbeitung/Bewirtschaftung
E	Erosion
G	Gründigkeit
M	Mikroklima (Frost, Wind etc.)
P	Überschüttung
Q	Querturbation
R	Rutschung
T	Tragfähigkeit
V	Vegetationsdauer
W	Wasser-Luftgehalt

## 69 MOBilitäten

WR	Verbesserung Wasser-Luftaushaush
WM	Röhrenwasserung
WM	Maulwurfdrainage
WU	Untergrundlockerung
WQ	Querturbation
WG	Grabenwasserung
WV	Vorflutregulierung
WB	Bewässerung
OE	Eneuerung
OS	Säuberung
OT	Terraessung
OR	Bodenerneuerung
EU	Bodenverfälschende Massnahmen
EH	Humisierung
ET	Ertragsfälligkeit
EG	Ertragsbeeinträchtigung
EF	Auflockerung
EW	Windschutz
EG	Gefügestabilisierung
CK	Korrektur Bodenchemismus
CK	Aufkalkung
CD	Ernährungs-/Ausgleichsdüngung
CS	Salzneutralisierung
CA	Erbirgung von Absorptionsträgern

## 71 Einsatz feste Dünger

1	normal
2	Vorsicht
3	erhöhte
4	keine

## 72 Einsatz flüssige Dünger / Risikostufen

1	geringes
2	mittleres
3	hohes
4	sehr

## 73 Fruchtbarkeitsstufen

1	Fruchtbarkeitsstufe 1	90 - 100
2	Fruchtbarkeitsstufe 2	50 - 90

# G-01: Das Rotmoos in Innereriz und die Wurzeln des Biolandbaus im Emmental und Napf

Ruedi Keller<sup>1</sup>, Ruedi Wyss<sup>1</sup>, Nikola Patzel<sup>2</sup>, Cécile Wanner<sup>3</sup>, Alois Peter<sup>4</sup>, Wendy Peter<sup>4</sup>, Werner Scheidegger<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Abteilung Naturförderung, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, Münsterplatz 3, 3011 Bern; <sup>2</sup>Büro für Bodenkommunikation, Seestraße 5, 88662 Überlingen am Bodensee; <sup>3</sup>Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, Bodennutzung und Bauwesen, Kanton Zürich, Walcheplatz 2, 8090 Zürich; <sup>4</sup>Hof Wellberg, <sup>5</sup>Referent Möschi

## Einleitung

Die Exkursion führt zunächst in das Rotmoos bei Innereriz. Die gesamte Fläche des Rotmooses ist ein Mosaik aus Flachmooren, Hochmooren, Moorheiden und Moorwäldern (Abb. 1). Im Jahr 1987 wurde es als „Hoch- und Übergangsmoor von nationaler Bedeutung“ unter Schutz gestellt (Schutzbeschluss vom 7. Januar 1987,

Protokoll des Regierungsrates des Kantons Bern). Das Errichten neuer Bauten, Anlagen und Werke aller Art ist somit im gesamten Schutzgelände unzulässig. Insbesondere ist die Trockenlegung (Drainage) bislang ungestörter Moorbereiche untersagt. In gestörten Moorbereichen soll die Regeneration, soweit es sinnvoll ist, gefördert werden.

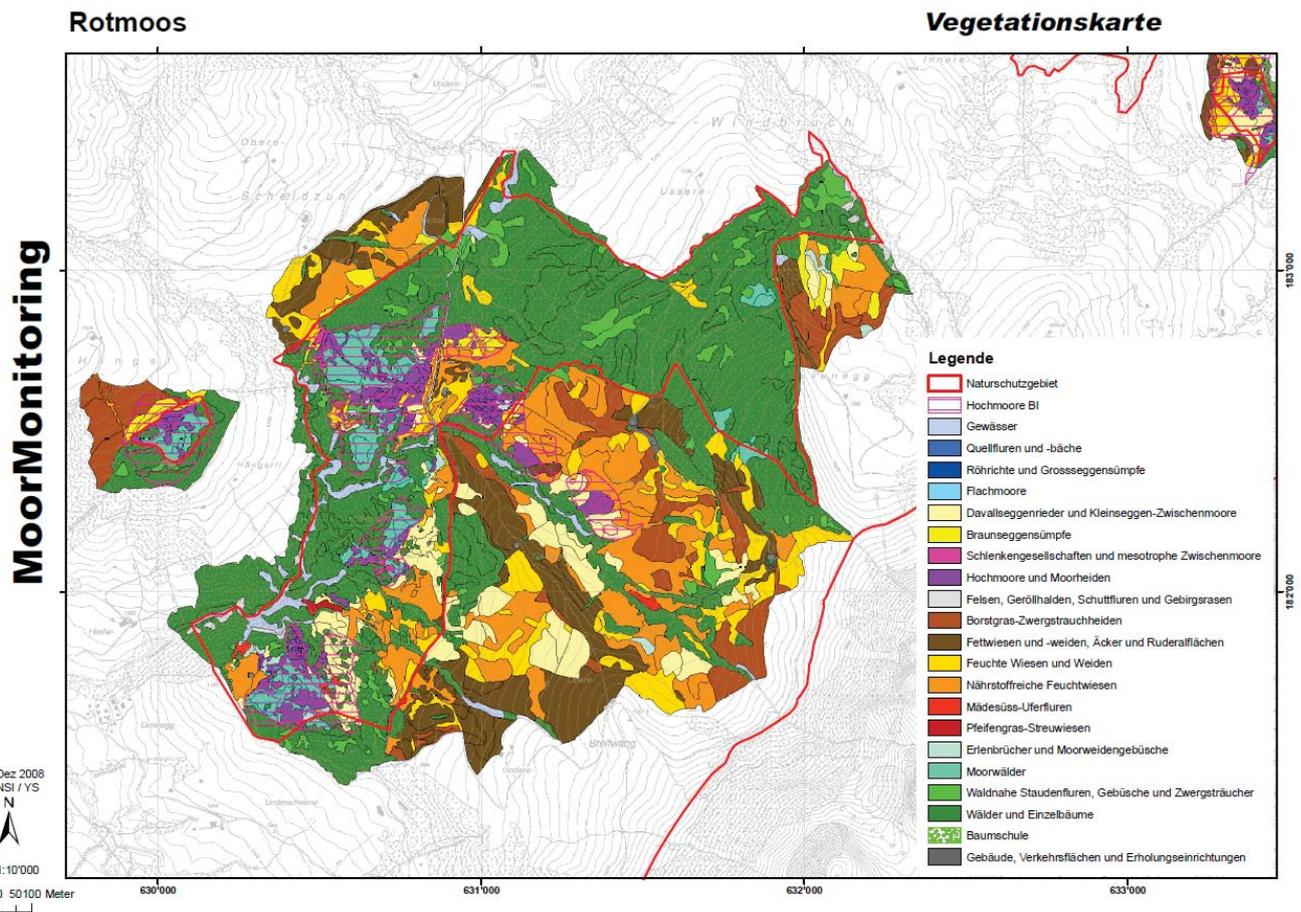


Abb. 1: Vegetationskarte Rotmoos (Naturforschungsanstalt, NSG 17, Dezember 2008)

Vorbehalten bleibt jedoch der Unterhalt bestehender Bauten, sowie eine forstwirtschaftliche Nutzung unter naturnahen Gesichtspunkten.

Zum Schutzziel gehören insbesondere die Erhaltung und Förderung der standortheimischen Pflanzen- und Tierwelt und ihrer ökologischen

Grundlagen sowie die Erhaltung der geomorphologischen Eigenart des Schutzraumes. Aufgrund des Schutzstatus des Gebietes ist nur eine eingeschränkte Begehung (vorderes Rotmösli) möglich.

Der zweite Teil der Exkursion beschäftigt sich mit der Entwicklung der biologischen Landwirtschaft in der Schweiz. Historisch betrachtet ist die Schweiz eine „Keimzelle“ dieser Bewirtschaftungsform. Die Exkursion wird diese Entwicklung am Beispiel zweier landwirtschaftlich geprägter Weiler (Möschberg und Ausser-Wellberg) nachvollziehen.

### **Das vordere Rotmösli**

Im Gegensatz zu andere Teilen des Moores, wurde das vordere Rotmösli früher genutzt und daher in Teilen auch entwässert (Abb.1).

Ausgehend von Koordinate 630.610/181.550 entwässert die vom Gelände vorgegebene Rinne, deren Mittelabschnitt als Rüllenvegetation ausgeschieden wurde, das vermoorte Gebiet in nordwestlicher Richtung. Vorflut ist der Dräckergraben. Der östliche Bereich weist Flachmoorcharakter auf, während die Vermoorungen westlich der Hauptentwässerungsrinne sich teilweise bis zum Hochmoor entwickeln konnten. Die Ursache für die unterschiedlichen Vermoorungen ist vermutlich bei der Topographie zu suchen. Das Gelände im Osten ist steiler als im Westen. Zudem wird der Moorteil im Osten von mehr oder weniger nährstoffhaltigem Hangwasser überrieselt, welches z.T. auch aus dem Gebiet Breitwang stammen dürfte.

Demgegenüber ist das Einzugsgebiet des westlichen Moorteiles begrenzt durch die von Punkt 1200 nach Punkt 1181 verlaufende Kammlinie, viel kleiner. Die Nährstoffe dürften zu einem guten Teil bereits ausgewaschen sein. Der im Einzugsgebiet vorherrschende Torfmoos-Fichtenwald deutet jedenfalls eine gewisse standörtliche Verarmung an.

Moortypologisch ist der westliche Teil des Vorderen Rotmösli zur Hauptsache ein Hanghochmoor, das durch Entwässerungsmassnahmen gestört ist, besonders auch im Bereich des Hanganschlusses. Im Anschluss an die Entwässerungsmassnahmen diente das Moor vermutlich

v.a. als Streuelieferant. Diese extensive Nutzungsweise wurde aber nicht überall beibehalten; Flächen ausserhalb des kartierten Gebietes wurden in Wiesland (dt. Wiesennutzung) umgewandelt, währenddem grössere Gebiete innerhalb der Objektgrenze seit längerer Zeit nicht mehr bewirtschaftet werden und verbuscht sind oder sich wieder dicht bewaldet haben. Auffällig ist das Fehlen von *Pinus montana* im ganzen Gebiet. So sind z.B. die beiden als Birkenmoorwald kartierten Flächen sehr stark verheidet mit *Molinia* (Pfeifengras) und Zwergsträuchern (*Vaccinien*). Die *Vaccinien* erreichen eine Höhe von bis zu 1 m und darüber. Die als Hochmoormischvegetation ausgeschiedene Fläche (bei Koordinate 630.425/181.650) ist wegen der noch regelmässig erfolgenden Streuenutzung unbestockt, aber weitgehend mit *Molinia Trichophorum* (Rasenbinse) und zahlreichen, kleinen *Vaccinium uliginosum* Sträuchern (Moorbeere) verheidet. Dazwischen finden sich aber Anflüge mit typischen Hochmoorarten und Torfmoospolstern. Die Fläche durchzieht ein von Südosten nach Nordwesten (von Koordinate 630.500/181.625 nach Koordinate 630.400/181.660) verlaufender Drainagegraben. Er wird von einer „Hecke“ aus Birken und Fichten begleitet.

Im Süden des Gebietes entwickelte sich auf entwässertem und von Drainagegräben durchfurchtem Torfboden ein geschlossener Fichtenhochwald, der aus hydrologischen Erwägungen und aus pflanzensoziologischen Gründen (Vorkommen von dichten, grossen *Polytrichumteppichen*), zur Moorfläche geschlagen werden musste. Bei der weitgehend verbuschten Fläche bei Koordinate 630.425/181.725 handelt es sich um ein ehemaliges Hangflachmoor, das sich v.a. mit Fichte und Birke bestockt hat. Die Fläche bei Koordinate 630.475/181.750 ist ziemlich geneigt und enthält Arten wie *Andromeda* (Rosmarinheide), *Molinia*, *Vaccinium uliginosum*, *Eriophorum vaginatum* (Scheidiges Wollgras), *Eriophorum angustifolium* (Breitblättriges Wollgras), *Carex echinata* (Igel-Segge) sowie schöne *Polytrichum-Teppiche* (Frauenhaarmoose). Mit zunehmender Hangneigung verschwinden die Hochmooranflüge und Torf-

moospolster, die im Schutz von kleinen Krüppelfichten besonders gut gedeihen und machen einem reinen Niedermoor Platz.

Die Ergebnisse der bodenchemischen Analysen der beiden Moorb Bohrungen, die im Rahmen der Exkursion präsentiert werden, werden in der Onlineversion des Exkursionsführers im Frühjahr 2019 ergänzt (Abb. 2).



Abb. 2: Moorb Bohrung am Rand des Naturschutzgebietes Rotmoos, bodenchemische Analyse der Bohrungen steht noch aus (Fotos: Ruedi Keller).

Pflegemassnahmen zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Struktur des vorderen Rotmösli sehen derzeit folgendes vor:

- Nivellieren und Vermessen des Gebietes

- Torfmächtigkeitkarte
- Erarbeiten von Schutz- und Pflegezielen
- Verschliessen von Drainagegräben (wo möglich und sinnvoll)
- Verfolgen der Verbuschung

### Moore und Moorschutz in der Schweiz

Die folgenden Abschnitte sind in weiten Teilen dem Buch „Moore und Moorschutz in der Schweiz“ entnommen (BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (Hrsg.): 2002).

Seit der Annahme der Rothenthurm-Initiative 1987 unterstehen Moore und Moorlandschaften „von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung“ rückwirkend ab 1983 dem Schutz der Bundesverfassung. Für Massnahmen zur angepassten Nutzung und Pflege sind hierbei in erster Linie die Kantone zuständig.

Kein anderer Lebensraum der Schweiz wurde in den letzten 150 Jahren derart dezimiert oder als wertlose Restfläche gehandelt wie die Moorgebiete, und kein Lebensraum untersteht heute einem solch rigorosen Schutz. An den Mooren lässt sich die Entwicklung des Schutzgedankens verfolgen: Moore gehörten zu den frühesten Schutzgebieten, vorerst noch unter dem Zeichen des Artenschutzes; mit dem revidierten Natur- und Heimatschutzgesetz der 1980er-Jahre wurde die Bedeutung des Biotopschutzes für die Erhaltung der Arten unterstrichen. Später kam das zunehmende Bewusstsein um die Bedeutung der Moorgebiete als empfindliche Wasser- und Kohlenstoffspeicher hinzu. Indem Moore die Spitzenabflüsse dämpfen, tragen sie dazu bei, Überschwemmungsrisiken zu mindern. Darüber hinaus zählen Moore zu den bedeutendsten Kohlenstoffspeichern. Ihre Zerstörung kann beträchtliche Mengen an Treibhausgasen freisetzen.

Der Perimeter der zu schützenden Moorobjekte von nationaler Bedeutung schliesst stets auch Flächen mit Nicht-Moorvegetation ein. Besonders im Alpenraum ist deren Anteil hoch. Hier findet sich auf ausgedehnten Alpflächen oft ein Mosaik von Mooren und Pflanzengesellschaften «gewöhnlicher» Wiesen und Weiden. Es ist sinnvoll, solche Moorgebiete zu einem einzigen Objekt zusammenzufassen (Abb.3, 4).

# Vorkommen von Moorböden in der Schweiz

In den hervorgehobenen Regionen kommen Moorböden besonders häufig vor und prägen das Landschaftsbild.

## LES PONTS-DE-MARTEL

Nach dem Zurückweichen des Rhonegletschers am Ende der letzten Eiszeit entwickelten sich Moore mit Torfschichten bis zu 5 m Mächtigkeit. Drainage und Torfabbau seit Mitte des 18. Jahrhunderts haben die Moorvegetation auf 130 Hektaren reduziert.

## ORBE-EBENE

Die Flussebene der Orbe nahe der Mündung in den Neuenburgersee ist eine ehemalige Riedlandschaft, die im Verlauf der letzten Jahrhunderte stark entwässert wurde.

## GLAUBENBERG-HABKERN-SÖRENBERG

Diese Moorlandschaften gehören zum Teil zur UNESCO Biosphäre Entlebuch. Dort kann man auf 80 km den «Moorland-schaftspfad» erwandern.

## SEELAND

Das «Grosse Moos» war das grösste Moor-gebiet der Schweiz. Es wurde im 19. und 20. Jahrhundert durch die Juragewässer-korrekturen trockengelegt. Heute ist diese Region das bedeutendste Gemüseanbau-gebiet der Schweiz.

## ST. GALLER RHEINTAL

In Altstätten im St. Galler Rheintal zeugen die Gebäude der «Schollenmühle», einer ehemaligen Torffabrik, noch heute vom gewerblichen Torfabbau, der bis in das letzte Jahrhundert hinein die Landschaft geprägt hat.

## LINTHEBENE

In dieser ehemaligen Riedlandschaft befinden sich viele Reste von Flachmooren, z.B. das «Kaltbrunner Riet» und die «Grosse Allmend» in Schmerikon. Die Linthebene ist ein Mosaik von organischen und mineralischen Böden.

## ROTHENTHURM-SCHWANTENAU

Rothenthurm gilt als Wiege des Moorschutzes in der Schweiz. Seit dem 6. Dezember 1987 genießen die Moore und Moorlandschaften von nationaler Bedeutung den Schutz der Verfassung. Anlass für die Volksabstimmung war die Absicht des Militärs, in der Ebene von Rothenthurm einen Waffenplatz zu errichten.

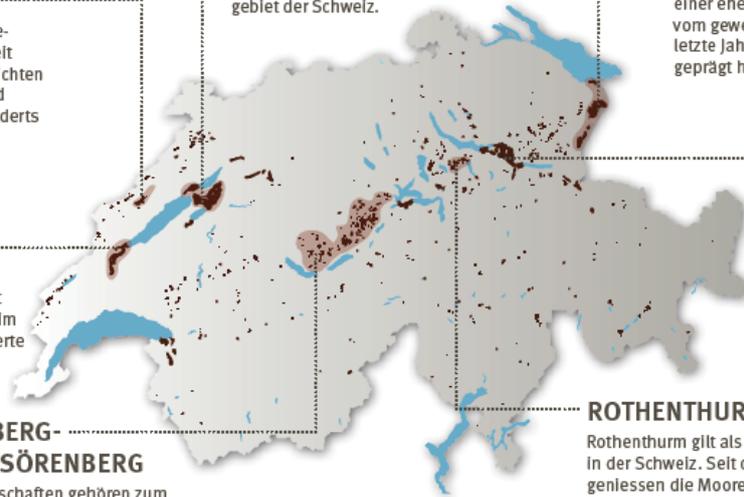


Abb. 3: Vorkommen von Moorböden in der Schweiz (Quellen: Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung (BAFU, 1986), Bodeneignungskarte der Schweiz (BFS, 1980), Kartengrundlage ©swisstopo; Moorböden = Moore, Torf, grundnasse Alluvionen, primäre und sekundäre Hochmoore, Wasserflächen und Hochmoorumfeld; Flächen sind zur besseren Erkennbarkeit vergrössert dargestellt. Detaillierte Quellenangaben siehe: [www.boden-des-jahres.ch](http://www.boden-des-jahres.ch))

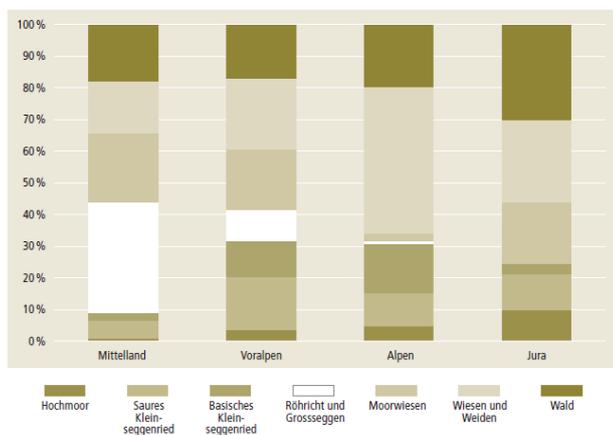


Abb. 4: Flächenanteile der verschiedenen Vegetationseinheiten an den Hoch- und Flachmooren in der Stichprobe der Erfolgskontrolle Moorschutz (v.l.n.r. = von unten nach oben) (Quelle: WSL, Erfolgskontrolle Moorschutz, aus: Moore und Moorschutz in der Schweiz, 2002)

## Torfmoose

In der Schweiz kommen rund 30 Torfmoosarten (Sphagnen) vor, wovon ein Dutzend ausschliesslich in Hochmooren. Am grössten ist die Vielfalt der Torfmoose in den mittleren Nordalpen (Abb. 5). Sphagnen gestalten durch ihre Lebensweise die Standortverhältnisse nach ihren Bedürfnissen und halten sich Konkurrenten fern. Ihre Blätter enthalten zwei Zelltypen: schmale, grüne, der Photosynthese dienende Chlorophyllzellen sowie voluminöse Hyalinzellen, die sich mit Regenwasser füllen. Torfmoose können Wassermengen bis zum 30-fachen des eigenen Trockengewichtes speichern.



Abb. 5: Mittlere Anzahl (Median) von Torfmoosarten in den Stichprobe-Hochmooren der Erfolgskontrolle Moorschutz nach Regionen (Karte: WSL, Erfolgskontrolle Moorschutz, aus: Moore und Moorschutz in der Schweiz, 2002).

### Moore als Archive der Natur- und Kulturschichte

Die im nassen und sauren Milieu des Torfkörpers konservierten Pollenkörner der einzelnen Torfschichten verschiedener Schweizer Moore wurden <sup>14</sup>C datiert um die Vegetations- und Klimageschichte der verschiedenen Regionen zu rekonstruieren (Abb. 6)

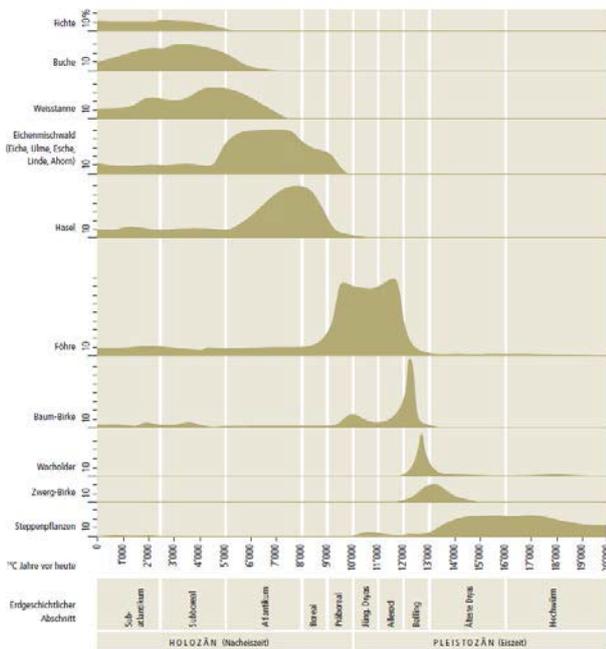


Abb. 6: Die Vegetationsentwicklung in der Schweiz, dargestellt aufgrund der Pollenanalyse von Bohrproben aus Mooren und Seesedimenten. Beziffert sind die Prozentwerte des Pollens der einzelnen Artengruppen bezogen auf die Gesamtpollensumme (Quelle: Moorhandbuch, BUWAL, 1992 – 2002)

Schwermetalle, werden ebenfalls in datierbaren Torfschichten eingelagert. Bohrkerne aus Hochmooren erzählen deshalb auch die Geschichte der Luftverschmutzung der Schweiz.

Sie ist älter, als man denkt. 7.92 Meter hoch ist der Torfkörper im Hochmoor Etang de la Gruère (BE) an seiner mächtigsten Stelle. In den tiefsten Schichten sind die Bleigehalte minimal, doch ein Meter unter der Oberfläche liegen sie schon um ein Mehrfaches über dem natürlichen Wert. Hier lagert Torf, der vor 2000 Jahren gebildet wurde. Zu jener Zeit tranken die Römer Wein aus Bleibechern und verwendeten das giftige Metall auch zu anderen Zwecken. Zur Blütezeit des Römischen Imperiums wurden jährlich 100'000 Tonnen Blei produziert. Im frühen Mittelalter waren die Immissionen wieder niedrig, mit dem Beginn der Silberverhüttung im ausgehenden Mittelalter stiegen sie erneut leicht an. Die Entwicklung beschleunigte sich als Folge der industriellen Revolution (Kohleverbrennung, Erzverhüttung). Das Erdölzeitalter brachte zunächst einen Rückgang der Belastung – bis zum Jahr 1946, als in der Schweiz erstmals verbleites Benzin eingesetzt wurde. In der Folge stiegen die Bleiwerte im Torf auf ein zuvor nie erreichtes Maximum. (Abb. 7).

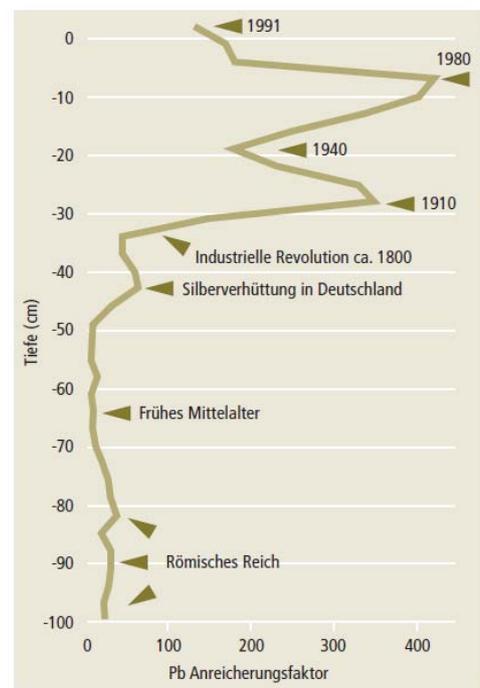


Abb. 7: Bleikonzentration im Lauf der letzten 2'000 Jahre im Torf des Hochmoors Etang de la Gruère (BE) (Quelle: Unipress BE, 1996, aus: Moore und Moorschutz in der Schweiz, 2002)

## Die Geschichte der Moornutzung in der Schweiz

### Hochmoore

Im 17. Jahrhundert herrschte in der Schweiz erstmals Brennholzangel. Die Wälder waren durch jahrhundertelange Beweidung ruiniert und grossflächig kahlgeschlagen worden. Es galt, den Rohstoff- und Energiebedarf einer rasch wachsenden Bevölkerung und des aufkommenden Gewerbes zu decken. Damit gewannen die Torflager der Moore – namentlich der Hochmoore – erstmals Bedeutung als Energieressource.

In einer Beschreibung der mächtigen Torflager des Amtshauses Rütli im Zürcher Oberland empfahl der Zürcher Stadtarzt Johann Jakob Scheuchzer 1712, das «unterirdische Holz» auszubeuten – so wie dies in den moorreichen Gebieten Hollands und Norddeutschlands schon seit längerer Zeit praktiziert werde.

In der Folge wurden zahlreiche Moore vollständig abgetorft. Notzeiten brachten jeweils eine Intensivierung des Abbaus, letztmals während des Zweiten Weltkriegs. 2.5 Millionen Tonnen Torf wurden in den Kriegsjahren 1939 – 1945 verbrannt. Bei der für hiesige Hochmoore durchschnittlichen Torfmächtigkeit von etwa zwei Metern entspricht dies einer Fläche von 1'000 Hektaren oder rund zwei Dritteln der Gesamtfläche der heutigen Hochmoore von nationaler Bedeutung.

In praktisch jedem Hochmoor des Mittellandes und des Juras wurde zeitweise Torf gestochen. Ein Grossteil der heutigen Objekte von nationaler Bedeutung ist davon gezeichnet. Vielfach bilden sie bloss noch Überreste von einst grossflächigen Hochmooren.

### Flachmoore (dt. Niedermoore)

Bereits im 19. Jahrhundert verschwanden die ausgedehnten Flachmoore des Mittellandes. In den grossen Meliorationswerken wurden die Flüsse eingedämmt und begradigt, die Talebenen entsumpft und in Kulturland umgewandelt (Abb. 8).

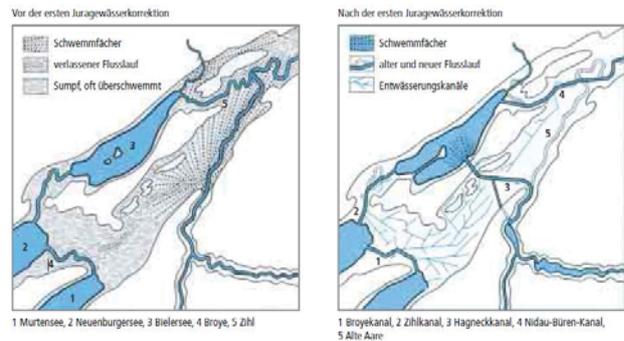


Abb. 8: Mit der Juragewässerkorrektur 1869 – 1888 wurden im Grossen Moos zwischen Bieler-, Neuenburger- und Murtensee rund 400 km<sup>2</sup> Moorfläche trockengelegt. Das Grosse Moos ist heute eines der wichtigsten Gemüseanbaugebiete der Schweiz. Siehe hierzu auch Exkursion G-09 (Quelle: Imboden, Leben am Wasser, Pro Natura, 1976, aus: Moore und Moorschutz in der Schweiz, 2002).

1904 publizierten die ETH-Professoren J. Früh und C. Schröter ihr Standardwerk «Die Moore der Schweiz». Darin sind 5464 Moore aller Art aufgelistet. Von diesen existierten schon damals 3381 nur noch als Flurnamen, im kollektiven Gedächtnis oder als Herbarbelege von Moorpflanzen. Die beiden Autoren bezeichneten die im 18. und 19. Jahrhundert erfolgte Zerstörung der Schweizer Moore als die «grössten, wenn auch fleckenförmig verteilten Umwälzungen im Landschaftsgebilde seit der Hauptentwaldung».

Die Folgen der Moorentwässerung waren denjenigen des Raubbaus an den Wäldern nicht unähnlich: Auch das reduzierte Wasserrückhaltevermögen der Landschaft aufgrund der massiv verminderten Moorflächen trug dazu bei, dass sich die Hochwasserspitzen erhöhten und das Risiko von Überschwemmungen anstieg.

### Veränderung des Wasserhaushalts der Schweizer Moore

Mittels der aus der Vegetationszusammensetzung ermittelten Feuchtezahl wurde die Wasserversorgung der Schweizer Moore abgeschätzt (Abb. 9).

In fast einem Drittel aller Moore hat sich der Wasserhaushalt während der Beobachtungsperiode erheblich verändert. Die meisten dieser Moore wurden trockener. Nur in wenigen Mooren wurden die Verhältnisse feuchter. Bei den torfbildenden Flachmooren wurden 27 % der

Moore trockener, aber nur 2 % der Moore feuchter. Bei den Hochmooren wurden 23 % trockener, aber immerhin 6 % feuchter, was vermutlich teilweise auf Regenerationsmassnahmen zurückzuführen ist.

Zwischen den drei Moortypen sowie zwischen den Höhenlagen und den Regionen gibt es grosse Unterschiede in der Entwicklung der Feuchtigkeit (Abb. 9). Während bei den Hochmooren der Trend zu trockeneren Verhältnissen

mit zunehmender Höhe steigt, verschlechtert sich die Wasserversorgung der beiden Flachmoortypen besonders in den tieferen Zonen. Auf der Ebene der Regionen zeigen alle drei Moortypen vorwiegend eine verschlechterte Wasserversorgung. Besonders stark ist diese Entwicklung in den Hochmooren des Wallis und im Jura. Das Gleiche gilt für die torfbildenden Flachmoore des östlichen Mittellandes und der östlichen Nordalpen.

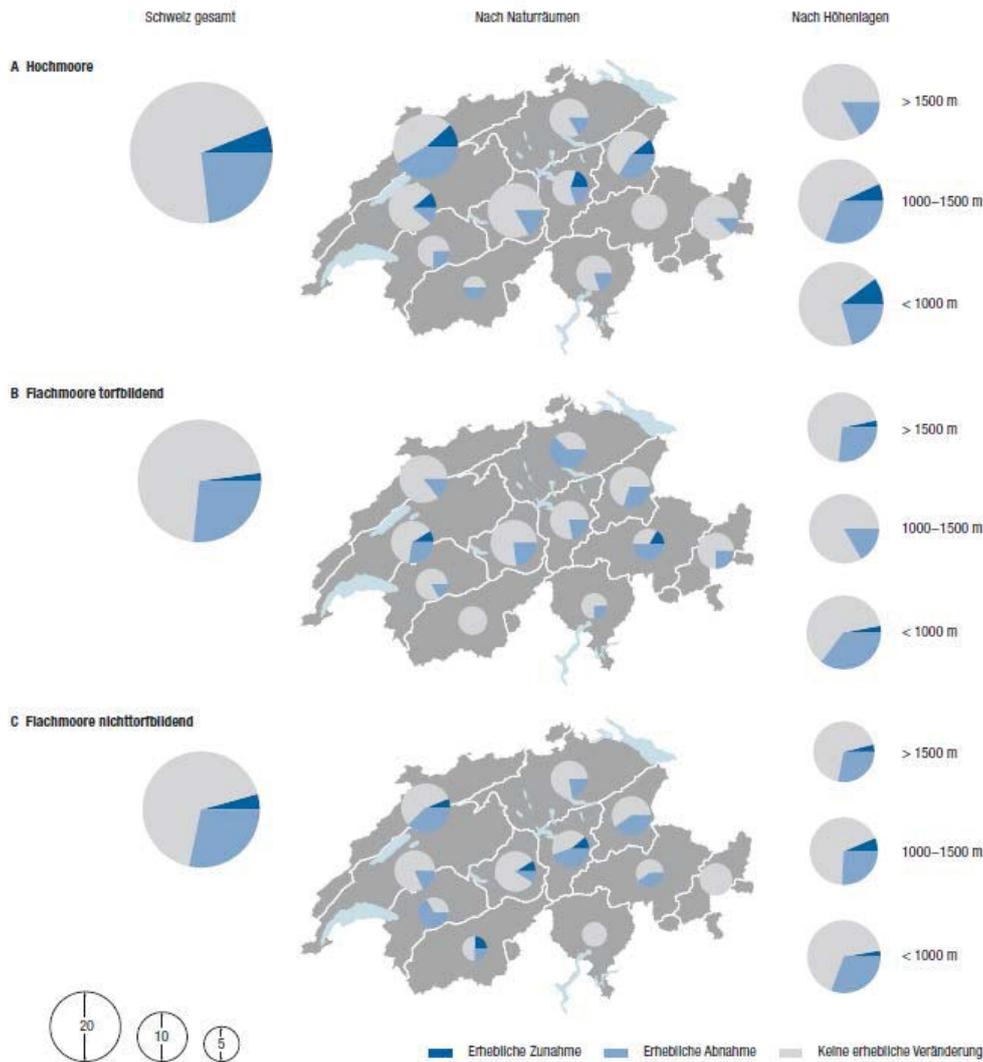


Abb. 9: Entwicklung der Feuchtigkeit der Moore der Schweiz. Beobachtungsperiode 1997/2001 bis 2002/06. Dargestellt ist der Anteil Moorobjekte mit erheblichen Veränderungen. Die Grösse der Kreisfläche entspricht der Anzahl untersuchter Moore. (Aus: Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz. (2007) Umwelt-Zustand Nr. 0730. Bundesamt für Umwelt, Bern, S. 39)

Ausgeglichene Trends oder stabile Verhältnisse weisen nur wenige Regionen auf. Bei den Hochmooren sind hier das westliche Mittelland, die innerschweizer Alpen und Nord- und Mittelbünden zu nennen, bei den torfbildenden Flachmooren lediglich das Wallis. Bei den nichttorfbil-

denden Flachmooren weisen die drei südlichsten Regionen und die mittleren Nordalpen stabile oder ausgeglichene Trends auf (*Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz. (2007) Umwelt-Zustand Nr. 0730. Bundesamt für Umwelt, Bern.*).

## Veränderung der Kohlenstoffvorräte der Moore

Ebenfalls wurde die Humuszahl als Mass für den Gehalt an organischer Substanz der Moore bestimmt. Sinkende Humuszahlen weisen darauf hin, dass die Torfbildungsprozesse nicht mehr ungestört ablaufen können.

In vielen Mooren ist der Humusgehalt in den Böden während der Beobachtungsperiode gesunken (Abb. 10). Das gilt vor allem für die Hochmoore, bei denen ein Viertel sinkende Humuszahlen aufweist. Lediglich 4 % der Hochmoore zeigen höhere Humuszahlen. Bei den torfbildenden Flachmooren befinden sich die wenigen Moore mit einer Zunahme des Humusgehalts fast ausschliesslich in der obersten Höhenstufe.

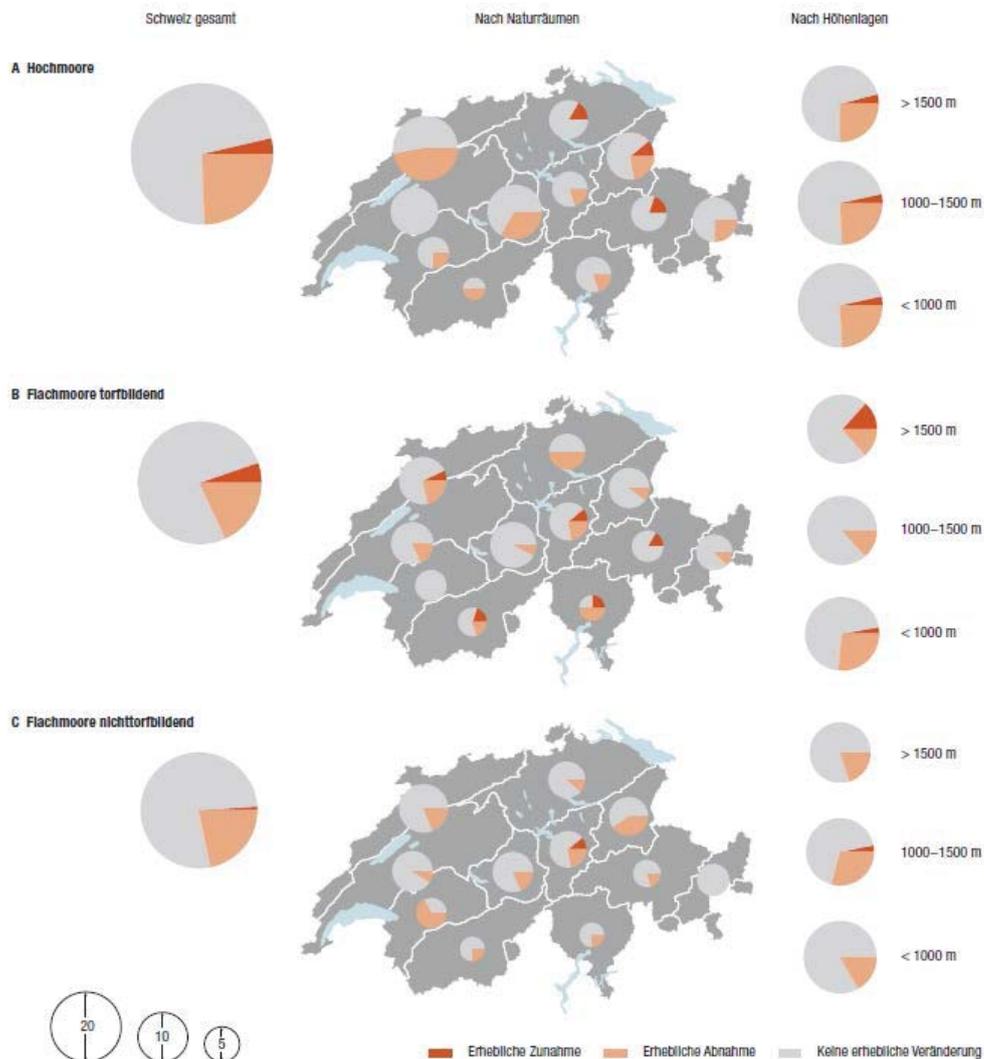


Abb. 10: Entwicklung des Humusgehalts. Beobachtungsperiode 1997/2001 bis 2002/06. Dargestellt ist der Anteil Moorobjekte mit erheblichen Veränderungen. Die Grösse der Kreisfläche entspricht der Anzahl untersuchter Moore. (Aus: Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz. (2007) Umwelt-Zustand Nr. 0730. Bundesamt für Umwelt, Bern, S. 43)

## Veränderungen der Nährstoffverhältnisse

Problematisch für die Nährstoffverhältnisse der Moore sind vor allem die Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre: In der Schweiz werden in den meisten Regionen zwischen 10 und 40 Kilogramm Stickstoff pro Hektare und Jahr eingetragen (BAFU und BFS 2007). Verglichen mit den Düngergaben der Landwirtschaft entspricht

dies der ausgebrachten Menge für mittel bis intensiv genutzte Wiesen.

In deutlich über einem Drittel der Hochmoore (38 %) haben sich die Nährstoffverhältnisse erheblich verändert (Abb. 11). 29 % der Hochmoore weisen eine erhöhte, 9 % eine abnehmende Nährstoffversorgung auf. Nur in den Re-

gionen östliches Mittelland sowie Nord- und Mittelbünden gibt es mehr Hochmoore mit sinkender als mit steigender Nährstoffversorgung. Drei Regionen weisen entweder keine erhebliche Dynamik oder ein ausgeglichenes Verhältnis auf.

Bei den Flachmooren sind 21 % (torfbildend) bzw. 18 % (nichttorfbildend) von einer zuneh-

menden Nährstoffversorgung betroffen. Lediglich bei 4 % bzw. 2 % der Flachmoore hat die Nährstoffkonzentration im Boden deutlich abgenommen. Bei den torfbildenden Flachmooren verzeichnet nur die Region westliches Mittelland einen Trend zur Aushagerung. Stabile oder ausgeglichene Verhältnisse herrschen in den Regionen westliche Nordalpen, Nord- und Mittelbünden und östliches Mittelland.

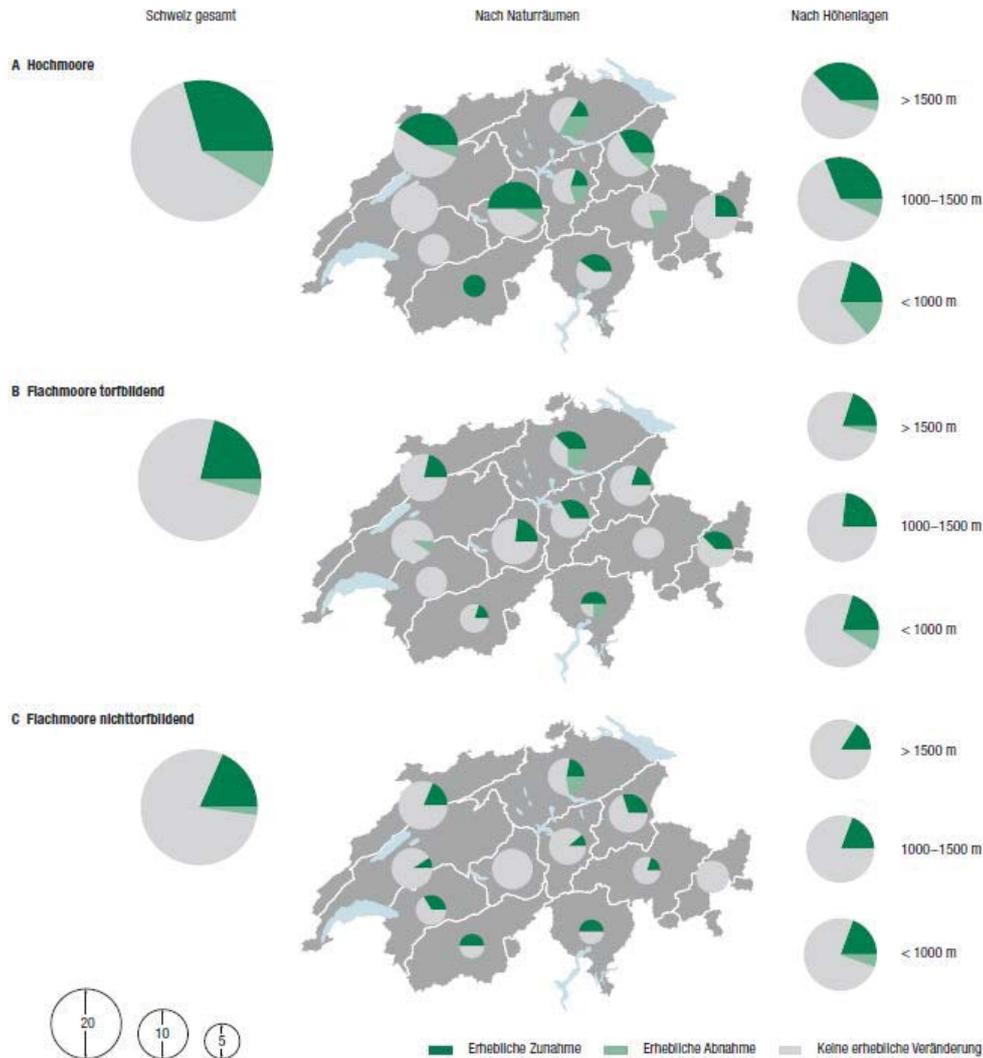


Abb. 11: Entwicklung der Nährstoffverhältnisse. Beobachtungsperiode 1997/2001 bis 2002/06. Dargestellt ist der Anteil Moorobjekte mit erheblichen Veränderungen. Die Grösse der Kreisfläche entspricht der Anzahl untersuchter Moore. (Aus: Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz. (2007) Umwelt-Zustand Nr. 0730. Bundesamt für Umwelt, Bern, S. 41)

### Nutzung heute

Zu denken gibt, dass fast ein Drittel der Hochmoorflächen der Schweiz nach wie vor geschnitten oder gar beweidet wird. Hier zeigen sich Vollzugsdefizite im Moorschutz (Abb. 12).

Saure Kleinseggenriede dienen in erster Linie als Streuwiesen. Diese Nutzung entspricht den Schutzziele. Mehrheitlich gilt dies auch für die

Beweidung der basischen Kleinseggenriede in den Voralpen, wo sich der grösste Teil des Weidelandes mit dieser Vegetation befindet.

Ein erheblicher Teil der Flachmoorfläche liegt brach. Auch dies ist ein Zeichen für einen ungenügenden Vollzug, der zu einer zunehmenden Verbuschung von Flächen mit Moorvegetation führen könnte. Eine Aufgabe der Nutzung von

Flachmooren ist jedoch nicht zwingend problematisch.

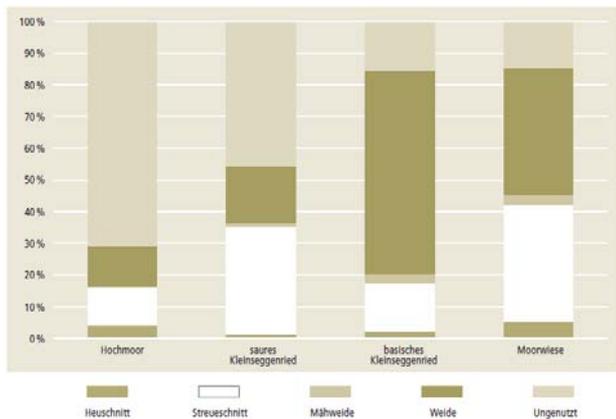


Abb. 12: Nutzung der Moore von nationaler Bedeutung nach Vegetationseinheiten (Quelle: WSL, Erfolgskontrolle Moorschutz, aus: Moore und Moorschutz in der Schweiz, 2002)

Saure Kleinseggenriede besiedeln oft degradierte Hochmoorböden. Wird hier eine Regeneration eingeleitet, ist der Streueschnitt nicht mehr angezeigt.

Aus mehr als zwei Dritteln der Stichprobeobjekte der Erfolgskontrolle Moorschutz wurden jedoch Beeinträchtigungen gemeldet. Von diesen bewerteten die Bearbeiterinnen und Bearbeiter 127 als gravierend (Tab. 1).

Tab. 1: Ursachen schwerwiegender Beeinträchtigungen in Stichprobemooren der Erfolgskontrolle Moorschutz (Quelle: WSL, Erfolgskontrolle Moorschutz, aus: Moore und Moorschutz in der Schweiz, 2002)

Trittschäden	54
Eingriffe in den Wasserhaushalt	22
Nicht angepasste Bewirtschaftung	10
Strassen	5
Andere Eingriffe	36
<b>Total</b>	<b>127</b>

## Geschichte des Biolandbaus in der Schweiz

Im zweiten Teil der Exkursion wird zunächst der Möschi, eine der Gründungsstätten des biologischen Landbaus besucht und anschliessend Anbauflächen und Böden des Weilers Ausser-Wellberg besichtigt.

### Die Wurzeln des Biolandbaus im Emmental

In der Anfangszeit war der Biolandbau noch keine mit Richtlinien relativ gut umschriebene und durch Kontrollen auf den Höfen abgesicherte Landbaumethode im heutigen Sinn. Auch waren die Biobauern damals alles andere als gesellschaftsfähig, die umstellenden Höfe begaben sich Aussenseiterrollen.

### Entstehung des organisch-biologischen Landbaus in der Schweiz

Die meisten Begründer des biologischen Landbaus waren Biologen und Gärtnerinnen, Ärzte und Philosophen. Noch vor Rudolf Steiners wichtigem „Landwirtschaftlichem Kurs“ von 1924 entstanden ab den 1910er Jahren Bewegungen für „natürlichen Landbau“ und „Lebensreform“ in Deutschland und der Schweiz, während der Engländer Albert Howard in Indien dortigen Landbau und besonders Kompostierungsverfahren untersuchte.

Der organisch-biologische Landbau im engeren Sinn entstand ab 1951, als der deutsche Arzt und Hans Peter Rusch und der Vorsitzende der Schweizer „Jungbauernbewegung“, Hans Müller mit seiner Frau Maria, in Möschi/Grosshöchstetten ihre Zusammenarbeit begannen. Während Rusch die Theorie vom „Kreislauf der lebendigen Substanz“ entwickelte, probierte Maria Müller vieles im Bauerngarten auf dem Möschi aus, Hans hielt Vorträge und gemeinsam führten sie zahlreiche Kurse durch.

### Biologie, Not und Bildungsarbeit

In den 1920er Jahren hatte Hans Müller anhand der Karrenfelder des Sigriswiler Grates im Berner Oberland seine Biologie-Dissertation mit dem Titel „Wie kommt das Leben auf den Fels“ erarbeitet. Sein Vater war Alkoholiker, wie viele Emmentaler Bauern in dieser Zeit, was den Sohn veranlasste, einen „Bund abstinenter Bauern und Bäuerinnen“ zu gründen und, gewissermassen als Abhilfe gegen wirtschaftliche und

kulturelle Not, eine „Schweizerische Zentralstelle für bäuerliche Jugend-, Kultur- und Fürsorgearbeit“ aufbaute, aus der dann die Schweizerische Bauernheimatbewegung, auch Jungbauernbewegung genannt, entstand. Am Möschberg wurde eine Versandbibliothek mit 3000 Büchern für die ländliche Bevölkerung betrieben, während vor Ort eine Bauernheimatschule und Hausmutterschule Möschberg aufgebaut wurde. Ein Vorbild war die dänische Volkshochschulbewegung. Zugleich engagierte sich Müller in der damals jungen Bauernpartei (heutige SVP) und er wurde in den Nationalrat gewählt, aber 1935 aufgrund einer zu grossen wirtschaftspolitischen Nähe zu den Sozialdemokraten aus der Partei ausgeschlossen.

### **Gärtnerische, wissenschaftliche und weitere weltanschauliche Grundlagen**

Maria Müller ihrerseits brachte eine Gärtnerinnenausbildung mit und übernahm auf dem Möschberg die Leitung der Hausmutterschule. Es ist belegt, dass sie bereits im ersten Schuljahr im Schulgarten mit Urgesteinsmehl arbeitete, sich somit schon damals an Ideen des biologischen Landbaus orientierte. In vielen Nachtstunden hat sie die gesamte in jener Zeit verfügbare Literatur zu diesem Thema durchgearbeitet, auf Brauchbares gesichtet und in die Sprache ihrer Schülerinnen übersetzt.

Zu dieser verfügbaren Literatur gehörten Schriften von oder über Rudolf Steiner, aber vor allem Autorinnen und Autoren, die sich kritisch mit den umwälzenden Forschungsergebnissen Liebig auseinandergesetzt hatten. Bald kamen die Biologen Raoul und Annie Francé-Harrar, die Bodenkundler Margarethe und Franz Sekera, der Botaniker Sir Albert Howard und ab 1951 dann der Arzt Hans Peter Rusch hinzu.

Die naturwissenschaftliche Sprache der genannten Autoren kam dem Ehepaar Müller entgegen, und die persönliche religiöse Einstellung der beiden liess sie auf Distanz zur Anthroposophie Rudolf Steiners gehen. Im „Gesetz vom Kreislauf der lebenden Substanz“, wie es Rusch formuliert hatte, fand Hans Müller wieder den Anschluss an seine eigene frühere Forschungstätigkeit und eine Antwort auf die Frage, was er nach dem Scheitern seiner politischen

Arbeit gegen neue auf die Bauern zukommende Herausforderungen unternehmen könnte.

### **Betriebsnetz und Vertriebsstruktur**

In der Wahrnehmung der damaligen Bauern war es mehr die Praktikerin Maria Müller, die das Wissen erarbeitete, und der Akademiker Hans Müller, der als Motivator und Multiplikator nach aussen in Erscheinung trat. So haben sich die beiden ergänzt. Aus der Wechselwirkung mit vielen befreundeten Familien aus ihrer Bildungs- und politischen Arbeit entstanden in der Schweiz bis um 1960 herum rund 400 Biobetriebe, zu einer Zeit also, da dieser Begriff im benachbarten Ausland noch weitgehend unbekannt war.

Mitgeholfen dabei hat auch ein sehr früher Aufbau einer Vermarktungsstruktur: 1946 hat Hans Müller die heutige Bio-Gemüse AV-AG in Galmiz gegründet. Damit wurde sichergestellt, dass die Produkte den Weg zu einer interessierten Käuferschaft fanden und somit diese Biolandbau-Pioniere nicht das Schicksal vieler Idealisten erlitten, dass nämlich Ideale ohne wirtschaftliche Grundlage verhungern.

### **Boden, Landbau und Ernährungsqualität**

Zu den inhaltlichen Leitlinien des frühen Biolandbaus in der Schweiz gehörten Leitsätze wie „Nur Leben schafft Leben“ oder „Alles tun, was dem Leben im Boden nützt, alles unterlassen, was dem Leben im Boden schadet“. Den Bauern wurde gesagt: „Du kannst die Fruchtbarkeit nicht im Sack kaufen, du musst sie auf dem Acker selber aufbauen, hegen und pflegen“. Francé, Sekera und Rusch wurden zur Untermauerung dieser Aussagen beigezogen. Die ökologischen Aussagen wurden mit schöpfungstheologischen verbunden: „Du bist verantwortlich für das Stück Schöpfung, das dir anvertraut worden ist. Du bist auch verantwortlich für die Gesundheit derer, die deine Produkte essen“. Und Hans Peter Rusch betonte nicht nur die Bodenbiologie, sondern schrieb auch: „Es ist nicht der Stoff, der das lebende Gebilde macht, der es uns sichtbar macht, sondern das ordnende Prinzip, und das ist nicht stofflicher Art“.

Maria Müller machte ihre Schülerinnen mit dem Satz „Kranksein rentiert nicht. Auf dem Feld nicht, im Stall nicht und in der Familie erst recht

nicht“ auf die Bedeutung einer vollwertigen Ernährung aufmerksam. Gesundheit – nicht nur im Garten, sondern auch im Haus – war ihr zentrales Thema. Schon 1917 hatte sie als junge Ehefrau ihren Mann über das Essen für dieses Thema zu sensibilisieren versucht: „Nachdem ich ihm eine Woche lang sein Lieblingsessen vorgesetzt hatte, bis es ihm zum Hals herausging, konnten wir anfangen, vernünftig über dieses Thema zu reden.“ Sie befasste sich mit den Forschungen der Ernährungspioniere Waerland, Kollath und Bircher und baute deren Erkenntnisse in ihren Lehrplan ein. Sie sagte den Männern, dass nicht allein Speck und Würste stark machen: „Seht euch doch eure Kühe und Pferde oder sogar die Elefanten an, welche Leistungen die als reine Vegetarier nur aus Gras erbringen können!“

So war für die erste Generation Biobauern, die die Schule auf dem Mösberg durchlaufen hat, Landbau und Ernährung eine Einheit.

### **Weitere Entwicklung**

Die ersten ‚Richtlinien‘ der von Hans Müller gegründeten Bio-Gemüse AVG Galmiz für ihre Lieferanten bestanden 1950 in einem einzigen Satz: „Der Produzent verpflichtet sich, keinen Kunstdünger und keine chemischen Spritzmittel anzuwenden“. Bei der Gründung der Bio Suisse 1980 wurden für die Richtlinien bereits 16 Seiten A4 benötigt. Die heutigen Regelwerke benötigen ein Vielfaches.

Eine starke internationale Ausstrahlung hatte der Mösberg in den 1960er und 1970er Jah-

ren. Die biologisch-organischen Anbauverbände in Deutschland und Österreich, Bioland und Bio Austria, haben ihre Wurzeln auf dem Mösberg.

Nach Hans Müllers Tod 1996 wurde der Verein von „Bauernheimatbewegung“ in „Bioforum Mösberg“, 2004 in „Bioforum Schweiz“ umbenannt. Seither wird das Bildungshaus als Seminarhaus mit Bio-Küche geführt, während unabhängig davon das Bioforum durch seine Zeitschrift und mit Veranstaltungen zu den Grundlagen und Potenzialen des Biolandbaus weiterarbeitet.

*Der Text dieses Abschnitts ist eine gekürzte Version eines Vortrags von Werner Scheidegger, der die Biolandbaubewegung auf dem Mösberg von Anfang an miterlebt hat und der die Exkursionsteilnehmer auf dem Mösberg begrüßen wird. Scheidegger war ab 1972 viele Jahre Gründungsvorsitzender der Biofarm-Genossenschaft, einer Erzeugergemeinschaft, war später während 12 Jahren Vorsitzender der Bio Suisse, des Dachverbands aller Schweizer Biobauern, sowie langjähriger Redakteur der Bioforum-Zeitschrift „Kultur und Politik“.*

### **Naturräumliche Bedingungen für die Landwirtschaft zwischen Mösberg und Ausser-Wellberg**

Beide Weiler liegen am Rande des Napfberglandes mit der grössten Erhebung, dem Napf, von 1406 m.ü.M., welcher geologisch grösstenteils zur Oberen Süsswassermolasse gehört (Abb. 13).

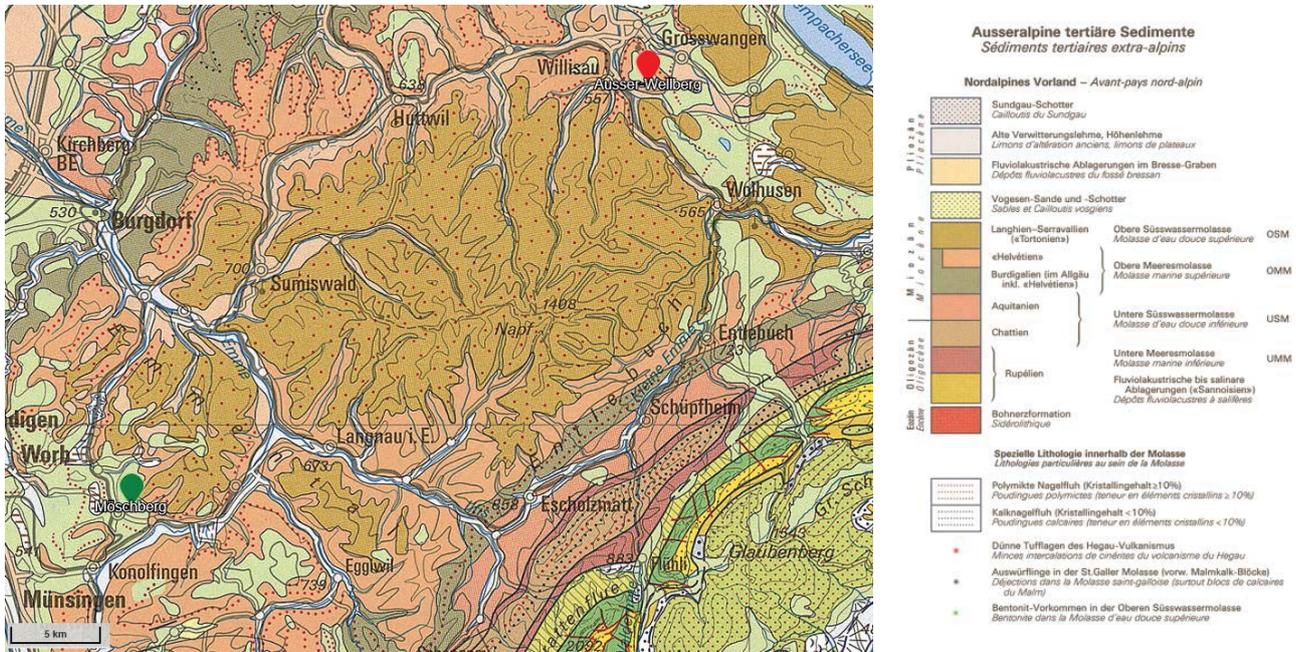


Abb. 13: Geologische Karte des Gebietes zwischen Möschenberg und Ausser-Wellberg. (Quelle: map.geo.admin.ch)

Ausser-Wellberg wurde glazial geprägt und liegt auf einer Moräne des späten Pleistozäns, wobei unweit des Weilers ein Moränenkamm verläuft (Abb. 14).



Abb. 14: Verlauf der Moränenwälle bei Ausser-Wellberg (Quelle: Geocover auf map.geo.admin.ch)

### Klimatische Ausgangslage

Die Klimaeignungskarte für die Landwirtschaft (Bundesamt für Landwirtschaft, 1969, in Bundesamt für Landwirtschaft, 2012) beschreibt, welche Klimaregionen der Schweiz sich für welche landwirtschaftliche Nutzung eignen.

### Klimatische Ausgangslage Möschenberg

Der Weiler Möschenberg liegt auf 850 m.ü.M. in der Gemeinde Grosshöchstetten (BE) in der Klimaregion D1-4: «Dauergrünland und Ackerkulturen, mit Einschränkungen» welche wie folgt beschrieben wird: «Naturwiesen vorherrschend. Ackerbau und Kunstfutterbau (beschränkte Auswahl) auf begrenzten Flächen, da häufig wenig günstige Voraussetzungen für Feldarbeit (Bodenbearbeitung, Saat, Ernte). Weiden.» (Abb.15).

### Klimatische Ausgangslage Ausser-Wellberg

Ausser-Wellberg liegt auf 650 m.ü.M. in der Gemeinde Willisau (LU) in der Klimaregion C1-4: «Futterbau und Ackerbau mit Einschränkungen» welche wie folgt beschrieben wird: «Gute Bedingungen für den Kunstfutterbau und den Ackerbau, sofern die Arten und Sorten der Vegetationsperiode angepasst sind. Grosse Bedeutung der Naturwiesen. Winter-Zwischenfruchtbau noch möglich. Spezialkulturen wenig begünstigt: Sehr beschränkte Möglichkeiten auf bevorzugten Flächen.» (Abb. 15).

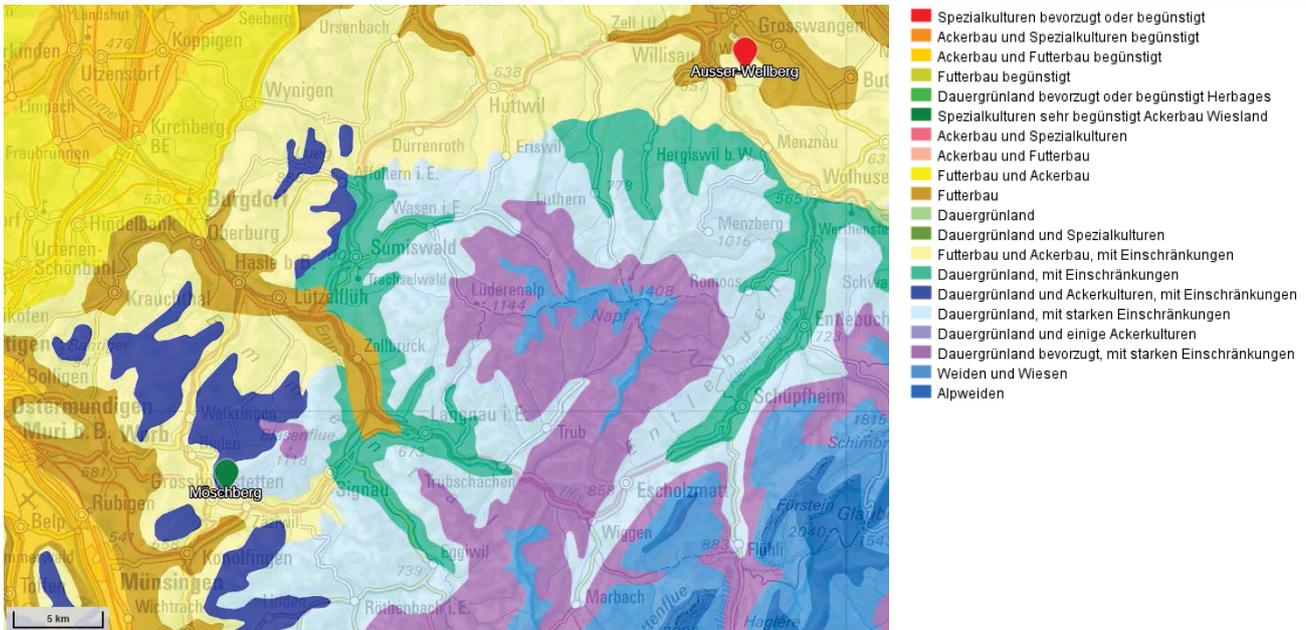


Abb. 15: Klimaeignungskarte für die Landwirtschaft für die Region zwischen Möschenberg und Ausser-Wellberg (Quelle: map.geo.admin.ch)

### Eine kleine Hof-Geschichte des Hofes Wellberg in Willisau (Kanton Luzern)

#### Naturgeschichte

Das Gebiet gehört ökologisch zur montanen Stufe. Das heutige Relief wurde in den Napf-Schuttfächer eingekerbt, den größten des Molassebeckens, welcher sich v.a. zu Zeit der oberen Süsswasser- und Meeresmolasse während etwa 20 Millionen Jahren bildete. Es entstand wie im Emmental vorwiegend mächtiger Nagelfluh, aber auch Silt- und Mergelsandsteine sowie reine Mergel kommen vor. An vielen Stufen, Steinbrüchen und Gewässern dieser stark gekerbten Landschaft ist die Molasse aufgeschlossen.

Während der 1000-1400 m hohe zentrale Rücken des Napfberglandes in der Würmzeit Nunataker blieb, zog sich der Gletscher vor rund 15'000 Jahren vom Wellberg zurück, wie auch aus dem benachbarten Emmental. Im kleinräumig gegliederten Relief bildeten sich viele, meist rasch verlandende, Seen zwischen den Moränen und Rinnen. Bis vor 13'000 Jahren entwickelten sich Böden unter Gräsern und ersten Blütenpflanzen, die Besiedlung durch Weiden, Sanddorn, Wachholder, Zwergbirken und ersten Kiefern erfolgte in den folgenden 2000 Jahren, bevor etwa 10'000 vor heute Hasel, Eschen, Ulmen, Eichen, Linden und Ahorn bis auf 1600 m.Ü.M. hochkamen und überwiegend waldgeprägte Böden entstanden.

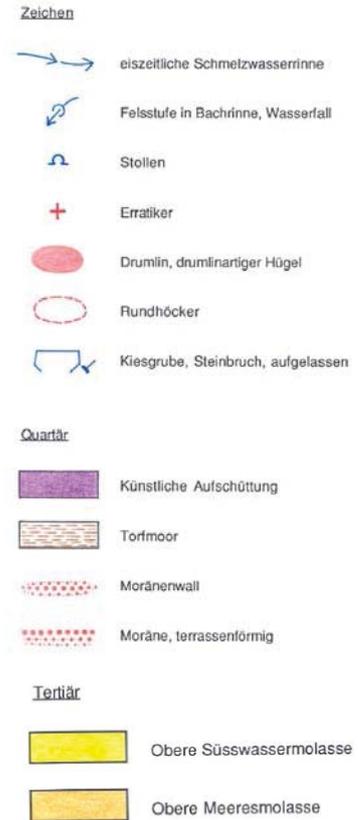
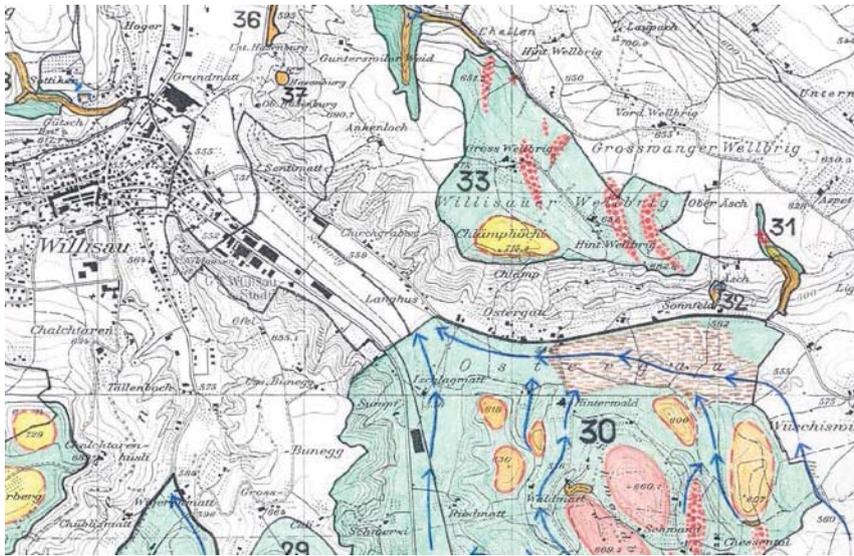


Abb. 16: Geologie rund um den Weiler Hinterer Wellbrig

Der hier besuchte Weiler ist auf der Karte in Abb.16 als „Hint. Wellbrig“ angeschrieben und liegt direkt rechts neben der zentralen gelben Fläche, die als „Chlämphöchi“ angeschrieben ist (markierte Zone 33). Die Chlämphöchi am oberen Ende der Hofgemarkung ist eine markante eisüberprägte OSM-Molassekuppe (Risszeitlicher Rundhöcker). Unterhalb des Hofes finden sich mehrere Moränenwälle/Wallreste verschiedener Rückzugshalte des Rottal-Arms des Reuss-Gletschers. Nach Süden grenzt der Hof an den Steilhang zu einer der markantesten Schmelzwasserrinnen der Schweiz, Abschnitt „Ostergau“, u.a. mit Torfböden.

Der heutige Jahresniederschlag beträgt am Wellberg durchschnittlich 1000-1100 mm, dennoch kann es zu Sommertrockenheit kommen, sodass sie eine jahrhundertealte Tradition der Bewässerung entwickelte, die auch heute noch, teilweise erneuert, wichtig ist (Abb. 17).

### Landwirtschaft

Der erste Ackerbau ist durch Pollenanalyse ums Jahr 4000 v.Chr. nachgewiesen. Aus der Zeit 2000 v.Chr. sind Kastanien, Walnuss und Roggen Kulturzeiger. Etwa ums Jahr 1600 n.Chr.

wurde dann die Landwirtschaft in dieser Region stark intensiviert.

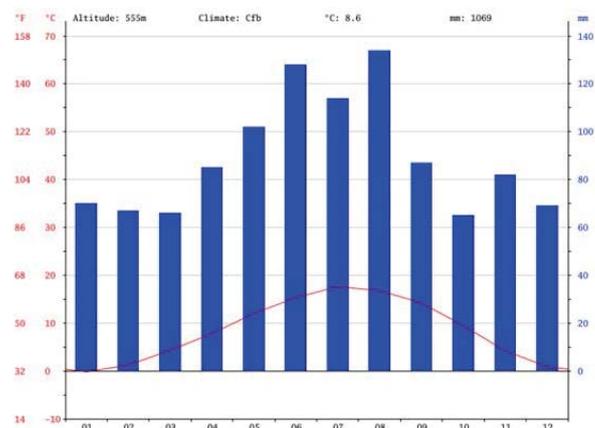


Abb. 17: Klimadiagramm für Willisau-Ort (Quelle: <https://de.climate-data.org/europa/schweiz/luzernwillisau-153715/#climate-graph>)

Im ersten und zweiten Weltkrieg baute man Torf zum Heizen ab, wo er zu holen war. Im angrenzenden Ostergau wurde das Grundwasser bis zu 6 m abgepumpt, 1945 arbeiteten 300 Leute am Jahresabbau von 500'000 Tonnen Torf. Nach dem Krieg folgte Tonabbau für eine Ziegelei, bevor ab 1965 Feuchtgebiete mit ihren

bedeutenden Vorkommen von Amphibien, Vögeln und Feuchtgebietspflanzen unter Naturschutz gestellt wurden.

### **Geschichte des Hofes**

Im Jahr 1642 kam ein „Schüler“, so heissen die Einwohner des zu Willisau gehörende Weilers Schülen auf den Well(en)berg, und baute sich auf 620–720m über Meer eine neue Existenz auf. Da er sehr grossgewachsen war, nannte man ihn den „langen Peter“. Der Name Peter wurde so zum Nachnamen dieser Familie.

Ende des 18. Jahrhunderts bewirtschafteten drei Brüder den Hof, einer der Brüder war mein (Alois Peters) Urgrossvater. Weil er, Johannes Peter, um die Jahrhundertwende schon 8 oder 9 Kinder hatte, wurde der Hof, der 60 Hektaren umfasste, aufgeteilt. Zwei Drittel des Landes gehörten weiterhin zum Ursprungshof, ein Drittel des Landes (der östliche Teil) ging in den Besitz von Johannes Peter über, der dort einen neuen Hof aufbaute (1813 steht als Jahrzahl auf dem heutigen Bauernhaus).

Die nächste Generation bestand aus 16 Nachkommen. Einer davon war mein Urgrossvater. Dieser heiratete als einziger und dies erst mit 62 Jahren. Seine 48jährige Frau gebar ihm noch zwei Kinder, meinen Grossvater und meine Gross tante, die später Pfarrköchin in der benachbarten Gemeinde Grosswangen wurde. Die Grosseltern bekamen dann anfangs des 20. Jahrhunderts 8 Kinder (3 Knaben und 5 Mädchen). Nach dem Tode des Grossvaters 1936 übernahmen mein Vater und sein jüngerer Bruder den Hof.

1948 heirateten mein Vater und mein Onkel. Mein Vater zahlte den Onkel aus, der dann auf dem Hof seiner Frau eine neue Existenz aufbaute.

In den 50er Jahren wuchs dann meine Generation heran, 6 Kinder. Auf dem Hof lebten damals noch ein Pflegekind und vorübergehend ein deutsches Flüchtlingskind, teilweise zusammen mit seiner Mutter und einer Schwester.

Zur Hofgemeinschaft gehörten noch ein Karrer (Fuhrmann) und seine Frau, die als Magd arbeitete, sowie eine leicht behinderte Frau, Berta, als Küchenhilfe. Später stellten Geldknappheit

(Folgen der Auszahlung des Onkels) und fehlende Arbeitskräfte die Familie vor neue Herausforderungen.

### **Zeit und Grund der Umstellung auf Biolandbau**

1959 besuchte meine Mutter Paula Peter einen Gartenbaukurs auf dem Mösberg. Begeistert von der Vorstellung gesunder Pflanzen, Tiere und Menschen und der Möglichkeit, Kosten zu senken (keine synthetischen Dünger und Pflanzenschutzmittel), begann sie gleich ihre neu gewonnenen Erkenntnisse im Hausgarten anzuwenden. Nach den ersten Erfolgen waren die ganze Familie und gute Bekannte dafür, den ganzen Hof auf Biolandbau umzustellen (1960). 1962 wurden meine Eltern Genossenschafter und Lieferanten der Anbau- und Verwertungsgenossenschaft AVG, die Dr. Hans Müller 1946 gegründet hatte, und somit anerkannte Biobauern.

1958 wurde das Melken mechanisiert und 1964 die Futtergewinnung (Kauf eines Traktors mit Ladewagen). Wir beschäftigten damals (nur) noch einen Praktikanten.

1964 beendete ich die obligatorische Schulzeit und 1969/70 besuchte ich die landwirtschaftliche Schule in Willisau, machte die Berufsprüfung und besuchte anschliessend den Betriebsleiterkurs. Weil mein Vater sein Leben lang von starken Rückenproblemen geplagt wurde, habe ich seit meiner Kindheit stets viel auf dem Hof mitgearbeitet. 1979 kaufte ich dann den Hof. Mein Vater war damals 79 und ich 29.

1985 heiratete ich Wendy Hodel aus Luzern und in den Jahren 1986–1990 kamen unsere 5 Kinder, zwei Knaben und drei Mädchen, zur Welt. Einen Praktikanten beschäftigten wir nicht mehr.

Anfangs 2016 (Beginn der offiziellen Pensionierung) übernahmen unsere zwei Söhne gemeinsam den Hof. Beide haben ein abgeschlossenes Studium hinter sich (Geografie und Umwelttechnik). Sie hoffen, Landwirtschaft mit Teilzeitarbeit in ihren Berufsfeldern verbinden zu können. Ich arbeite noch gerne auf dem Hof mit.

*Text verfasst von Alois Peter, Altbauer und Vater der beiden heutigen Besitzer Gabriel und Michael Peter.*

## Betriebsspiegel

Gesamtfläche rund 24 Hektar, davon 10 ha Talzone und 14 ha Hügelzone; 3 ha Wald

Tierhaltung: 19 Mutterkühe mit einem Stier und Kälbern, 14 Engadiner Mutterschafe, 2 Freilaufschweine, 2 Pensionspferde, 8 Hühner, Bienen, einen Hofhund und Katzen

## Ackerbau

180 Aren	Urdinkel
100 Aren	Öllein
100 Aren	Ackerbohnen/Hafer Mischkultur
100 Aren	Senf
80 Aren	Emmer
10 Aren	Kartoffeln
5 Aren	Gemüse

97 Hochstammbäume: Äpfel, Birnen, Zwetschgen, Kirschen, Quitten, Mirabellen, Baumnüsse.

Ökoflächen: Diverse Hecken mit Krautsaum Q1 und Q2, ca. 1,5 ha Ökowieden, 1 Teich und 1 Weiher, extensive Weiden für die Schafe.

*Quellen dieses Abschnitts: Familie Peter; Bundesamt für Landwirtschaft 2012: Minimales Geodatenmodell, 77.1 Klimaeignungskarte für die Landwirtschaft; Bruno Bieri (Geologe und ehem. Lehrer in Willisau); Mathias Kunz, Naturschutzverein Willisau (2007): Die Weiherlandschaft im Ostergau: „Der Versuch eines Überblicks; Andreas Vogel 1991: Geologischer Überblick der Gemeinde Willisau-Land, mit Landeskarte 1:25'000, Blatt 1149.*

## Literatur

BFS (2010d): Statistisches Lexikon der Schweiz. Biologischer Landbau: Betriebe, Betriebsgrösse. Periode 1997-2009. Neuchâtel.

Bundesamt für Landwirtschaft BLW (Hrsg.): Minimales Geodatenmodell. 77.1 Klimaeignungskarte für die Landwirtschaft. Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD, Fachbereich Agrarinformationssystem, Bern.

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (Hrsg.), 2002: Moore und Moorschutz in der Schweiz

BUWAL / OFEFP, 1992-2002: Handbuch Moorschutz in der Schweiz./ Manuel conservation des marais en Suisse. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft/ Berne, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 2 Ordner / 2 volumes.

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) und BLW (2000): Die Schweizer Landwirtschaft auf dem Weg zur Nachhaltigkeit. Bern.

Früh, J.; Schröter, C., 1904: Die Moore der Schweiz – mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. Beitr. z. Geol. d. Schweiz, Geotechn. Ser. 751 S.

Grünig, A.; Vetterli, L.; Wildi, O., 1986: Die Hoch- und Übergangsmoore der Schweiz./ Les hauts-marais et marais de transition de Suisse. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL / Birmensdorf, Inst. Fédéral de recherches WSL. Bericht 281 / Rapport 281, 62S./ 58 pp.

Klaus G. (Red.) 2007: Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz. Umwelt-Zustand Nr. 0730. Bundesamt für Umwelt, Bern. 97 S.

Marti-Moser, Alexandra (2009): Bio – doch besser? Tabula, Heft 3, September 2009, 4-9.

## G2: Bodenforschung an der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Agroscope

Volker Prasuhn, Peter Weisskopf; Thomas Bucheli, Thomas Keller, Ernst Spiess, Marcel van der Heijden, Simon Mangold, Jochen Mayer, Peter Schwab, Felix Wettstein, Franco Widmer, Raphael Wittwer

Agroscope Standort Reckenholz, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich

### Agroscope und landwirtschaftliche Forschung

Agroscope ist die landwirtschaftliche Forschungsanstalt der Bundesverwaltung und dem Bundesamt für Landwirtschaft angegliedert.

Gemäß Landwirtschaftsgesetz unterstützt die Bundesverwaltung die Landwirtschaft in ihrem Bestreben, rationell und nachhaltig zu produzieren, indem sie Wissen erarbeitet und weitergibt. Zu diesem Zweck forscht Agroscope entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Land- und Ernährungswirtschaft. Ziele sind eine wettbewerbsfähige und multifunktionale Landwirtschaft, hochwertige Lebensmittel für eine gesunde Ernährung sowie eine intakte Umwelt. Vier Aufgaben stehen im Vordergrund:

- Forschung und Entwicklung im Agrar-, Ernährungs- und Umweltbereich.
- Bereitstellen von Entscheidungsgrundlagen für die Behörden.
- Vollzugsaufgaben im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben im Dienste der Landwirtschaft und der Allgemeinheit.
- Wissensaustausch und Technologietransfer mit der Praxis, der Beratung, der Wirtschaft, der Wissenschaft, der Lehre und der Öffentlichkeit.

Agroscope arbeitet an mehreren Standorten und hat 10 Forschungsbereiche, die jeweils mehrere Forschungsgruppen umfassen.

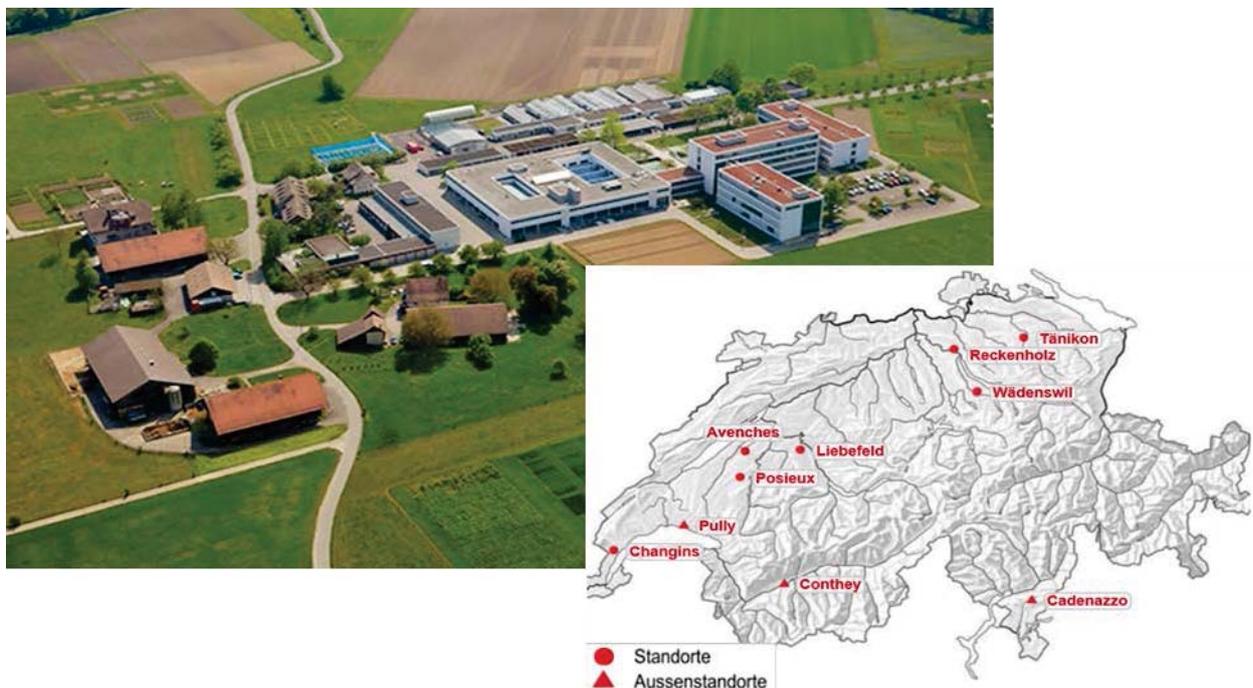


Abb. 1: Berner Agroscope Standort Reckenholz im Norden von Zürich

## **Bodenkundliche Forschung an der Agroscope**

Eine zentrale Bedeutung kommt dem besseren Verständnis der Bodenprozesse sowie den Möglichkeiten, sie zu beeinflussen, zu. Dabei geht es um die Erfassung der aktuellen Belastungssituation der Schweizer Böden, das Wissen um deren Auswirkungen sowie um die Erarbeitung von Empfehlungen für eine nachhaltige, standortgerechte Bodenbewirtschaftung und den Schutz der Bodenfunktionen.

Die wichtigsten Ziele der bodenkundlichen Forschung an Agroscope sind:

1. Wissen zu grundlegenden physikalischen, chemischen und biologischen Bodenprozessen, zu deren Interaktionen, sowie zu Bodenfunktionen und Ökosystemleistungen generieren. Dabei werden Wechselwirkungen und Abhängigkeiten mit Standorteigenschaften, Klima und landwirtschaftlicher Bewirtschaftung berücksichtigt.
2. Böden in Bezug auf ihre Qualität bewerten und Belastungsgrenzen im Zusammenhang mit externen Einflüssen aufzeigen.
3. Grundlagen für eine verbesserte Bodennutzung und -bewirtschaftung erarbeiten, und dabei landwirtschaftliche Produktion, Ressourceneffizienz und ökologische Dienstleistungen gegeneinander abwägen.
4. Informationen für die Beurteilung der langfristigen Entwicklung von Produktions- und Ökosystemfunktionen bereitstellen.
5. Bodeninformationen nutzbar machen.

Die bodenkundliche Forschung von Agroscope

1. versucht, die vorhandenen Kompetenzen interdisziplinär zu koordinie-

ren und für die Bearbeitung von übergreifenden Fragen im landwirtschaftlichen Kontext zu bündeln, um Grundlagen für sinnvolle Kundenentscheidungen auszuarbeiten; Kunden sind eidgenössische und kantonale Behörden, aber auch Landwirte, landwirtschaftliche Beratung, Verbände, Bodenschutzfachstellen und Marktakteure. Daneben gehören auch die nationale und internationale Forschungsgemeinschaft, Ausbildungsinstitutionen verschiedener Ebenen sowie die Öffentlichkeit zu Bezüglern von Forschungsergebnissen;

2. nutzt das in Agroscope vorhandene breite Wissen über agronomische Aspekte der Bodennutzung und -bewirtschaftung, um für die Kunden anwendbares wirkungsorientiertes Wissen zu generieren und allenfalls in Forschungspartnerschaften einzubringen.
3. kann dank der vorhandenen Infrastrukturen, Versuchsflächen und technischen Ausrüstungen, sowie dank der Organisations- und Finanzierungsmöglichkeiten experimentelle Arbeiten im Feld-, Gewächshaus- und Labormaßstab durchführen, auch in Form langfristiger Versuche und Beobachtungsreihen.

Die bodenkundliche Forschung von Agroscope liefert ihre Ergebnisse in Form von auf die Kundenwünsche bezogenen Konzepten und Entscheidungsgrundlagen sowie als konkrete Lösungsansätze für die nachhaltige Nutzung und den Schutz landwirtschaftlicher Böden. Die Informationen werden so zur Verfügung gestellt, dass sie auf der Ebene der Leistungsbezüger optimale Wirkung erzielen können.

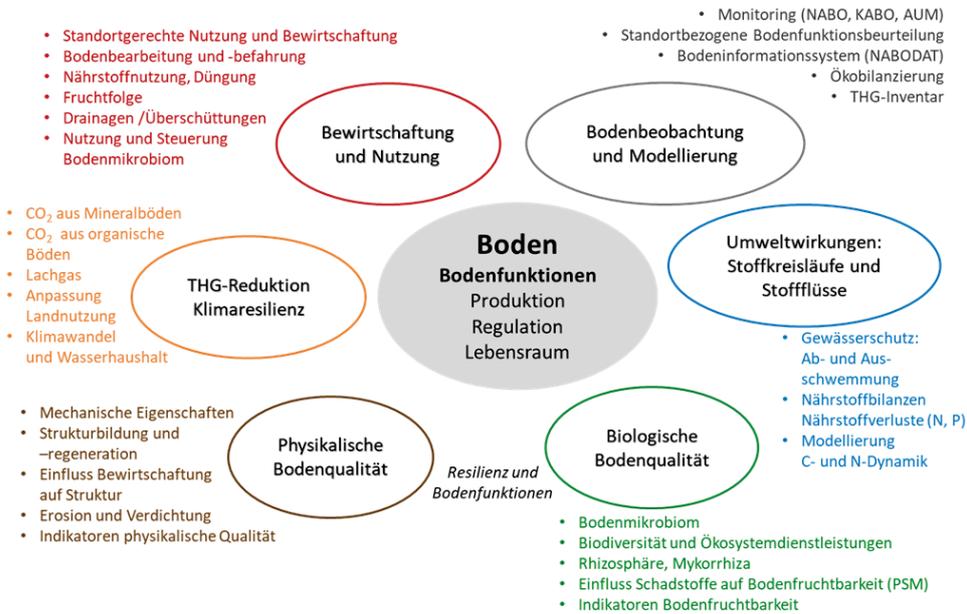


Abb. 2: Die bearbeiteten Themen lassen sich in sechs Themenfelder gruppieren. Verschiedene Aspekte (z.B. Ökobilanzierung, THG-Inventar, Lachgas-Emission) sind nicht bodenzentriert, berücksichtigen aber Bodenwissen.

BLW Thema "Boden": <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/umwelt/boden.html>

Bodenforschung Agroscope: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe.html>

## Exkursionspunkt 1: Lysimeteranlage mit 72 natürlich strukturierten Böden

### Volker Prasuhn, Ernst Spiess

Am Standort Zürich-Reckenholz wurde 2008 eine neue Groß-Lysimeteranlage gebaut. Sie umfasst 72 Lysimetergefäße mit jeweils 1 m<sup>2</sup> Oberfläche und 150 cm Tiefe. Die Anlage ist unterkellert (Abb. 3). Die Böden wurden alle monolithisch entnommen. Zur Gewinnung exakter Bodenmonolithe wurden das speziell entwickelte und international bewährte Verfahren der Umwelt-Geräte-Technik GmbH (UGT) eingesetzt (Prasuhn et al. 2009). Die Entnahme von Bodensäulen mit ungestörter Bodenstruktur wird dabei ohne Einsatz schwerer Gewinnungstechnik ermöglicht. Sie erfolgte an drei verschiedenen Standorten mit typischen Ackerböden der Schweiz (48 Monolithe in Grafenried: sandig-lehmige Braunerde über Grundmoräne (Abb. 4); 12 Monolithe in Schafisheim: lehmige Parabraunerde über Schotter (Abb. 5); 12 Monolithe in Zürich-Reckenholz: lehmig-schluffige, pseudovergleyte Braunerde über Grundmoräne (Abb. 6)). Noch vor Ort wurden die gewonnenen Monolithe basal verfiltert, so dass die reale Bodentiefe 135 cm beträgt. Zum Einsatz kam ein dreistufiger

Filteraufbau in den Korngrößen 0,1-0,5 mm; 0,71-1,25 mm; 3,15-5,6 mm. Das zertifizierte Quarzsand-Filtermaterial ist inert und durch Glühen und Waschen so gereinigt, dass die Sickerwässer in ihrer stofflichen Zusammensetzung nicht verfälscht werden.

Die Lysimeter-Instrumentierung ist entsprechend der Aufgabenstellung in zwei technisch unterschiedliche Ausstattungsniveaus ausgeführt. Die 60 nur für die Sickerwassererfassung vorgesehenen Lysimeter sind mit 100 ml-Kippwaagen ausgestattet und registrieren die Sickerwassermenge. Gleichzeitig wird eine Teilprobe für die chemischen Wasseranalysen in einer separaten Probenflasche gewonnen.

Die 12 wägbaren Lysimeter, deren Monolithe alle drei Standorte repräsentieren, sind zusätzlich mit kompletter bodenhydrologischer Messtechnik ausgestattet, um alle Parameter des Wasser- und Stoffhaushalts zu erfassen. In vier Messebenen (10, 30, 60 und 90 cm) werden mit zweifacher Wiederholung die Bodensaugspannung (Tensiometer) sowie die Bodenfeuchte (FDR-Sonden) und Bodentemperatur kontinuierlich erfasst und alle fünf Minuten aufgezeichnet. Eine Saugkerzenanlage ermöglicht für jedes Lysimeter eine tiefen- und

tensionsabhängige Perkolatentnahme. Die Sickerwasserrate wird wiederum mittels Kippwaagen realisiert. Niederschlag und Evapotranspiration werden durch eine hochpräzise Wägung ermittelt. Die Wasserbilanz wird dadurch messtechnisch geschlossen darstellbar.

Alle Lysimeter werden für agronomische Versuche genutzt. Im Vordergrund stehen Untersuchungen zum Sickerwassertransport (Tracerversuche) und zur Nitratauswaschung bei verschiedenen Anbausystemen, Bodenbearbeitungsverfahren, Düngungsvarianten und Bodentypen. Die meisten Versuche werden in dreifacher Wiederholung durchgeführt.



Abb. 3: Lysimeteranlage Reckenholz ober- und unterirdisch.

Laufende oder abgeschlossene Versuche (Germann und Prasuhn 2018; Oberholzer et al. 2017; Spiess et al. 2015 und 2017):

- Einfluss von Höhe und Art der N-Düngung (0, 50, 100, 200% von N-Normdüngung, Cultan-Düngung)

- Vergleich Biolandbau und Integrierte Produktion (IP)
- Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Pflug - Mulchsaat)
- Einfluss des Umbruchtermins von Zwischenkulturen (Herbst - Frühjahr)
- Einfluss des Umbruchtermins verschiedener Klee-graswiesen (Herbst - Frühjahr)
- Einfluss verschiedener Saattermine bei unterschiedlichen Zwischenkulturen
- Risiken von Gülledüngung im Winter
- Recyclingdünger im Biolandbau
- Grasreferenzverdunstung

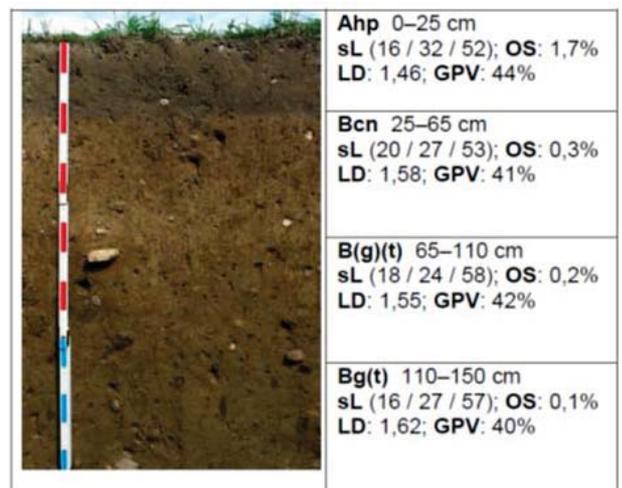


Abb. 4: Braunerde (Grafenried BE), schwach pseudogleyig, tonhüllig; skeletthaltig, sandiger Lehm, sehr tiefgründig.

cn = Mangan- und Eisenknötchen  
(g) = schwache Rostflecken  
(t) = schwache Tonanreicherung  
g = rostfleckig, wechsellässige Zone

	<b>Ahp</b> 0–27 cm sL (18 / 28 / 54); OS: 2,0% LD: 1,50; GPV: 43%
	<b>BE</b> 27–60 cm L (22 / 31 / 47); OS: 0,7% LD: 1,53; GPV: 43%
	<b>Bit</b> 60–85 cm L (26 / 19 / 55); OS: 0,6% LD: 1,47; GPV: 45%
	<b>It,cn</b> 85–110/125 cm L (28 / 23 / 49); OS: 0,4%
	<b>BC/C</b> 110/125–150 cm L (24 / 21 / 55)

Abb. 5: Lysimeteranlage Abb. 3: Parabraunerde (Schafisheim AG); schwach skeletthaltig über skelett-reich, sandiger Lehm über Lehm, tiefgründig.

E = Auswaschungshorizont

I = Einwaschungshorizont

t = Tonanreicherung

cn = Mangan- und Eisenknötchen

	<b>Ahp</b> 0–25 cm L (25 / 50 / 25); OS: 2,5% LD: 1,36; GPV: 48%
	<b>ABcn</b> 25–32 cm IU (24 / 54 / 22); OS: 1,9%
	<b>Bcn(g)(x)</b> 32–65 cm tL (31 / 50 / 19); OS: 0,7% LD: 1,44; GPV: 47%
	<b>Bg</b> 65–85 cm tL (33 / 46 / 21); OS: 0,6%
	<b>BCg</b> 85–105 cm IU (19 / 61 / 20); OS: 0,2% LD: 1,39; GPV: 49%
	<b>Cg</b> 105/–150 cm IU (18 / 65 / 17) LD: 1,61; GPV: 41%

Abb. 6: Lysimeteranlage Abb. 4: Braunerde (Reckenholz ZH), pseudogleyig; skelettarm, Lehm über tonigem Lehm, tiefgründig

AB = Übergangshorizont

cn = Mangan- und Eisenknötchen

(g) = schwache Rostflecken

(x) = kompakte, dichte Zone

g = rostfleckige, wechsellasse Zone

BC = Übergangshorizont

## Literatur

www.lysimeter.ch

Germann, P., Prasuhn, V. (2018): Viscous flow approach to rapid infiltration and drainage in a weighing lysimeter. - Vadose Zone J. 17:170020. doi:10.2136/vzj2017.01.0020

Oberholzer, S., Prasuhn, V., Hund, A. (2017): Crop Water Use under Swiss Pedoclimatic Conditions – Evaluation of Lysimeter Data Covering a Seven-Year Period. - Field Crops Research 211, 48-65.

Prasuhn V., Spiess E. und Seifarth M. (2009): Die neue Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz. 13. Gumpensteiner Lysimeter-tagung, 11-16.

Spiess, E., Prasuhn, V., Humphrys, C. (2015): Einfluss des Umbruchtermins einer Zwischenfrucht auf die Nitratauswaschung. 16. Gumpensteiner Lysimeter-tagung, 171-174.

Spiess, E., Prasuhn, V., Humphrys, C. (2017): Einfluss des Umbruchtermins und des Alters einer Ansaatwiese auf die Nitratauswaschung. 17. Gumpensteiner Lysimeter-tagung, 87 – 92.

## Exkursionspunkt 2: Zurich Organic Fertilisation Experiment (ZOFE)

### Jochen Mayer

Das Zurich Organic Fertilisation Experiment (ZOFE) ist mit 70 Jahren der älteste Langzeitversuch der Schweiz. Es liegt direkt auf dem Gelände des Agroscope Standortes Zürich-Reckenholz (47°25'36" N, 8°31'08" E, Abb. 7). Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 9.4°C, der mittlere Jahresniederschlag 1031 mm. Der Boden ist eine Parabraunerde mit 59% Sand, 23% Schluff und 18% Ton, 0.9% organischem Kohlenstoff und einer Bodendichte von 1.6 t m<sup>-3</sup> im Pflughorizont.

Das Experiment wurde 1949 als „Humusdüngungsversuch“ gestartet und ist ein klassisches Düngungsexperiment. Es umfasst 12 Verfahren, die in einem systematischen Block-Design in fünf Wiederholungen (Parzellen 5 x 7 m) angelegt wurden:

1. Ungedüngte Kontrolle
2. Stallmist (Applikation 2 jährlich, 5000 kg organische Substanz ha<sup>-1</sup>)
3. Getrockneter Klärschlamm (früher Agrosan) (Applikation jährlich 2500 kg organische Substanz ha<sup>-1</sup>)
4. Getrockneter Kompost (früher Humotin) (Applikation jährlich 2500 kg org. Substanz ha<sup>-1</sup>)
5. 50% PK + 100% N
6. Stallmist wie 2 + 100% PK
7. Klärschlamm wie 3 + 100% PK
8. Kompost wie 4 + 100% PK
9. Torfmull + 100% PK (Applikation alle 4 Jahre 10'000 kg org. Substanz ha<sup>-1</sup>)
10. 100% PK
11. 100% NPK
12. 100% NPK + 60 kg Mg (Granumag)

Die Fruchtfolge umfasst acht Felder: 1. Klee-gras, 2. Klee-gras, 3. Winterweizen (Zwischenfütter), 4. Mais, 5. Kartoffeln, 6. Winterweizen (Zwischenfütter), 7. Mais, 8. Sommergerste. Vor Versuchsstart wurde die Fläche als Dauergrünland genutzt.

Der Versuch wird nach den Kriterien der integrierten konventionellen Landwirtschaft bewirtschaftet.



Abb. 7: Das Zurich Organic Fertilisation Experiment am Standort Zürich-Reckenholz

Der ZOFE dient heute als Forschungsplattform für unterschiedlichste Fragestellungen. In den letzten Jahren wurden Studien zu verschiedenen Themen durchgeführt:

- Entwicklung der Erträge und C-Vorräte im Boden (Oberholzer et al. 2014)
- Experimentelle Variabilität der <sup>14</sup>C Gehalte im Boden – Implikationen für die Schätzung des C-Umsatzes (Leifeld und Mayer 2015)
- Effekt von organischer Düngung auf organische P-Fractionen (Annaheim et al. 2015)
- Effekt der von Gründüngern und organischer Dünger auf die Zn und Cd Aufnahme von Weizen (Grüter et al. 2017)
- Der Einfluss der Düngungsintensität auf die vertikale Verteilung der Wurzelbiomasse von Weizen und Mais (Hirte et al. 2018a)
- Netto-Primärproduktion und unterirdische C-Inputs von Weizen und Mais (Hirte et al. 2018b)
- Modellierung der C-Dynamik, Kalibrierung RothC-Modell (Cagnarini et al. 2019).



Abb. 8:  $^{13}\text{CO}_2$ -Labelling von Mais und Winterweizen zur Bestimmung der C-Rhizodeposition im ZOFÉ.

## Literatur

- Annaheim, K.E., Doolette, A.L., Smernik, R.J., Mayer, J., Oberson, A., Frossard, E., Bünemann, E.K., 2015. Long-term addition of organic fertilizers has little effect on soil organic phosphorus as characterized by  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy and enzyme additions. *Geoderma* 257-258, 67-77.
- Cagnarini, C., Renella G, Mayer, J., Hirte, J., Schulin, R., Costerousse, B., Della Marta, A., Orlandini, S., L. Menichetti, C., 2019. Multi-objective calibration of RothC using measured carbon stocks and auxiliary data of a long-term experiment in Switzerland. *European Journal of Soil Science*, in press.
- Grüter, R., Costerousse, B., Bertoni, A., Mayer, J., Thonar, C., Frossard, E., Schulin, R., Tandy, S., 2017. Green manure and long-term fertilization effects on soil zinc and cadmium availability and uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) at different growth stages. *Science of the Total Environment* 599-600, 1330-1343.
- Hirte, J., Leifeld, J., Abiven, S., Mayer, J., 2018a. Maize and wheat root biomass, vertical distribution, and size class as affected by fertilization intensity in two long-term field trials. *Field Crops Research* 216, 197-208.
- Hirte, J., Leifeld, J., Abiven, S., Oberholzer, H.R., Mayer, J., 2018b. Below ground carbon inputs to soil via root biomass and rhizodeposition of field-grown maize and wheat at harvest are independent of net primary productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 265, 556-566.
- Leifeld, J., Mayer, J., 2015.  $^{14}\text{C}$  in cropland soil of a long-term field trial - experimental variability and implications for estimating carbon turnover. *SOIL* 1, 537-542.
- Oberholzer, H.R., Leifeld, J., Mayer, J., 2014. Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich Organic Fertilization Experiment, following land-use change from grassland to cropland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177, 696-704.

### Exkursionspunkt 3: Langzeitfeldversuch „Regeneration Bodenstruktur nach Bodenverdichtung“ (Soil structure observatory, SSO)

Thomas Keller, Peter Weisskopf

Die steigenden Maschinengewichte in der Landwirtschaft erhöhen das Risiko für Bodenverdichtung. Während der Einfluss von landwirtschaftlichen Maschinen auf Bodeneigenschaften relativ ausführlich untersucht wurde, ist noch wenig bekannt, wie schnell sich die Bodenstruktur von einer Verdichtung erholt und welche Mechanismen diese Regeneration wie beeinflussen.

Der **Langzeitfeldversuch „Regeneration Bodenstruktur nach Bodenverdichtung“** (Soil structure observatory, SSO) wurde 2014 am Standort Agroscope Zürich-Reckenholz auf einer tiefgründigen lehmigen Braunerde (Abb. 9) gestartet und soll u.a. folgende Fragestellungen beantworten: Wie schnell erholen sich Bodenfunktionen nach einer Verdichtung? Welche Mechanismen beeinflussen die Erholung? Welche Bewirtschaftungsmassnahmen können die Regeneration beschleunigen?

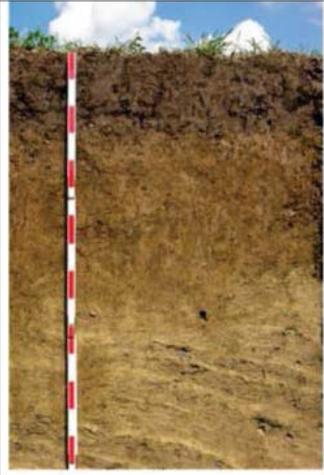
	<b>Ahp</b> 0–25 cm L (25 / 50 / 25); <b>OS</b> : 2,5% <b>LD</b> : 1,36; <b>GPV</b> : 48%
	<b>ABcn</b> 25–32 cm <b>IU</b> (24 / 54 / 22); <b>OS</b> : 1,9% <b>Bcn(g)(x)</b> 32–65 cm <b>tL</b> (31 / 50 / 19); <b>OS</b> : 0,7% <b>LD</b> : 1,44; <b>GPV</b> : 47%
	<b>Bg</b> 65–85 cm <b>tL</b> (33 / 46 / 21); <b>OS</b> : 0,6%
	<b>BCg</b> 85–105 cm <b>IU</b> (19 / 61 / 20); <b>OS</b> : 0,2% <b>LD</b> : 1,39; <b>GPV</b> : 49%
	<b>Cg</b> 105–150 cm <b>IU</b> (18 / 65 / 17) <b>LD</b> : 1,61; <b>GPV</b> : 41%

Abb. 9: Braunerde, pseudogleyig; skelettarm, Lehm über tonigem Lehm, tiefgründig

AB = Übergangshorizont

cn = Mangan- und Eisenknötchen

(g) = schwache Rostflecken

(x) = kompakte, dichte Zone

g = rostfleckige, wechsellasse Zone

BC = Übergangshorizont

Der gemeinsame Versuch von Agroscope (Gruppe "Bodenqualität und Bodennutzung")

und ETH Zürich (Gruppen "Umweltphysik Terrestrischer Systeme" und "Kulturpflanzenwissenschaften") wurde im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms (NFP) 68 "Resource Boden" des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) gestartet.

Im März 2014 wurden **drei Verdichtungsverfahren** initiiert (Radlast rund 8 Tonnen, Reifendruck 3 bar): (1) ganzflächig verdichtet, (2) verdichtete Fahrspuren und (3) unverdichtete Kontrolle. Messungen zeigen, dass der Boden bis in ca. 50 cm Tiefe verdichtet wurde. Nach der Verdichtung wurden **vier Bewirtschaftungsverfahren** angelegt: (A) Schwarzbrache (natürliche Regeneration ohne Pflanzen und ohne Bodenbearbeitung), (B) Dauerwiese (natürliche Regeneration mit Pflanzen, ohne Bodenbearbeitung), (C) Fruchtfolge ohne mechanische Bodenbearbeitung und (D) Fruchtfolge mit mechanischer Bodenbearbeitung. Die Fruchtfolge seit 2014 ist Triticale (2014), Silomais (2015), Winterweizen (2016), Winterraps (2017), Wintergerste (2018).

Das Monitoring- und Messprogramm umfasst (i) quasi-kontinuierliche Messungen mittels in mehreren Bodentiefen eingebauter Sonden (Wassergehalt, Saugspannung, Temperatur, O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> Konzentration in der Bodenluft, Redoxpotenzial und Sauerstoffdiffusionsraten; siehe auch Abb. 2), (ii) geophysikalische Messungen und (iii) periodische Beprobungen von Boden, Regenwürmern und Pflanzen.



Abb. 10: Installation von Bodensonden im Frühjahr 2014.

Erste Resultate bestätigen, dass die Regeneration der Bodenstruktur ein sehr langsamer Prozess ist und die Regenerationsrate mit zunehmender Tiefe abnimmt. Verschiedene Bodeneigenschaften werden unterschiedlich stark

durch die Verdichtung beeinflusst und zeigen unterschiedliche Regenerationsraten. Als Beispiel nahm die Luftdurchlässigkeit durch die Verdichtung um fast zwei Größenordnungen ab, erholt sich aber relativ schneller als zum Beispiel die Gasdiffusivität. Die Lagerungsdichte ändert sich gar nicht, außer durch mechanische Lockerung (Bodenbearbeitung). Auch wenn sich Tendenzen zu Regeneration erkennen lassen, sind die bodenphysikalischen Eigenschaften nach wie vor stark beeinträchtigt (siehe z.B. Abb. 11). Der Pflanzenertrag hat sich dagegen relativ schnell erholt, allerdings nicht vollständig: eine anhaltende Ertragseinbuße bleibt.



Abb. 11: Verfahren „verdichtete Fahrspuren“ in Kombination mit „Schwarzbrache“ zwei Jahre nach der Verdichtung.

## Literatur

<http://www.sso.ethz.ch>

- Keller T., Colombi T., Ruiz S., Manalili M.P., Rek J., Stadelmann V., Wunderli H., Breitenstein D., Reiser R., Oberholzer H.-R., Schymanski S., Romero-Ruiz A., Linde N., Weisskopf P., Walter A. & Or D. 2017. Long-term soil structure observatory for monitoring post-compaction evolution of soil structure. *Vadose Zone Journal*, 16(4), doi: 10.2136/vzj2016.11.0118.
- Colombi T., Torres L.C., Walter A. & Keller T. 2018. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth - a vicious circle. *Science of the Total Environment*, 626, 1026-1035.
- Colombi T., Braun S., Keller T. & Walter A. 2017. Artificial macropores attract crop roots and enhance plant productivity on compacted soils. *Science of the Total Environment*, 574, 1283-1293.

## Exkursionspunkt 4: Langzeitversuch FAST: Einflüsse unterschiedlicher Bewirtschaftungs- und Bodenbearbeitungssysteme auf Bodeneigenschaften und Pflanzenentwicklung

Raphael Wittwer, Marcel van der Heijden

Seit 2009 werden im FAST-Versuch (Farming System and Tillage Experiment) Langzeit-Effekte von 4 wichtigen Ackerbausystemen (konventionell\* mit Pflugeinsatz, konventionell Direktsaat, BIO mit Pflugeinsatz und BIO Mulchsaat) auf die Produktivität (Erträge), verschiedene Ökosystemleistungen (Nährstoffzyklen, Erosionsschutz, Kohlenstoffspeicherung, Bodenqualität, Klimawirkung oder die Biodiversität), und die gesamtheitliche Leistung (auch Multifunktionalität genannt) untersucht. Zudem werden die agronomischen und ökologischen Auswirkungen von Zwischenfrüchten, Kulturen welche zwischen den Hauptkulturen angebaut werden, in den verschiedenen Systemen untersucht.

Der Vergleich der 4 Systeme basiert auf einer 6-jährigen Fruchtfolge (Weizen, Körnermais, Körnerleguminose, Weizen, 2-jährige Kunstwiese). In den konventionellen Verfahren (inkl. Direktsaat) werden Pestizide und mineralische Dünger eingesetzt, während in den biologischen Verfahren mit Gülle gedüngt wird und keine Pestizide eingesetzt werden. Im Direktsaat-Verfahren wird der Boden nicht bearbeitet und Glyphosat wird vor den Saaten für die Unkrautkontrolle eingesetzt. Die reduzierte Bodenbearbeitung in den biologischen Verfahren wird auf einer Tiefe von maximal 5-10cm durchgeführt, anfangs mit einer Kreiselegge und neuerdings mit einer Fräse (Winkelmesser) oder einem Geohobel (Rath Maschinen) auf einer Tiefe von 2-5cm. Die beiden gepflügten Verfahren werden auf einer Tiefe von 20-25cm bearbeitet.

Der Versuch ist als Split-plot Design mit 4 Wiederholungen angelegt und ist komplett um ein Jahr versetzt wiederholt, um jährliche Variationen zu berücksichtigen (Abb. 12).



Abb. 12: Luftbild des FAST-Versuches am 15.9.2017. Der Vergleich der 4 Systeme konventionell mit Pflugeinsatz, konventionell Direktsaat, organisch mit Pflugeinsatz und Mulchsaat basiert auf einer 6-jährigen Fruchtfolge (Weizen, Körnermais, Körnerleguminose, Weizen, 2-jährige Kunstwiese). © Raphaël Wittwer

Im FAST-Versuch hat sich bereits nach 4 Jahren gezeigt, dass sowohl der bodenkonservierende als auch der biologische Anbau sich positiv auf die Bodenqualität auswirken. Sie erzielen relativ schnell ökologische Vorteile, wie eine verbesserte Bodenstruktur (Puerta et al. 2018), ein angereichertes Bodenleben (Hartman et al. 2018), ein reduziertes Erosi-

onsrisiko (Seitz et al. 2018), eine erhöhte Biodiversität sowie eine geringere Klimawirkung (Prechsl et al. 2017). Zum Beispiel konnte mittels Berechnungssimulation direkt im Versuch belegt werden, dass durch eine Bodenbedeckung von mindestens 30% das Erosionsrisiko in bodenkonservierenden Systemen (Direktsaat, Mulchsaat) sich sehr effizient vermindert lässt. Zudem konnte beobachtet werden, dass die Kombination von BIO und reduzierte Bodenbearbeitung sich positiv auf nützliche Bodenorganismen, wie Mykorrhiza-Pilze und die Bodenstruktur auswirken. Auch das Treibhausgasemissionspotential konnte signifikant reduziert werden durch eine biologische Bewirtschaftung. Dabei wiegt der Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger sehr stark auf die Bilanz der konventionellen Systeme und ist ein Schlüsselfaktor, um Emissionen zu vermindern.

Trotz klarer ökologischer Vorteile zeichnen sich konservierende und biologische Systeme auch durch eine geringere Produktivität aus. Somit wurden gegenüber dem Verfahren konventionell mit Pflugeinsatz und über die erste Fruchtfolge 6% geringere Erträge im Direktsaatssystem, 20% im biologischen Verfahren mit dem Pflug und sogar 36% in der BIO Variante mit Mulchsaat erzielt. Doch hier spielt der Einsatz von Zwischenfrüchten eine wichtige Rolle, um gegen diesen Zielkonflikt zu wirken. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere stickstofffixierende Kulturen wie Wicken, Kleearten oder Erbsen (auch in Mischungen mit anderen Arten) in extensiveren Systemen fähig sind, die Erträge zu steigern (zum Teil bis 40% mehr Ertrag im Vergleich zum Verfahren ohne Zwischenfrucht im Bio Mulchsaatsystem) und somit Ertragsverluste zu vermindern (Wittwer et al. 2017). Zudem basieren diese Ergebnisse auf den ersten Jahren des Versuchs und das Entwicklungspotential von innovativen Systemen, wie das BIO Mulchsaatverfahren, sowie der langfristige Einfluss einer verbesserten Bodenqualität auf die Produktivität, muss noch untersucht werden. Zeichen hierfür sind die deutlich geringeren Unterschiede zwischen konventionell und BIO Pflug (-7%) und konventionell und BIO Mulchsaat (-26%) in den ersten

Jahren der zweiten Fruchtfolge (für Weizen und Körnermais).

Der FAST-Versuch ist eine Forschungsplattform, bei der komplexe Mechanismen über die Zeit untersucht werden können. Somit bietet der Versuch vielseitige Forschungsthemen, die für die zukünftige Gestaltung von Ackerbausystemen wichtig sein werden. Aktuell werden Untersuchungen zur Trockenheitsresistenz und zur Kohlenstoffspeicherung durchgeführt. Diese Fragen werden im Kontext des Klimawandels eine große Bedeutung haben. Der Versuch soll also Erkenntnisse für die Praxis liefern, aber auch als Entscheidungsgrundlage für Entscheidungsträger dienen.

## Literatur

- Puerta, V. L., E. I. P. Pereira, R. Wittwer, M. van der Heijden, J. Six (2018). Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. *Soil and Tillage Research* 180: 1-9.
- Hartman, K., M. G. van der Heijden, R. A. Wittwer, S. Banerjee, J.-C. Walser, K. Schlaeppli (2018). Cropping practices manipulate abundance patterns of root and soil microbiome members paving the way to smart farming. *Microbiome* 6(1): 14.
- Seitz, S., P. Goebes, V. L. Puerta, E. I. P. Pereira, R. Wittwer, J. Six, M. G. A. van der Heijden, T. Scholten (2018). Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agronomy for Sustainable Development* 39(1): 4.
- Prechsl, U. E., R. Wittwer, M. G. van der Heijden, G. Lüscher, P. Jeanneret, T. Nemecek (2017). Assessing the environmental impacts of cropping systems and cover crops: Life cycle assessment of FAST, a long-term arable farming field experiment. *Agricultural Systems* 157: 39-50.
- Wittwer, R. A., B. Dorn, W. Jossi, M. G. Van Der Heijden (2017). Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific reports* 7: 41911.

## Exkursionspunkt 5: Pflanzenschutzmittel-Analytik der Gruppe Organische Spurenanalytik

Thomas Bucheli, Felix Wettstein, Simon Mangold

Im September 2017 wurde vom Bundesrat der Aktionsplan (AP) Pflanzenschutzmittel (PSM) verabschiedet. Darin festgelegt sind unter anderem Maßnahmen zur Reduktion von PSM. Um für das Umweltkompartiment Boden Diskussionsgrundlagen zu schaffen und in Zukunft Erfolgskontrollen durchzuführen, werden in unserem Labor PSM-Gehalte in Schweizer Böden im Rahmen der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) durchgeführt. Die Messungen erfordern drei grundlegende analytische Techniken:

- Im landwirtschaftlichen Kontext liegen die Zielanalyten meist sorbiert an Bodenpartikel oder gebunden in Biomasse vor. Durch eine **Extraktion** werden diese von Boden oder Pflanzen extrahiert und in Lösung gebracht. Gängige Methoden sind die Accelerated Solvent Extraction (ASE); (Abb. 13), QuE-ChERS (Quick, Easy, Cheap, Efficient, Rugged, Safe) oder die Soxhlet-Extraktion.



Abb. 13: Thermo Fischer ASE350 zur Extraktion von PSM aus Bodenproben

- In Umweltproben und Extrakten ist immer eine Vielzahl von Nichtzielanalyten (Matrix) vorhanden, die die Messung

der Zielsubstanzen stören können oder sogar verunmöglichen. Gleichzeitig sind häufig viele Substanzen in einer Probe von Interesse (über 250 organisch-synthetische, in der Schweiz zugelassene PSM). Dies erfordert eine Probenaufreinigung und -auftrennung. Hierfür kommen chromatographische Verfahren zum Einsatz. In unserem Labor sind das in erster Linie **flüssig- und gaschromatographische Verfahren**.



Abb. 14: Agilent LC-System und AB Sciex-QTRAP 5500 TQ Massenspektrometer

- Für die Detektion und Quantifizierung der Zielanalyten werden oft einfache UV-Detektoren eingesetzt. Für komplexere Aufgaben, beispielsweise wenn mehrere Analyten gleichzeitig von der chromatografischen Säule eluieren, werden jedoch massenselektive Detektoren benötigt. In unserem Fall sind das Single Quadrupole und Triple Quadrupole (TQ) **Massenspektrometer** (MS); (Abb. 14).

In der aktuell angewendeten PSM-Methode wird der Gehalt von 38 PSM (14 Herbizide, 17 Fungizide, 7 Insektizide) und 8 ihrer Abbauprodukte in Bodenproben bestimmt. Durch die Zugabe von 23 isotoopenmarkierten Standards können aufarbeitungs- oder matrixbedingte Verluste und Effekte kompensiert werden. Dies ermöglicht eine einfachere und zügigere Auswertung und erlaubt eine robuste Quantifizierung.

Die Extraktion erfolgt mittels ASE (Abb. 13) in zwei Extraktionsschritten. Die chromatographische Trennung erfolgt über eine Flüssigkeits-Chromatographie-Säule mit einem Etha-

nol/Wasser-Gradienten als mobile Phase. Die für die massenspektrometrische Messung benötigten Analyt-Ionen werden im Elektrospray (Ionenquelle) erzeugt und anschliessend in einem Triple Quadrupole (TQ) Massenspektrometer detektiert (Abb. 14). Instrumentenmethodisch wird ein dynamic Multiple Reaction Monitoring (dMRM, siehe Abb. 15) durchgeführt. Dies erlaubt sich überschneidende Retentionszeitfenster und die gleichzeitige Erfassung mehrerer Massenübergänge.

TQ Massenspektrometer sind deutlich sensitiver als einfache Single Quadrupol Geräte. Damit werden mit diesem instrumentellen Auf-

bau und je nach Substanz bei entsprechender Probenaufbereitung Nachweisgrenzen von 0.05 bis 1 µg/kg erreicht. Aufgrund des bisherigen Kenntnises sind damit die für eine Risikobeurteilung relevanten Konzentrationsbereiche bzw. Umweltstandards abgedeckt.

Die Analytik in unserem Labor ist jedoch nicht nur auf Pflanzenschutzmittel beschränkt. Unterschiedlichste Stoffgruppen werden in verschiedenen Projekten analysiert. Östrogene aus der Viehhaltung werden beispielsweise untersucht genauso wie Phytotoxine und deren Vorkommen in Oberflächengewässern.

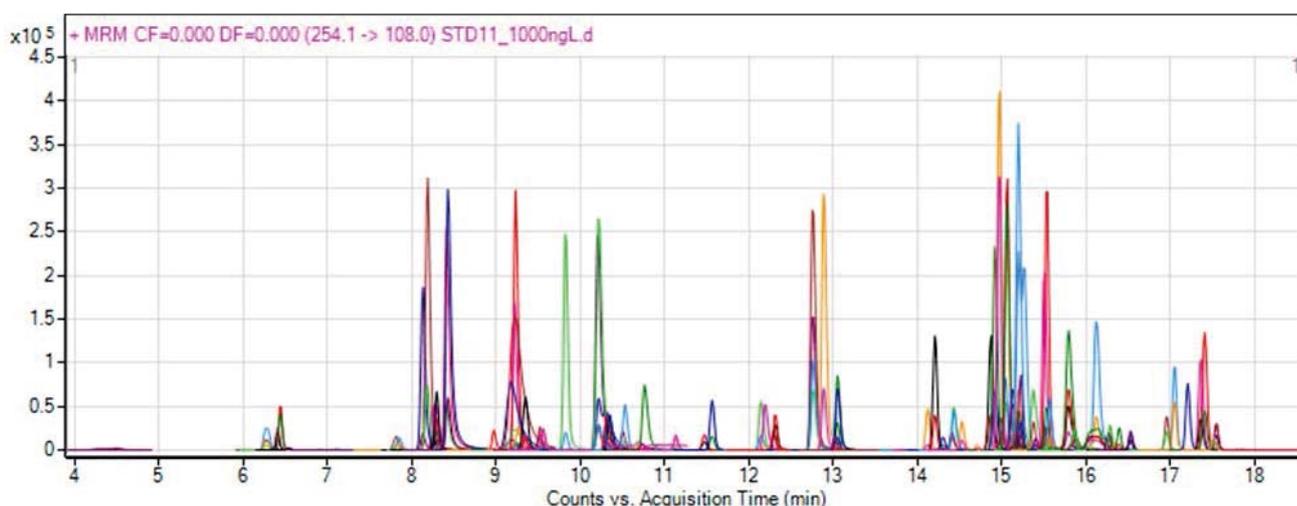


Abb. 15: Chromatogramm einer dMRM Methode zur Messung von PSM und anderen Mikroverunreinigungen.

Des Weiteren untersuchen wir nicht nur umweltgefährliche Substanzen, sondern auch Substanzklassen, die sich als Werkzeuge zur Beurteilung von Bodenparametern nutzen lassen. So können mit der Messung und Quantifizierung von Phospholipiden Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Bodenbiologie gezogen werden.

## Literatur

- Bericht des Bundesrates vom 6. September 2017: Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Online aufgerufen am 15.01.2019 unter: <https://www.news.d.admin.ch/news/detail/message/attachments/49600.pdf>.
- Chiaia-Hernandez, A. C. et al (2017), Long-Term Persistence of Pesticides and TPs in Archived Agricultural Soil Samples and Comparison with Pesticide Application. *Environ. Sci. Technol.* 51 (18): 10642-10651.

## **Exkursionspunkt 6: Molekulare Ökologie: Mikrobielle Diversität in Böden**

**Franco Widmer**

Die Labore der Molekularen Ökologie werden am Agroscope-Standort Reckenholz als Userlab betrieben und von verschiedenen Forschungsgruppen für molekulargenetische Arbeiten genutzt. Ein wichtiger Teil dieser Arbeiten fokussiert auf die Analyse von mikrobiellen Gemeinschaften in natürlichen Böden und der Faktoren, welche die Diversität und Zusammensetzung dieser Gemeinschaften bestimmen. Da viele Mikroorganismen nicht mit einheitlichen Standardmethoden kultivierbar sind, wählen wir für unsere Untersuchungen einen kultivierungsunabhängigen Ansatz. Dabei wird die gesamte Erbsubstanz (DNS) der mikrobiellen Gemeinschaft aus dem Boden isoliert und, basierend auf der Analyse von bestimmten Markergenen, die Diversität und Zusammensetzung der Gemeinschaften bestimmt. Dadurch erhalten wir ein umfassendes Bild der äußerst komplexen mikrobiellen Gemeinschaften im Boden, die oft mehrere tausend Arten in einer Probe umfassen können. Das langfristige Ziel dieser Arbeiten ist es, die Information über die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften im Boden zu verstehen, sie modellieren zu können und für die Beurteilung der Bodenqualität zu nutzen.

Für solche Untersuchungen wurde ein Analyseablauf etabliert, welcher sich in drei Stufen unterteilen lässt. In der ersten Stufe werden die frischen Bodenproben aufgearbeitet und für die Lagerung bei  $-20^{\circ}\text{C}$  vorbereitet. Dies erlaubt gesammelte Proben für die nächsten Stufen im Analyseablauf zu konservieren. In dieser zweiten Stufe werden die Proben molekulargenetisch analysiert, was mit der Extraktion der Erbsubstanz aus den Bodenproben beginnt. Üblicherweise nutzen wir dafür etwa ein halbes Gramm Boden und eine Kugelmühle mit Glasperlen, um die mikrobiellen Zellen im Boden aufzuschließen. Um die extrahierte DNS molekularbiologisch analysieren zu können, wird sie aufgereinigt und deren Menge quantifiziert. Die aus dem Boden extrahierte DNS-Menge kann als Anhaltspunkt für die im Boden vorhandene mikrobielle Biomasse ge-

nutzt werden (Hartmann et al. 2005). Mithilfe der Polymerase Kettenreaktion (engl. PCR) können dann spezifische genomische Marker aus der Boden-DNS isoliert werden. Diese Marker sind so gewählt, dass sie die Diversität widerspiegeln und damit z.B. die gesamte Gemeinschaft der Bakterien oder jene der Pilze abbilden. Diese Markergene werden danach mit Hochdurchsatz-DNS-Sequenzierung entschlüsselt, was in einem Durchgang etwa 12 Mio. DNS-Sequenzen liefert und die mikrobiellen Gemeinschaften in hoher Auflösung abbildet. Hier beginnt dann die dritte Stufe des Analyseablaufs, bei welchem die große Datenmenge bioinformatisch bearbeitet und statistisch ausgewertet wird. Dabei werden die Sequenzen zuerst einem Qualitätscheck unterzogen und dann aufgrund ihrer Ähnlichkeit in sogenannte operationelle taxonomische Einheiten (engl. OTU) eingeteilt. Datenbanken werden genutzt, um den OTUs, wo möglich, eine reale taxonomische Zuordnung zu geben. Diese Information wird dann bei der Interpretation der Daten verwendet, da man über die Taxonomie auch Informationen zu möglichen Funktionen der Mikroorganismen gewinnen kann (Hartmann et al. 2015).

Bei der Exkursion werden wir das Labor und den Analyseablauf kurz darstellen und aufgrund von Beispielen die erhaltenen Daten diskutieren. Wir haben Resultate zu Zeitverläufen, Bodennutzung und verschiedenen Bodentypen aus Schweizerischen Monitoringsystemen und Feldversuchen, welche die Aussagekraft der Daten darstellen.

### **Literatur:**

- Hartmann M., Frey B., Kölliker R., Widmer F. (2005). Semi-automated genetic analyses of soil microbial communities: comparison of T-RFLP and RISA based on descriptive and discriminative statistical approaches. *Journal of Microbiological Methods* 61, 349-360.
- Hartmann M., Frey B., Mayer J., Mäder P., Widmer F. (2015). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *ISME Journal* 9, 1177-1194.

## Exkursionspunkt 7: Nationale Bodenbeobachtung NABO: Verschiedene Messsysteme im Langzeitmonitoring von Böden der Schweiz

Peter Schwab

Zur landesweiten Erfassung der Bodenqualität und der Früherkennung von unerwünschten

Veränderungen betreibt die NABO seit 1985 an über 100 Standorten ein nationales Referenznetz. Dieses deckt ein breites Spektrum von Böden und Nutzungsformen der Schweiz ab.

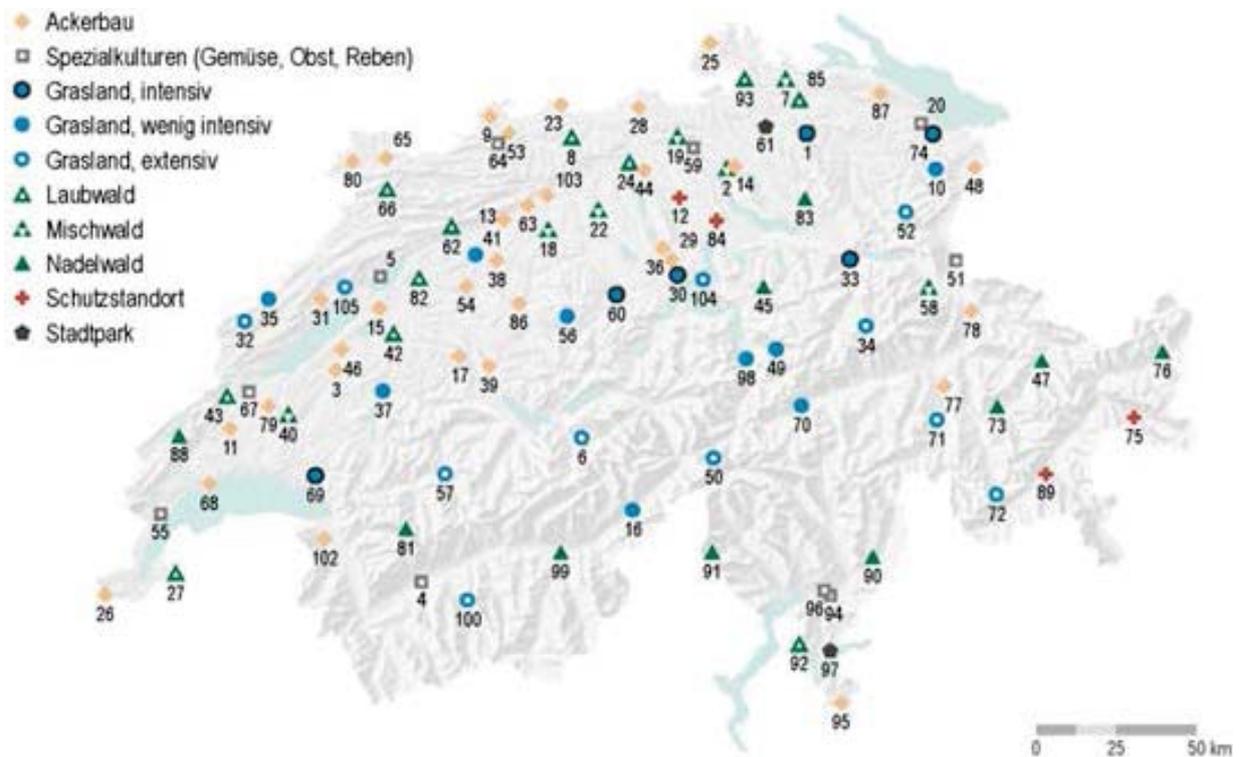


Abb. 16: NABO-Dauerbeobachtungsstandorte und ihre Nutzung

Die Probenahme erfolgt in einem 5-jährigen Zyklus auf eingemessenen und mit Magneten versicherten Beprobungsflächen von je 100 m<sup>2</sup>. Stünden zu Beginn die Schwermetalle im Fokus, hat sich das Monitoring-Programm in den letzten Jahren sukzessive inhaltlich und methodisch an neue Fragestellungen angepasst. Heute werden verschiedene Probenahme- und Messsysteme angewendet, um Aussagen über den Zustand und die Veränderungen der chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften der untersuchten Standorte zu erhalten.



Abb. 17: Probenahme an einem Graslandstandort.

Aus frischen **Flächenmischproben** (0-20 cm Tiefe) werden biologische Parameter bestimmt. Aus getrockneten oder tiefgekühlten Proben werden anorganische bzw. organische Stoffe analysiert. Seit 2003 werden bei jeder Erhebung zusätzlich physikalische Begleitparameter der Tiefe 0-20 cm wie Wassergehalt, Skelettanteil, Raumgewicht und Lagerungsdichte aus Volumenproben bestimmt.

Seit 2010 werden Bohrkern bis 100 cm Tiefe untersucht. Daraus können einerseits der Bodenaufbau und die Variabilität in der Fläche bestimmt werden. Andererseits werden aus diesen volumetrischen Proben die Stoffvorräte horizontweise über das gesamte Profil bestimmt und allfällige zeitliche Veränderungen nachgewiesen.



Abb. 18: Je vier Bohrkern von drei NABO-Standorten

An ausgewählten Standorten werden seit 2012 jährlich **mikro- und molekularbiologische** und seit 2014 **physikalische Parameter** bestimmt. Durch profilumfassende Messungen des Eindringwiderstandes (PANDA-Sonde) und physikalischer Begleitparameter, sowie durch Beurteilung des Gefügestandes (VESS) werden verdichtete Zonen bei rund 40 landwirtschaftlich genutzten Standorten periodisch erfasst und die zeitliche Entwicklung beobachtet.

An 50 landwirtschaftlich genutzten Standorten werden die relevanten Ein- und Austräge von Schadstoffen durch Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel (PSM), atmosphärischen Eintrag und Ernteentzug erfasst. Damit können die Schadstoffeintragspfade ermittelt und quantifiziert werden, zudem lassen sich damit Auswirkungen der Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Düngung, PSM, Bodenbearbeitung) auf die biologischen und physikalischen Eigenschaften der Böden untersuchen.

An der Exkursion werden Konzept, Probenahme- und Messmethoden der Nationalen Bodenbeobachtung NABO an einem Untersuchungsstandort vorgestellt. Weitere Themen sind:

- Bedeutung und Wahrung der Methodenstabilität der Langzeitbeobachtung in einem sich ändernden Umfeld.
- Umgang mit Veränderungen im Beobachtungsprogramm.
- Aussagesicherheit und Synergien durch interdisziplinäre bzw. ganzheitliche Ansätze.



## Literatur

- Gubler A., Schwab P., Wächter D., Meuli R.G., Keller A. (2015): Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) 1985-2009. Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe und Bodenbegleitparameter. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1507: 81 S. [www.bafu.admin.ch/uz-1507-d](http://www.bafu.admin.ch/uz-1507-d)
- Hug A.-S., Gubler A., Gschwend F., Widmer F., Oberholzer H., Frey B., Meuli R.G. (2018): NABO-bio - Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung, Ergebnisse 2012-2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. *Agroscope Science*, 63, 2018, 1-55. [www.agroscope.ch/science](http://www.agroscope.ch/science)
- Schwab P. und Gubler A. (2016): Methoden zur Bestimmung physikalischer Begleitparameter an Bodenproben. *Agroscope Science*, 40, 2016, 1-34. [www.agroscope.ch/science](http://www.agroscope.ch/science)
- Schwab P., Dietrich M., Gubler A. (2018): Messung des Eindringwiderstandes und des Bodenwasserzustandes - Methodenvergleich verschiedener Geräte und Verfahren. [www.nabo.admin.ch](http://www.nabo.admin.ch)

# G-03: Grundwasserverträglicher Acker- und Gemüsebau in der Region Gäu-Olten

Else K. Bünemann<sup>1</sup>, Hanna Frick<sup>1</sup>, Hannah Wey<sup>2</sup>, Daniel Hunkeler<sup>2</sup>, Wolf Bischoff<sup>3</sup>, Andreas Schwarz<sup>3</sup>, Rainer Hug<sup>4</sup>, Thomas Gasche<sup>5</sup>, Viktor Müller<sup>6</sup>, Thomas Jäggi<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Forschungsinstitut für Biologischen Landbau FiBL, Ackerstrasse 113, CH-5070 Frick

<sup>2</sup>Universität Neuenburg, Zentrum für Hydrogeologie (CHYN), Rue Emile-Argand 11, CH-2000 Neuchâtel

<sup>3</sup>Gutachterbüro TerrAquat, Schellingstr. 43, D-72622 Nürtingen

<sup>4</sup>Kanton Solothurn, Amt für Umwelt, Werkhofstrasse 5, CH-4509 Solothurn

<sup>5</sup>Gasche-Bodengutachten GmbH, Gotthelfstrasse 98, CH-4054 Basel

<sup>6</sup>Müller Gemüseulturen, Schweissacker 10, CH-4626 Niederbuchsiten

<sup>7</sup>Zweckverband Wasserversorgung Untergäu, Lochmatte 35, CH-4624 Härkingen

## Exkursionspunkte



Abb. 1: Die Region Gäu-Olten (gelb hinterlegt), mit Markierung der angefahrenen Standorte Aussichtspunkt und Kappel (mit Pumpwerk und nahegelegenen Feldstandort) in Gelb und Markierung der wichtigsten Ortschaften zur Orientierung in Rot.

## Allgemeine Informationen

### Hintergrund der Exkursion (Else Bünemann)

In der Region Gäu-Olten wird Grundwasser zur Trinkwassergewinnung genutzt. Im Grundwasser gilt daher bezüglich Nitrat ein Qualitätsziel von 25 mg/l (numerische Anforderung 5.6 mg NO<sub>3</sub>-N/l) und für Trinkwasser ein Höchstwert von 40 mg/l. In der Schweiz wird die Nitratproblematik seit Annahme des Artikels 62a des Gewässerschutzgesetzes in regionalen Projekten angegangen. Das flächenmässig grösste Nitratprojekt läuft seit dem Jahr 2000 in der Region

Gäu-Olten. Teilnehmende Landwirte verpflichten sich dabei mit langjährigen Verträgen zu einer nitratarmen Bewirtschaftung. Das Auswaschungspotential von Nitrat wird anhand eines Punktesystems, genannt „Nitratindex“, beurteilt. Das Bundesamt für Landwirtschaft und das Amt für Umwelt Solothurn finanzieren seit 2017 ein begleitendes Forschungsprojekt, genannt „NitroGäu“, in dem die aktuelle Nitratauswaschung im Acker- und Gemüsebau in der Region ermittelt und potentielle weitere Massnahmen zur Verringerung des Eintrags von Nitrat ins Grundwasser geprüft werden.

Auf dieser Exkursion stellen wir Hydrogeologie, Böden und Landnutzung in einer Region vor, in der die landwirtschaftliche Nutzung in starker Konkurrenz zur Bodennutzung für Logistikzentren, Hochwasserschutzmassnahmen, den Strassenausbau und Siedlungsausbau steht. Wir besichtigen ein Trinkwasserpumpwerk, bevor wir uns vertieft mit einem Bodenprofil und seinen physikalischen Eigenschaften beschäftigen. Wir stellen die Messtechnik vor, die im Projekt NitroGäu zum Einsatz kommt, und diskutieren erste Ergebnisse und mögliche Massnahmen für eine Erhöhung der Stickstoffausnutzung und eine Verringerung der Nitratauswaschung im Acker- und Gemüsebau.

### Hydrogeologie der Region Gäu-Olten (Rainer Hug)

Eines der grössten Grundwasservorkommen des Kantons Solothurn befindet sich in der Re-

gion Gäu unter der Talebene der Flusses Dünern (Grundwasservorkommen des «Dünnergäu»). Es erstreckt sich zwischen dem Raum Oensingen / Niederbipp im Westen und der Stadt Olten im Osten auf einer Fläche von 33 km<sup>2</sup> und ist eines der bedeutendsten Grundwasservorkommen im Schweizer Mittelland. Der Grundwasserleiter wird im Norden durch die 1. Jurakette (Kalkstein) begrenzt, im Süden durch die Mittulgäu-Hügel (Molasse) sowie die Born-Antiklinale (Kalkstein). Der Grundwasserleiter besteht hauptsächlich aus Niederterrassenschottern, die nach dem Rückzug des Gletschers in der Würm-Eiszeit (Wangener Stadium) abgelagert wurden. Die Schotterablagerungen sind bis zu 80 m mächtig. Der Grundwasserspiegel befindet sich bis zu 30 m unter der Oberfläche, die gesättigte Zone weist eine Mächtigkeit von bis zu 60 m auf (Abb. 2).

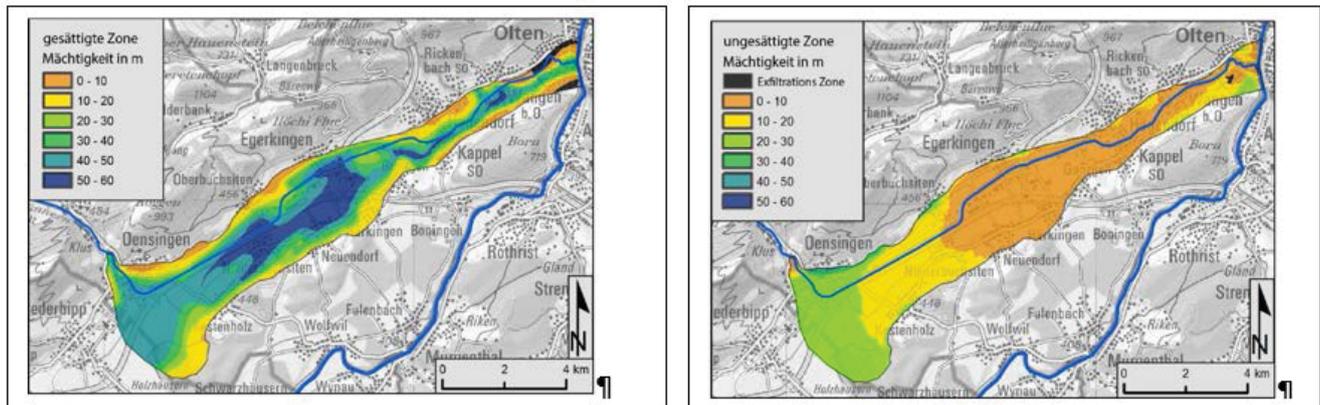


Abb. 2: Mächtigkeit des Grundwasservorkommens (links) und der darüber liegenden ungesättigten Zone (rechts)

Das Grundwasser strömt aus dem Raum Oensingen / Niederbipp ostwärts nach Olten, wo es grösstenteils in die Aare exfiltriert. Die jährliche Grundwasserneubildung in der Dünernerbene beträgt 35 Mio. m<sup>3</sup>. Acht Pumpwerke entnehmen jährlich knapp 6 Mio. m<sup>3</sup> Grundwasser für die Trinkwasserversorgung. Altersdatierungen mittels Krypton (85Kr) und Tritium (3H) ergeben für die am stärksten mit Nitrat belasteten Fassungen im westlichen Bereich des Grundwasservorkommens eine mittlere Verweildauer im Untergrund von rund 20 Jahren, davon rund 6-8 Jahre als Sickerwasser in der ungesättigten Zone. Diese lange Aufenthaltszeit des Wassers sorgt einerseits für einen guten Schutz des Trinkwasservorkommens im Untergrund. Sie verzögert andererseits aber die Re-

aktion auf die an der Landoberfläche getroffenen nitratreduzierenden Massnahmen und lassen in den Fassungen keinen unmittelbaren Erfolg des Nitratprojekts erkennen.

Das Grundwasser bildet sich aus verschiedenen Komponenten, die unterschiedliche Nitratgehalte aufweisen (Abb. 3). Hydrochemische Untersuchungen zeigen, dass das in den Trinkwasserfassungen entnommene Grundwasser bis zu 70% aus Niederschlagswasser besteht, das auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen infiltriert. Im Gegensatz zu anderen Schottergrundwasserleitern im Schweizerischen Mittelland spielt die Verdünnung mit nitratarmen Flussinfiltraten im Dünnergäu deshalb nur eine untergeordnete Rolle. Dies ist einer der Hauptgründe für die Nitratbelastung dieses Grund-

wasservorkommens, dessen ökologische Tragfähigkeit gegenüber Nährstoffeinträgen aus der Landwirtschaft folglich sehr beschränkt ist.

Die Nitratgehalte im Grundwasser wie auch die Stickstoffisotopenverhältnisse zeigen, dass im Grundwasserleiter keine nennenswerten Denitrifikationsprozesse erfolgen.

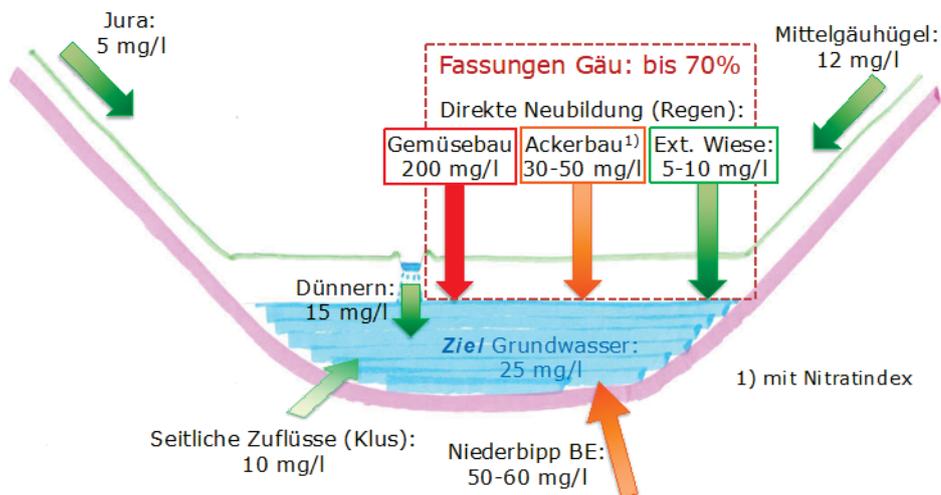


Abb. 3: Grundwasserbildende Komponenten mit typischem Nitratgehalt. Die dominierende Komponente ist die direkte Neubildung (versickerndes Niederschlagswasser).

### Böden der Region (Thomas Gasche)

Das Amt für Umwelt des Kantons Solothurn lässt jährlich eine Teilfläche des Kantons bodenkundlich kartieren. Kartiert werden sowohl Wald- als auch Landwirtschaftsflächen im Massstab 1:5000 (Hauert et al. 2017). Für die Region Gäu liegt die Bodenkarte flächendeckend vor.

Die Bodeneigenschaften im Gäu/Untergäu widerspiegeln die naturräumliche Unterteilung der Region, wie in Abbildung 4 gut erkennbar ist. Vom Jura (Nordwesten) zur Aare (Südosten) hin zeigt sich ein deutlicher Gradient von schweren zu leichten Böden:

Im Nordwesten, an den Unterhängen der ersten Jurakette, bildeten sich kleinräumig, auf anstehendem Kalkstein, flachgründige Rendzinen, auf Hanglehm und Hangschutt hingegen tiefgründige Braunerden. Am Hangfuss dominieren die Kalkbraunerden, der Übergang zu den Braunerden, Pseudogleyen und seltener Fluviosolen der Dünnernebene ist jedoch fließend.

Gemeinsam sind diesen Böden der pH-Wert im neutralen bis alkalischen Bereich und der hohe Tongehalt der Feinerde von mehrheitlich über 30 Prozent. Der verbreitete Stauwassereinfluss (pseudogleyige Böden) in der Dünnernebene ist gut sichtbar. Auf den Schottern und Moränen der Mittelgäu-Hochterrasse finden sich tief entwickelte, saure bis stark saure Braun- und Parabraunerden, die mit wenigen Ausnahmen normal wasserdurchlässig sind. Die Feinerdekörnung dieser Böden ist mit Tongehalten von weitgehend unter 20 Prozent leichter als in der Dünnernebene. Auf den Niederterrassen im Aaregäu sind stark schottrige Böden mit sandiger Körnung und guter Wasserdurchlässigkeit häufig. Eine Ausnahme bildet das Gebiet des alten Aarelaufs in Wolfwil mit seinen lehmigen, stark grundnassen Böden. Auffallend in der gesamten Region, und dies im Vergleich mit anderen Regionen des Kantons, ist der hohe Gehalt an organischer Substanz in den Böden. Auch ackerbaulich genutzte Böden sind nur selten humusarm, so liegt der Humusgehalt dieser Böden mehrheitlich über 3,5 Prozent.

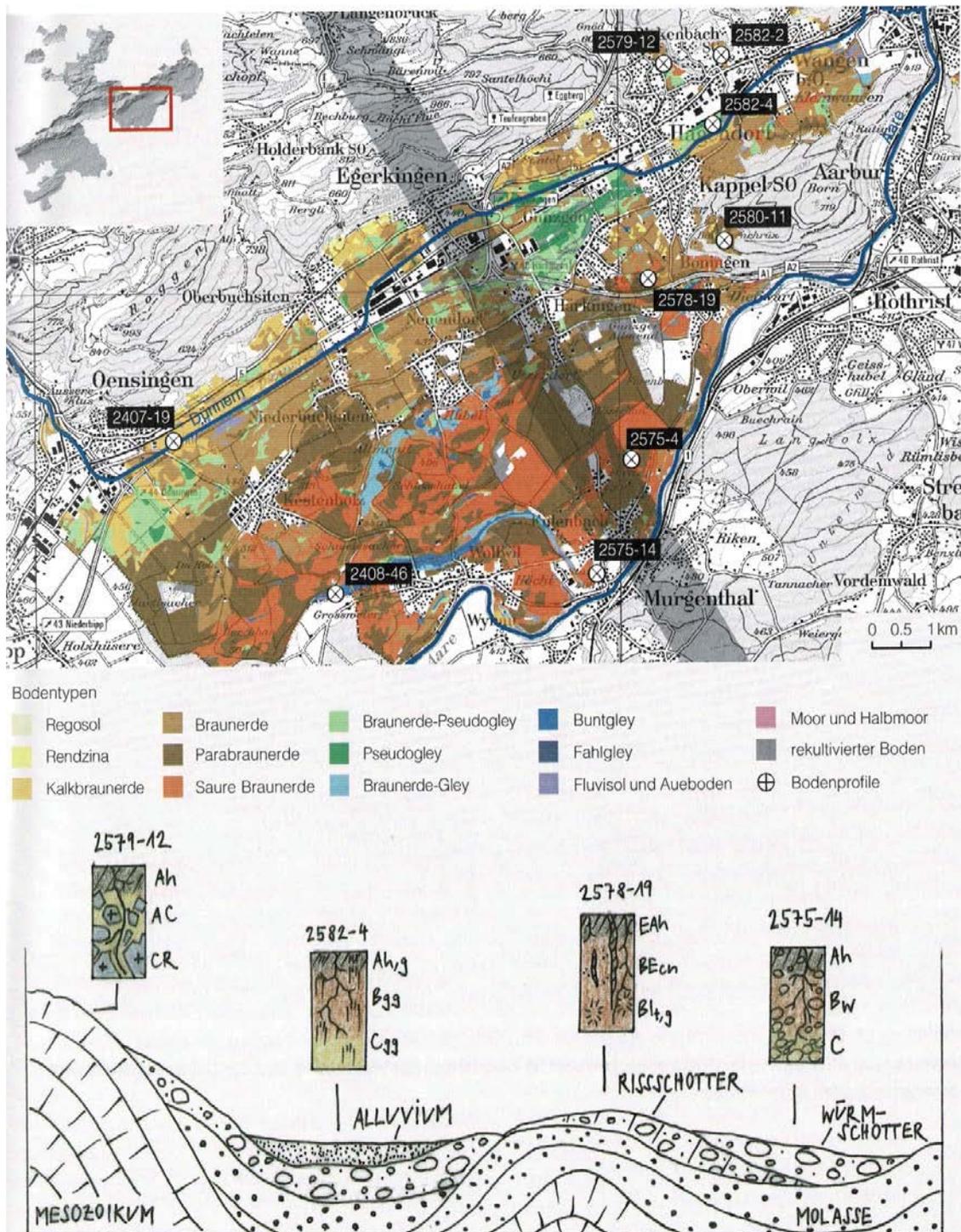


Abb. 4: Böden im Gäu mit vereinfachtem Transekt durch die Bodengesellschaften. (Aus Hauert et al. 2017).

### Das Nitratprojekt Gäu-Olten (Rainer Hug)

Seit den 1980er Jahren werden im Grundwasser des Dünnerngäu steigende Nitratwerte festgestellt, die einerseits das in der eidgenössischen Gewässerschutzgesetzgebung verankerte Qualitätsziel überschreiten, andererseits Ende der 1990er Jahre fast den im Trinkwasser zulässigen Höchstwert erreichten. Die zuständige kantonale Gewässerschutzbehörde war

daher gefordert, Massnahmen umzusetzen, um das nitratbelastete Grundwasservorkommen zu sanieren, damit die Trinkwassernutzung auch langfristig sichergestellt bleibt. Denn die Gewässerschutzgesetzgebung der Schweiz fordert, dass das zu Trinkwasserzwecken genutzte Grundwasser chemisch einwandfrei sowie von naturnaher Qualität ist und lässt deshalb keine Aufbereitung des nitratbelasteten Grundwasser zu.

1995 schlossen sich Vertreter der kantonalen Amtsstellen (Amt für Umwelt und Landwirtschaft), der Wasserversorgungen und der Bauernschaft zur Nitratkommission Gäu – Olten zusammen. Die Nitratkommission ist die Träger-schaft des Nitratprojektes Gäu – Olten, das zum Ziel hat, die Nitratwerte im Grundwasser auf das gesetzlich geforderte Qualitätsziel von 25 mg/l zu senken. Das Projekt wird nach den Vorgaben von Art. 62a Gewässerschutzgesetz umgesetzt.

Dieser Artikel ermöglicht dem Bund, Abgeltungen an Massnahmen der Landwirtschaft zur Verhinderung der Abschwemmung und Auswaschung von Stoffen zu leisten, wenn diese für die Landwirte wirtschaftlich nicht tragbar sind.

Das Projektgebiet erstreckt sich über 12 Gemeinden, umfasst 1658 ha, davon 1144 ha landwirtschaftliche Nutzflächen (Abb. 5).

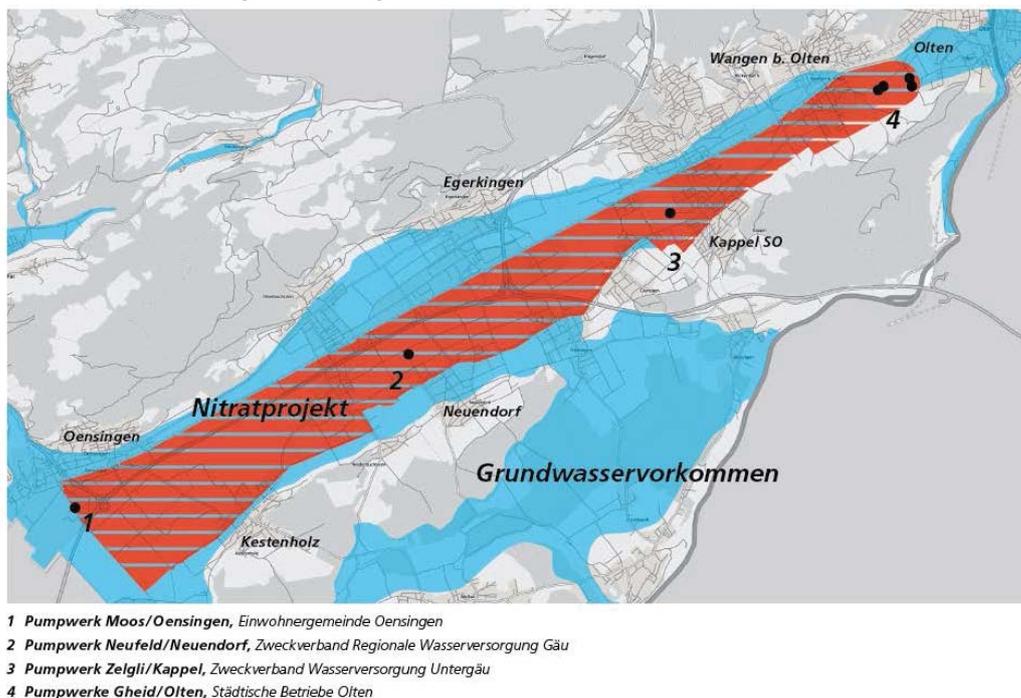


Abb. 5: Grundwasservorkommen und Perimeter des Nitratprojektes Gäu-Olten.

Es handelt sich damit um das schweizweit weit-aus grösste Projekt zur Reduktion der Nitratrein-träge ins Grundwasser. Gegen 100 Landwirte haben sich mittlerweile freiwillig dazu verpflich-tet, rund 1040 ha im Projektperimeter nach den Vorgaben des Nitratprojektes zu bewirtschaften. Dabei werden zwei Massnahmen umgesetzt: 160 ha bestes Ackerland wurde stillgelegt und in extensive Naturwiese umgewandelt. 880 ha Ackerland werden nach dem «Nitratindex» be-wirtschaftet, einem Punktesystem, das das Nit-ratauswaschungspotential abbildet. Der Nitrat-index berücksichtigt Faktoren wie Fruchtfolge, Winterbegrünung, Bodenbearbeitung und Saat-zeitpunkt. Je tiefer die Punktzahl, desto geringer ist die Nitratauswaschung. Die Landwirte dürfen eine vertraglich festgelegte Punktzahl nicht überschreiten und erhalten damit quasi ein ma-ximal zulässiges «Nitratauswaschungskontin-gent».

Für den Mehraufwand bzw. den Minderertrag werden die Landwirte entschädigt: Stilllegungs-flächen werden jährlich mit CHF 2'500.- /ha ent-schädigt, der nitratarme Ackerbau mit Nitratin-dex je nach vereinbarter Punktezah pro Jahr mit CHF 300 oder 500.-/ha. Insgesamt werden die Landwirte für ihre Bemühungen mit rund CHF 800'000.-/Jahr abgegolten. 80% der Ab-geltungen trägt der Bund, die Refinanzierung übernehmen die Wasserversorgungen. Für Be-ratung und Kontrolle der Landwirte und die Ak-tivitäten der Nitratkommission leisten die Was-serversorgungen zudem den «Nitratrappen», eine Abgabe von CHF 0.01 pro gefördertem m<sup>3</sup> Grundwasser.

Die umgesetzten Massnahmen konnten seit 2000 zwar einen weiteren Anstieg der Nitrat-werte verhindern, führten bis anhin aber na-mentlich in den im westlichen Projektperimeter

gelegenen Trinkwasserfassungen (PW Neu-  
feld/Neuendorf und PW Zelgli/Kappel) zu keiner  
signifikanten Reduktion der Nitratwerte (Abb. 6).  
Grund dafür sind sicherlich die langen mittleren  
Verweilzeiten des Grundwassers. Jedoch ist un-  
klar, ob die in den 1990er Jahren definierten  
Massnahmen ihre erwartete Wirkung erzielen o-  
der ob sie weiter intensiviert werden müssen.

Deshalb hat der Kanton Solothurn zusammen  
mit dem Bund das Forschungsprojekt NitroGäu  
initiiert. Um die Nitratreinträge weiter zu reduzie-  
ren, sieht der Kanton Solothurn zudem vor, das  
Projektgebiet ab 2021 um weitere rund 300 ha  
in den angrenzenden Kanton Bern zu erweitern.

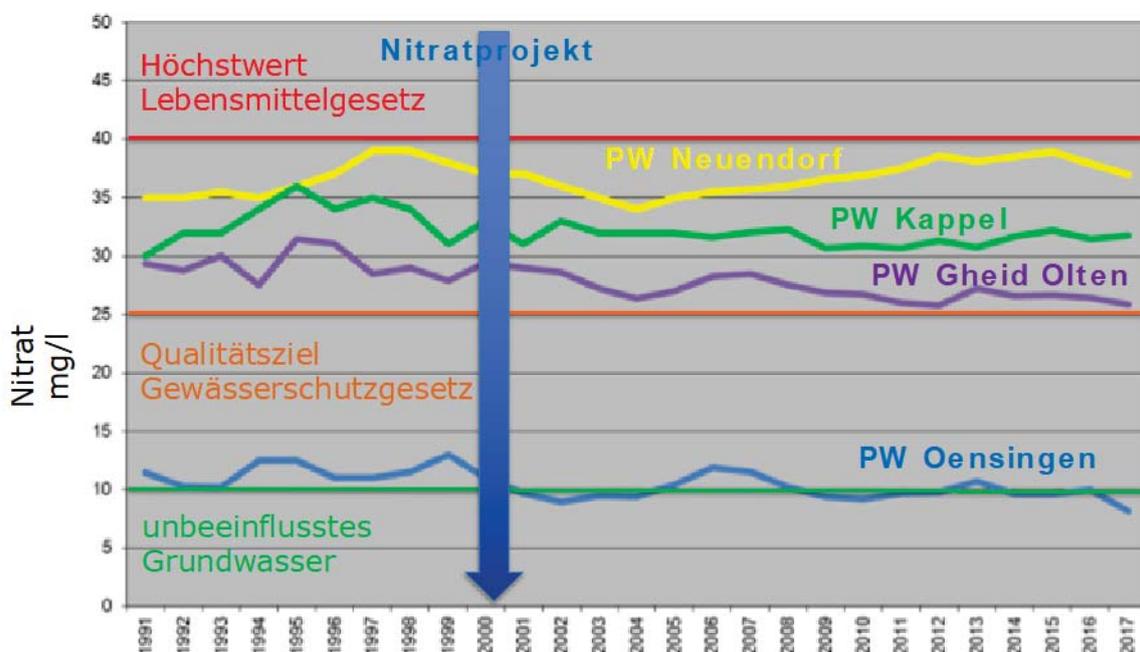


Abb. 6: Nitratganglinien ausgewählter Trinkwasserfassungen im Projektgebiet.

Zudem sollen ab diesem Jahr auch Massnah-  
men im Feldgemüsebau umgesetzt werden, der  
zu einer besonders hohen Nitratauswaschung  
führt. Aufgrund der hohen Wertschöpfung die-  
ser Branche konnte das Nitratprojekt bis anhin  
im Gemüsebau aber weder Massnahmen um-  
setzen noch finanzieren. Das Forschungspro-  
jekt NitroGäu soll aufzeigen, wie der Gemü-  
sebau künftig auch einen Beitrag zur Nitratredu-  
ktion liefern kann.

### Das Projekt NitroGäu (Else Bünemann)

Am vierjährigen Projekt unter der Leitung vom  
FiBL sind zwei Universitäten (ETH Zürich und  
Universität Neuenburg), zwei Forschungsinsti-  
tutionen (FiBL und Agroscope) und ein privates  
Büro (TerrAquat) beteiligt. Diese Forschungs-  
partner werden vom Amt für Umwelt Solothurn  
und vom landwirtschaftlichen Bildungszentrum  
Wallierhof des Kantons Solothurn fachlich sowie  
bei der Kontaktaufnahme mit den Landwirten

und Kommunikation mit weiteren Interessenver-  
tretern unterstützt. Finanziert wird das Projekt  
vom Kanton Solothurn, dem Bundesamt für  
Landwirtschaft sowie Eigenleistungen der For-  
schungspartner.

Das Projekt (Abb. 7) beinhaltet Literaturstudien  
über Nitratauswaschung im Acker- und Gemü-  
sebau, einen Lysimeterversuch zur Bewirt-  
schaftung der Ernterückstände im Gemüsebau,  
ein Monitoring der Nitratverluste unter Acker-  
und Gemüsebau in der Region Gäu-Olten sowie  
zwei Dissertationen, in denen hydrologische  
Prozesse (1.2) und der Verbleib von Hofdünger  
(1.3) vertieft untersucht werden. Das Ziel des  
Projekts ist es, das aktuelle Punktesystem „Nit-  
ratindex“, das als Grundlage für die Entschädi-  
gungen genutzt wird, zu überprüfen und anzu-  
passen sowie Umsetzungsempfehlungen zu  
geben, wie der Nitratreintrag ins Grundwasser  
langfristig reduziert werden kann.

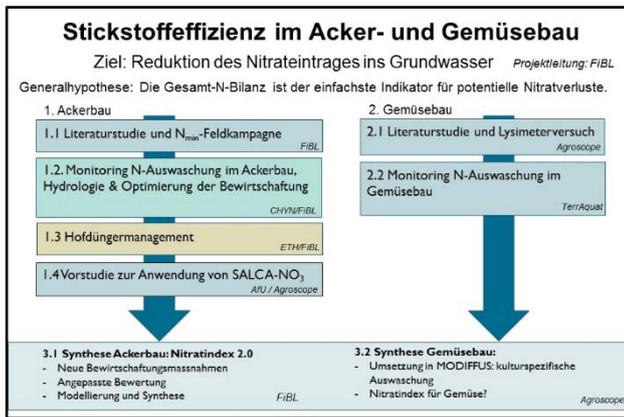


Abb. 7: Arbeitspakete des Projekts NitroGäu

Am Standort Kappel (Abb. 1) wurde ein Bodenprofil angelegt, das am Exkursionstag gezeigt wird. Im Vordergrund werden dabei insbesondere die physikalischen Eigenschaften mit Blick auf den Wassertransport im Profil stehen.

### Methoden, Ergebnisse und Massnahmen im Projekt NitroGäu

### Versuchsdesign und Messtechnik Nitratauswaschung

Für das Monitoring der Nitratauswaschung unter aktueller Bewirtschaftung wurden 11 Flächen ausgewählt, die zu 8 Betrieben gehören. Die Flächen bilden typische Fruchtfolgen in der Region ab und werden mit unterschiedlicher Intensität untersucht (Abb. 8).

### Bodenprofil und Bodendaten (Terraquat)

Feld	Fruchtfolge						Untersuchungen				
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Nmin	SIA	SK	VMS	Drohne
BIK1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x			
BIK2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x			
BIK3	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x			
BIK4	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x			
BIK5	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x			
BIK6 / HYD1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x	x		x
HYD2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x	x		x
HYD3	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x		x	x
HYD4	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x	x		x
HYD5	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x	x		x
HYD6	Green	Green	Green	Green	Green	Green	x	x			x

Kunstwiese | Mais | Raps | Zwischenfrucht | Getreide | unklar

Abb. 8: Fruchtfolgen auf den untersuchten Flächen zwischen Herbst 2017 und Herbst 2020, mit Angabe der jeweils installierten Messgeräte und Untersuchungsmethoden.

### N<sub>min</sub>-Kampagnen (Hannah Wey)

Jeweils Mitte Oktober und Mitte Februar, also am Ende und zu Beginn der Vegetationszeit, werden auf den 11 Feldern mit unterschiedlichen Fruchtfolgen jeweils Bodenproben genommen (Abb. 8). Dabei werden mit einem automatischen Stechgerät pro Fläche 10 Einstiche getätigt. Pro Schlag wird je eine Mischprobe pro Horizont (0-30, 30-60, 60-90 cm) erstellt und anschliessend im Labor extrahiert und auf mineralischen Stickstoff (N<sub>min</sub>), also Nitrat- und Ammonium, untersucht. Mit den Herbstkampagnen soll die Wahrscheinlichkeit der Stickstoffauswaschung im Herbst und Winter abgeschätzt werden. Zugleich wird das lokale Punktesystem, der Nitratindex, welcher zu einem grossen Teil auf N<sub>min</sub>-Gehalten im Boden im Herbst basiert,

auf seine Richtigkeit überprüft. Mit den Frühlingskampagnen wird gemessen, wieviel Stickstoff während des Winters tatsächlich ausgewaschen wurde. Mithilfe des N<sub>min</sub>-Vorrats im Frühjahr kann ausserdem für Kulturen wie Getreide und Raps abgeschätzt werden, wie gross die erste Düngergabe sein muss.

### **Selbstintegrierende Akkumulatoren (SIAs) (TerrAquat)**

Die Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA) beruhen auf dem Prinzip, dass das Sickerwasser unterhalb der durchwurzelt Zone (Grundwasserneubildung) durch ein Sand-Adsorber-Gemisch mit bekannter Fläche geleitet wird. Dabei entziehen die eingesetzten Ionentauscher-Adsorber dem Sickerwasser Nitrat und Ammonium, bei Bedarf auch weitere Ionen, während das Wasser weiter sickert. Durch Machart und Einbaumethode (Patent: DE197 26 813) wird sichergestellt, dass unter vielen Bodenbedingungen repräsentative Flüsse gemessen werden. Um die heterogenen Fließverhältnisse im Boden zu berücksichtigen und abzubilden, werden pro Fläche/Variante mindestens 10 Wiederholungen benötigt (Bischoff, 2007). Als Ergebnis bekommt man den Nitrat-/Ammoniumverlust mit dem Sickerwasser als Fracht in kg N pro ha und Jahr. Unter Berücksichtigung von Düngung und Entzug kann so die N-Massenbilanz geschlossen werden. Vorteil der Methode ist, dass während der Messzeit keine Betreuung und kein Eingriff auf der Fläche nötig ist, so dass sie auch auf Praxisbetrieben ohne Einschränkung des Betriebsablaufs eingesetzt werden kann. Nachteil ist die geringe zeitliche Auflösung (ein kumulierter Verlustwert pro Messperiode).

### **Saugkerzen (Hannah Wey)**

In vier real bewirtschafteten Untersuchungsfeldern wurden Saugkerzen installiert (Abb. 8). Sämtliche Leitungen sind unter der Pflugsohle verlegt, damit der Landwirt das Feld weiterhin nach seinen Gewohnheiten bewirtschaften kann. An die Saugkerzen ist eine Vakuumpumpe angeschlossen, womit monatliche Proben von Bodenwasser gewonnen werden können. Diese werden anschliessend im Labor mit Ionenchromatographie unter anderem auf Nitrat, Nitrit und Ammonium getestet. Damit wird eine höhere zeitliche Auflösung als mit den vorherig genannten Methoden erreicht, womit die Frage nach kritischen Auswaschungszeitpunkten untersucht wird. Die Saugkerzen wurden mit weiteren Sonden kombiniert, die Bodenfeuchte und -temperatur aufzeichnen.

### **VMS (Hannah Wey)**

In einem Feld wurde ein sogenanntes «Vadose Zone Monitoring System», kurz VMS, installiert (Abb. 8). Das grobe Funktionsprinzip ist ähnlich wie dasjenige der Saugkerzen. Allerdings reicht das Messsystem bis in eine Tiefe von etwa sechs Metern, was ungefähr dem Grundwasserspiegel entspricht. Mit Hilfe der vier eingebauten Ports in der ungesättigten Zone werden monatliche Bodenwasserproben aus verschiedenen Tiefen und ergo verschiedenen Alters genommen. Diese werden im Labor auf Nitrat, Nitrit, Ammonium und auch auf Wasserisotope untersucht. Somit sollen die Transportprozesse von Schadstoffen in der ungesättigten Zone beleuchtet werden, unter anderem die Transportgeschwindigkeit.

### **Hofdüngermanagement: Einsatz von stabilen Isotopen (Hanna Frick)**

Hofdüngern wird ein erhöhtes Nitratauswaschungsrisiko zugeschrieben, da die pflanzenverfügbare Stickstoffmenge nicht so exakt zu kontrollieren und die ausgebrachte Menge an Gesamtstickstoff in der Regel deutlich höher ist als bei rein mineralischer Düngung. Ziel dieses Arbeitspakets ist es, ein besseres Verständnis über den Verbleib und die Nachwirkung von Güllestickstoff im Feld über mehrere Jahre zu bekommen und damit verbesserte Empfehlungen zum Einsatz von Gülle geben zu können.

In einem Feldversuch arbeiten wir dazu mit Rindergülle sowie Mineraldünger, die mit dem stabilen Stickstoffisotop <sup>15</sup>N markiert sind. Zur Produktion von <sup>15</sup>N-markierter Rindergülle wurde zunächst <sup>15</sup>N-markiertes Heu produziert, welches anschliessend an ein junges Rind verfüttert wurde. Die markierten Dünger (sowie eine 0N-Kontrolle) wurden in Mikroplots auf zwei Feldern mit versetzter Fruchtfolge ausgebracht: Feld A: Silomais – Winterweizen – Zwischenfutter; Feld B: Kunstwiese – Silomais – Winterweizen. Auf beiden Feldern wird nun über den Zeitraum der genannten Fruchtfolgen der Verbleib des in 2018 ausgebrachten Düngerstickstoffs nachverfolgt und eine möglichst vollständige Stickstoffbilanz erstellt. Zu den erhobenen Daten gehören: Nitratauswaschung (mittels Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIAs),

Wechsel nach jeder Kultur), wiederholte Messung von Gesamtstickstoff, mineralischem und mikrobiellem Stickstoff im Boden sowie Stickstoffaustrag mit der geernteten Biomasse. Zusätzlich wurden in den ersten 60 h nach Düngerausbringung die Ammoniakemissionen mit Hilfe von Säurefallen gemessen (Vandre and Kaupenjohann, 1998). Bis zur Exkursion werden die Daten des ersten Jahres vorliegen.

**Gemüsebaupraxis im Wasserschutzgebiet (W.-A. Bischoff, A. Schwarz, V. Müller, E. Bünnemann)**

**Einleitung**

Neben Ackerbau und Grünland befinden sich auch mehrere intensiv produzierende Gemüsebaubetriebe im hydrologischen Einzugsgebiet der belasteten Brunnen in der Region Gäu-Olten. Der Gemüsebau gilt als problematisch für den Grundwasserschutz, weil a) mehrere Kulturen (Sätze) pro Jahr zu Düngegaben von bis zu 400 kg N\*ha<sup>-1</sup>\*a<sup>-1</sup> führen können, b) minimale Qualitätsmängel zur Nicht-Vermarktbarkeit führen und c) die Erntereste häufig mehr als die Hälfte der produzierten Biomasse (z.B. bei Brokkoli) ausmachen. Hinzu kommen weitere Faktoren wie intensive Bodenbearbeitung und Bewässerung, die das Risiko von N-Austrägen erhöhen, sowie das Risiko, dass erntereife Bestände nicht von den tagesaktuellen Märkten abgenommen werden.

In der Projekt-Region liegen über die Bewirtschaftung und die Auswirkungen auf das Grundwasser bisher keine Informationen vor. Daher sollten in einem ersten Schritt die N-Verluste im Gemüsebau stichprobenartig gemessen werden.

**Betrieb und Methoden**

Der Betrieb Viktor Müller bewirtschaftet 80 ha fast ausschließlich im Gemüsebau. Er ist damit einer der größten Produzenten in der Region. Alle Flächen werden bei Bedarf bewässert. Er beschäftigt 10 Personen fest angestellt. Hinzu kommen bis zu 28 saisonale Kräfte ab Pflanzbeginn (ca. Anfang März) bis zu den letzten Ernten (ca. Ende Oktober). Der Betrieb produziert v.a. Ware für Kunden mit hohen Qualitätsansprüchen, z.B. im Pflück- und Fertigsalatsektor, bei denen insbesondere die Optik der Produkte hervorragend sein muss. Daher werden die Kulturen intensiv gepflegt, mit hohen Düngergaben, Bewässerung und Pflanzenschutz.

In Zusammenarbeit mit dem Betrieb Viktor Müller werden seit Anfang 2018 auf 5 Praxisflächen die Kulturenblätter (Schlagkarteien) ausgewertet, die Nitrat-Auswaschung aus dem Wurzelraum mittels Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA) gemessen und teilweise Ernteerhebungen zum Verbleib der Biomasse durchgeführt

Tab. 1: Messungen zur Nitrat-Auswaschung mit Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA)

Jahr	Anzahl Schläge	Messperioden	Anzahl SIA je Schlag	Anzahl SIA gesamt	Summe
2018	1	4	12	48	156
	1	3	12	36	
	3	2	12	72	

Auf den Schlägen wurden Kulturen unterschiedlicher Dauer angebaut, darunter unterschiedliche Salatsorten mit Kulturauern zwischen 4 und 8 Wochen sowie Brokkoli oder Rotkohl mit einer Kulturdauer von mehreren Monaten. Es wurden exemplarisch Ernteerträge, Erntereste, N-Entzüge, N<sub>min</sub>-Werte, Düngemengen und Bewirtschaftungsdaten erfasst und ausgewertet.

**Diskussion**

Aus den exemplarischen Daten wurden Teil-N-Bilanzen erstellt, die bei der Exkursion vorgestellt und diskutiert werden. Die intensive Bewirtschaftung zeigte sich in den Ergebnissen zur N-Bilanz. Die Ausnutzung durch Pflanzenaufnahme lag zwischen 33 % und 70 % der eingesetzten N-Düngemenge. Der Quotient aus N-Abfuhr / N- Düngung betrug teils nur 11 %. Dieser hohe N-Überschuss ist sowohl durch den

hohen Anteil Erntereste, die auf dem Feld verbleiben, als auch durch das Mulchen nicht verkäuflicher Ware begründet.

Während der Exkursion sollen sowohl die Umweltwirkungen der Bewirtschaftung als auch die Optionen des Betriebs diskutiert werden.

## **Literatur**

- Bischoff, W.-A. 2007. Entwicklung und Anwendung der Selbst-Integrierenden Akkumulatoren: Eine Methode zur Erfassung der Sickerfrachten umweltrelevanter Stoffe, Technische Universität Berlin, pp. 145.
- Hauert, Christine, Gaby von Rohr, Stephan Margreth, Anina Schmidhauser, Thomas Gasche. 2017: Böden im Kanton Solothurn. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons Solothurn, Heft 43, 2017, S. 49–175. Verfügbar unter [https://www.so.ch/fileadmin/internet/bjd/bjd-afu/20\\_Boden/2\\_Boden/fb-17-04\\_Boeden\\_im\\_Kanton\\_Solothurn.pdf](https://www.so.ch/fileadmin/internet/bjd/bjd-afu/20_Boden/2_Boden/fb-17-04_Boeden_im_Kanton_Solothurn.pdf)
- Vandre, R. & Kaupenjohann, M. 1998. In situ measurement of ammonia emissions from organic fertilizers in plot experiments. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 467-473.
- Berichte zur Hydrogeologie und zum Nitratprojekt sind zu finden unter: <https://www.so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/grundwasser/schutz/nitratprojekt-gaeu-olten/>

# G-04: 40 Jahre Forschung für den biologischen Landbau: Langzeitversuche zum Vergleich von Agrarsystemen im DOK-Versuch (Therwil, Basel-Landschaft) und zu konservierender Bodenbearbeitung (Frick, Aargau)

Markus Steffens, Maïke Krauss, Andreas Fliessbach, Paul Mäder

Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Ackerstrasse 113, CH-5070 Frick, Schweiz

## Allgemeine Informationen

Die Exkursion findet am Sonntag, dem 25.08.2019 als ganztägige Exkursion statt und

beginnt in Bern. Im Laufe des Tages werden zwei Standorte im weiteren Umland der Stadt Basel mit einem Bus angefahren, bevor die Exkursion wieder in Bern endet (Abb. 1).

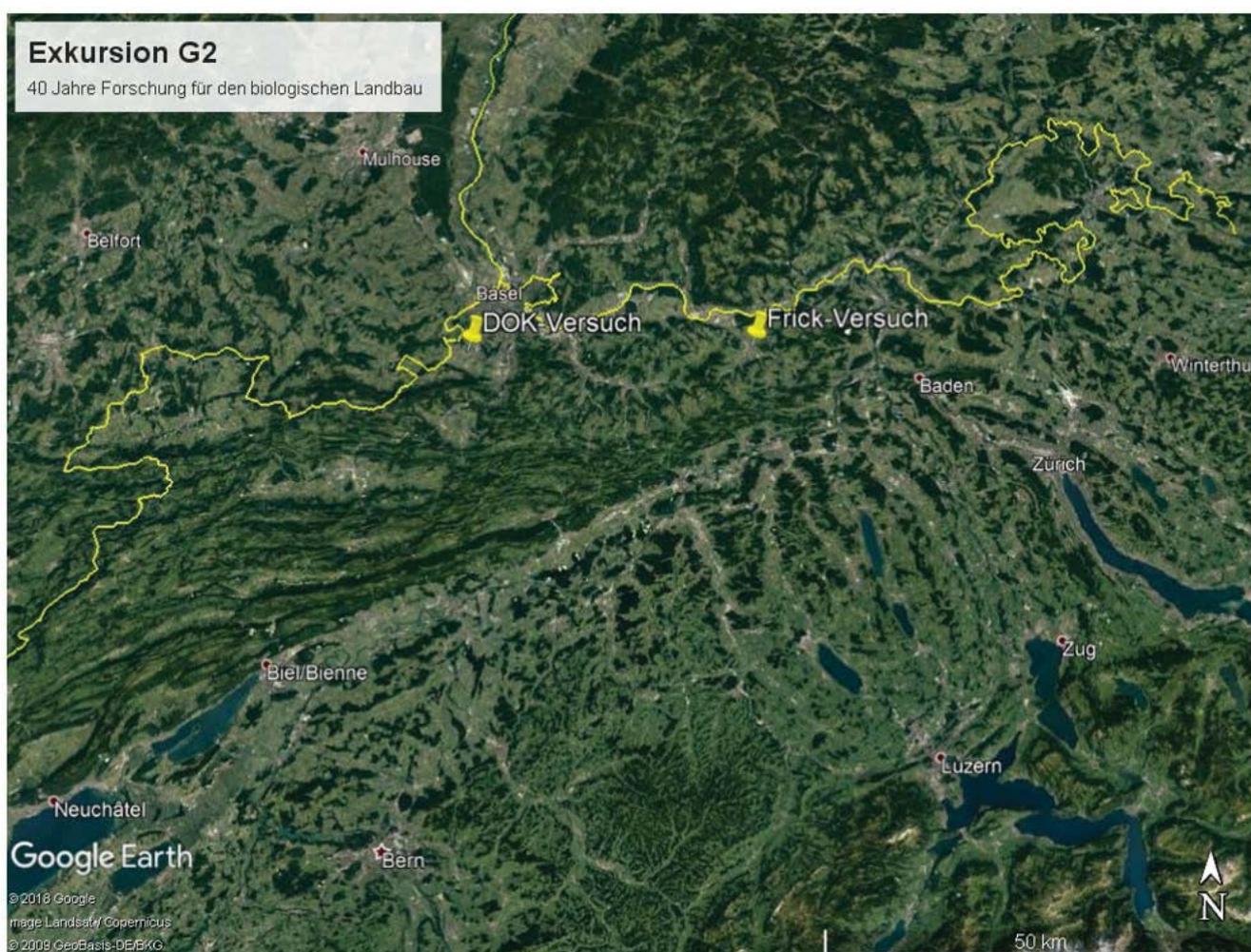


Abb. 1: Der Großraum Basel, mit Markierungen für die zwei anzufahrenden Standorte in Gelb und der wichtigsten Ortschaften zur Orientierung in Rot.

## Hintergrund der Exkursion

Die landwirtschaftlich genutzten Böden sind europaweit großen Belastungen ausgesetzt und Alternativen für eine nachhaltige Bodennutzung sind dringend notwendig. Neben der Produktion

von Lebensmitteln sind weitere Ökosystemleistungen wie die Erhaltung der Biodiversität, Erosionskontrolle und Klimaregulierung von zentraler Bedeutung. Weil Böden gut gepufferte Ökosysteme sind, braucht es zur Erfassung von Bewirtschaftungseffekten Langzeitversuche, in denen

landwirtschaftliche Anbausysteme oder einzelne Systemkomponenten wie Düngung, Bodenbearbeitung und Pflanzenschutz über lange Zeiträume realitätsnah in Feldversuchen getestet werden.

Das Departement für Bodenwissenschaften des Forschungsinstituts für biologischen Landbau FiBL untersucht zusammen mit Agroscope seit 1978 die Auswirkungen von Anbausystemen im **DOK** Versuch (Vergleich bio-**D**ynamisch, bio-**O**rganisch und **K**onventionell). Der Versuch befindet sich in Therwil (Kanton Basel-Landschaft) auf einer Parabraunerde, die sich aus einem Löss entwickelt hat. Während in den ersten Jahrzehnten die Produktivität und chemische Bodeneigenschaften im Fokus der Forschung standen, liegen die Schwerpunkte heute im Bereich der Biodiversität, von C-, N- und P-Nährstoffkreisläufen, sowie der Klimawirkung der Systeme. Interessant ist dabei, dass der Versuch in einem partizipativen Ansatz von Landwirten und Forschern gemeinsam initiiert wurde, und die Landwirte weiterhin eine wichtige Beraterrolle einnehmen, wenn es um Fragen der praxisgerechten Bewirtschaftung und neue Forschungsthemen geht. Der DOK Versuch hat sich immer als offene nationale

und internationale Forschungsplattform verstanden, wovon die über 120 peer-reviewten Publikationen und zahlreiche Vorträge und Fachartikel zeugen.

Das Departement für Bodenwissenschaften befasst sich auch intensiv mit der Entwicklung und Anpassung neuer Technologien und Systemkomponenten für die Optimierung der Landwirtschaft. Obwohl im Ökolandbau der natürlichen Horizontierung des Bodens sehr viel Beachtung geschenkt wurde, wurde das Konzept «flach Wenden – wenn nötig tief Lockern» in der Praxis nur bedingt umgesetzt. Infolge des Aufkommens des No-till-Konzepts, hat das FiBL nach praktikablen, reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren gesucht. Unter anderem wurden zu diesen Fragestellungen zwei große EU Projekte (TILMAN-ORG und FERTILCROP) geleitet. Indiz für den Erfolg solcher Ansätze ist dabei die Aktivität der Landmaschinenindustrie: Im letzten Jahrzehnt entwickelten Ingenieure und Maschinenbauer eine Serie von Flachgrubbern, Schälplügen, und weitere Geräten für eine schonende Bodenbearbeitung. Die Forschungsarbeiten in den wiederholten Feldversuchen bieten im Tandem mit partizipativer Forschung mit Betriebsleitern ein Maximum an praxisrelevanten Erkenntnissen.



Abb. 2: Luftbild des DOK-Versuchs in Therwil (Basel-Landschaft)

Seit 2002 führt das FiBL daher einen Bodenbearbeitungsversuch in Frick (Kanton Aargau) auf einem tonigen Lehm über jurassischen Sedimenten durch. Die Ergebnisse aus den EU-Projekten und der eigenen Forschung sind nicht nur wichtig für Landwirte und Berater, sondern auch für Politiker und die Gesellschaft eine wichtige Grundlage für die Bemessung von Unterstützungszahlungen für eine umweltfreundliche Produktion, wo Zahlungen direkt gekoppelt an Ökosystemdienstleistungen ausgeschüttet werden. Der weltbekannte und älteste DOK Systemvergleichsversuch zwischen Bio und konventionell feiert dieses Jahr sein 40-jähriges Bestehen, was wir mit einer Tagung auf dem Monte Verità bei Ascona im Tessin feiern. Auf dieser Exkursion lernen wir die Geologie und die Böden des Leimentals bei Basel und des Fricktals kennen und besuchen den DOK- und den Frick-Versuch. Neben den Feldversuchen stellen wir Ihnen des weiteren Projekte zu Bodenqualität (H2020 Projekt iSQAPER), Klimaeinfluss, Qualität der organischen Substanz und Bodenmetagenom vor.

## Der DOK-Versuch

In einem praxisnahen Versuchsdesign werden seit 1978 der bio-Dynamische, bio-Organische und Konventionelle Anbau von Ackerkulturen wie Weizen, Kartoffel, Mais, Soja oder Klee gras am selben Standort verglichen. Zusätzlich werden ein rein mineralisch gedüngtes und viehloses, konventionelles Verfahren (M) und eine ungedüngte Kontrolle geführt (Abb. 2).

### Standort und Versuchsanlage

Der DOK-Versuch befindet sich im Leimental bei Basel auf 300 m ü. NN auf dem Birsmatthof (33' E, 47° 30' N.). Die Jahresmitteltemperatur beträgt 9.5°C, der mittlere Jahresniederschlag 792 mm. Der Boden ist eine tiefgründige, schwach pseudovergleyte Parabraunerde auf Löss. Der Ap-Horizont setzt sich aus 15% Sand, 70% Schluff und 15% Ton zusammen und wies bei Versuchsbeginn einen pH-Wert (H<sub>2</sub>O) von 6.3 und 15 mg g<sup>-1</sup> C<sub>org</sub> auf.

Tab. 1: Die Bewirtschaftungssysteme des DOK-Versuchs in einer siebenjährigen Fruchtfolge

Landwirtschaftliche Massnahmen	Biologische Anbausysteme		Konventionelle Anbausysteme (Integriert seit 1985)	
	Bio-dynamisch D1 + D2	Bio-organisch O1 + O2	Mineraldünger mit Mist K1 + K2	Mineraldünger M2
Düngung	Mistkompost und Gülle	Angerotteter Mist und Gülle	Stapelmist, Gülle und Mineraldünger	Mineraldünger
Pflanzenschutz	Mechanisch, Pflanzenextrakte Bio-control	Mechanisch, Pflanzenextrakte Bio-control	Herbizide, Insektizide, Fungizide nach wirtschaftlichen Schadenschwellen	Herbizide, Insektizide, Fungizide nach wirtschaftlichen Schadenschwellen
Zusätzliche Behandlungen	Bio-dynamische Präparate	Kupfer bei Kartoffeln	Wachstumsregulatoren (CCC)	Wachstumsregulatoren (CCC)

Die ungedüngte Kontrolle wird entsprechend des Verfahrens Bio-dynamisch bewirtschaftet

Der Versuch ist als Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt (Abb. 2). Jeweils drei Kulturen der insgesamt siebenjährigen Fruchtfolge werden pro Jahr nebeneinander in jeweils zwei Düngungsstufen (D1, D2, O1, O2, K1, K2) angebaut. Die praxisübliche Düngungsstufe 2 entspricht in allen Verfahren 1,4 Düngergrossvieheinheiten (DGVE)/ha, während Düngungsstufe 1 0,7 DGVE/ha entspricht. Zusätzlich werden ein rein mineralisch gedüngtes Verfahren M (nur Düngungsstufe 2) und eine ungedüngte Kontrolle (N) geführt, sodass insgesamt 8 Verfahren im Ver-

gleich stehen (Tab. 1). Mit vier Feldwiederholungen und drei Kulturen ergeben sich 96 Parzellen von je 100 m<sup>2</sup> (5 x 20 m<sup>2</sup>). Seit 1985 werden K1, K2 und M gemäss den Anforderungen der integrierten Produktion bewirtschaftet. Die Anbausysteme des Versuchs unterscheiden sich vor allem bezüglich Düngung und Pflanzenschutz, während Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Sortenwahl bei allen Verfahren gleich sind (Tab. 2).

Tab. 2: Bisherige Fruchtfolgen im DOK-Versuch

Fruchtfolge	I	II	III	IV	V	VI
Periode	1978-1984	1985-1991	1992-1998	1999- 2005	2006-2012	2013-2019
Jahr 1	Kartoffeln	Kartoffeln	Kartoffeln	Kartoffeln	Silomais	Silomais
Jahr 2	Winterweizen 1	Soja				
Jahr 3	Weißkohl	Rote Beete	Rote Beete	Soja	Soja	Winterweizen 1
Jahr 4	Winterweizen 2	Winterweizen 2	Winterweizen 2	Silomais	Kartoffeln	Kartoffeln
Jahr 5	Gerste	Gerste	Kleegras 1	Winterweizen 2	Winterweizen 2	Winterweizen 2
Jahr 6	Kleegras 1	Kleegras 1	Kleegras 2	Kleegras 1	Kleegras 1	Kleegras 1
Jahr 7	Kleegras 2	Kleegras 2	Kleegras 3	Kleegras 2	Kleegras 2	Kleegras 2

### Ergebnisse

Über die gesamten 40 Jahre produzierten die organischen Anbausysteme 80% der konventionellen Erträge, bei 30-50% weniger Aufwand an Düngern und fossiler Energie. Daraus leitet sich ab, dass die organischen Systeme effizienter produzierten. Einzig im bio-dynamischen System blieb der Humusgehalt über die Zeit annähernd stabil, während er in allen übrigen Systeme Humus abnahm. Bei halber Düngung und im mineralischen konventionellen System nahmen die Humusgehalte sogar signifikant ab (Fließbach et al., 2007). Einen sehr grossen Einfluss hatte die Bewirtschaftung auf die biologische Aktivität der Böden. Die Abundanz der Bodentiere (Laufkäfer, Kurzflügler und Regenwürmer) als auch die Biomasse und Aktivität der Mikroorganismen waren bei organischer Bewirtschaftung erhöht (Mäder et al., 2002). Die höhere biologische Aktivität ist korreliert mit der Aggregatstabilität. Auch die Diversität der Mikroorganismen, erfasst mit molekularbiologischen Methoden wurde durch organische Bewirtschaftung gefördert. In einem Folgeprojekt untersuchten wir, ob die höhere biologische Aktivität sich auch funktionell auswirkt und fokussierten auf die Stickstoffmineralisierung. Dabei hat sich im Modellversuch gezeigt, dass bei feuchten Bedingungen der organische Stickstoff einer Lupinengründung in Böden aus organisch und konventionell bewirtschafteten Versuchspartellen gleich intensiv mineralisiert wurde, hingegen bei trockenen Bedingungen die N-Mineralisierung im organischen System erhöht war. Dies wurde

mit einer erhöhten Diversität der Mikroorganismen erklärt, welche für die Proteolyse, dem ersten Schritt der N-Mineralisierung verantwortlich sind. Nicht nur die Adaptation an Trockenstress war bei organischer Bewirtschaftung erhöht (Lori et al., 2017). Die organischen Systeme emittierten pro Flächeneinheit auch deutlich weniger Treibhausgase. Neue Projekte fokussieren auf die Kohlenstoffsequestrierung in der Mineralphase und auf das Bodenmetagenom in den verschiedenen Systemen.

### Der Frick-Versuch

#### Standort und Versuchsanlage

Seit 2002 wird in einem Parzellenversuch auf dem Gelände des FiBL der Einfluss der konservierenden Bodenbearbeitung und von biologisch-dynamischen Präparate und Düngung untersucht. Zielsetzung ist die Bodenfruchtbarkeit bei gleichbleibender Ertragsleistung weiter zu steigern und somit die Nachhaltigkeit des Biolandbaus zu verbessern. Der Versuch wurde auf einer schwach pseudovergleyten Braunerde aus kolluvialem Material angelegt (Abb. 3). Der Boden besteht im Mittel aus 45% Ton, 27% Schluff und 28% Sand. Der Kohlenstoffgehalt betrug zu Beginn des Versuchs 22 mg g<sup>-1</sup> bei einem pH (H<sub>2</sub>O) von 7,1.

Im faktoriellen Vergleich stehen sich je zwei Bearbeitungs- (Pflug vs. Reduziert) und Düngungssysteme (Vollgülle vs. Reduzierte Bodenbearbeitung), sowie der Einsatz biodynamischer Präparate (ohne vs. mit) gegenüber (Tab. 3 und Abb.

4). Der Versuch ist mit 12×12 m<sup>2</sup> Parzellen in einer Streifen-Spalтанanlage angelegt und kann mit praxisüblichen Maschinen bearbeitet werden.

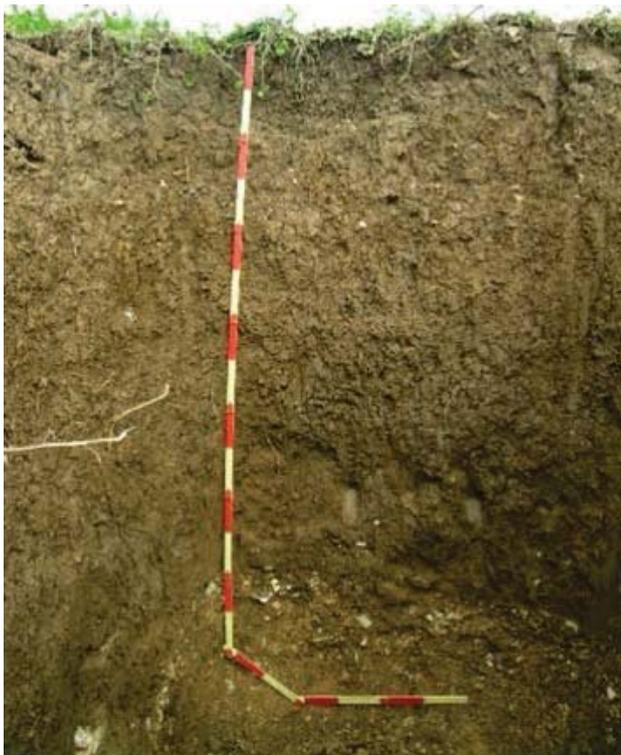


Abb. 3: Profil der tonigen Braunerde im Frick-Versuch (Quelle: Alfred Berner, FiBL, 2007)

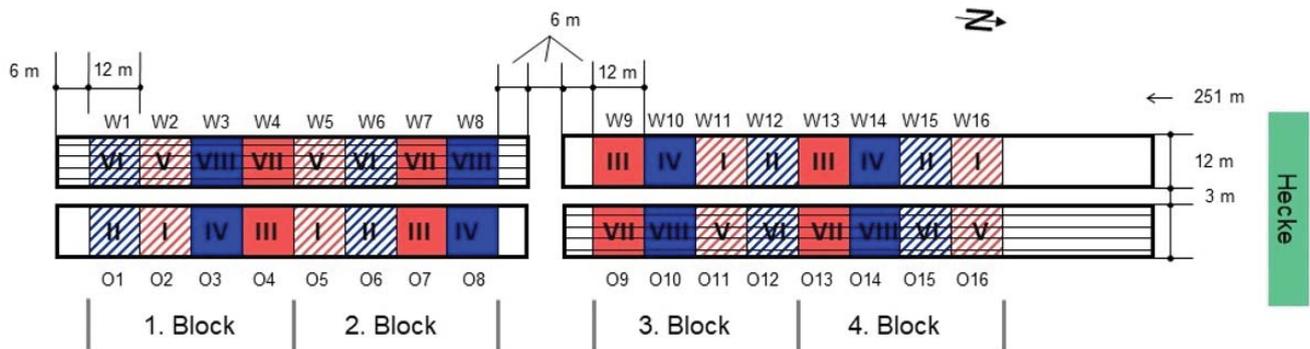
### Ergebnisse

Die Erträge im reduzierten Verfahren waren gegenüber dem Pflug über drei Fruchtfolgen hinweg im Schnitt auf gleichem Niveau. Mehrererträge gab es unter trockenen Witterungsbedingungen im Klee-gras und den nachfolgenden Kulturen, die von dem zusätzlichen Stickstoff des Klees und einer Erbsen-Zwischenfrucht profitierten. In den letzten Jahren zeigt der Trend jedoch hin zu leichteren Mindererträgen, v.a. in den Getreidekulturen. Das Aufkommen von Unkräutern war im reduzierten System in allen Jahren deutlich höher. Auch wurde eine Verschiebung in Richtung mehrjähriger Unkräuter verzeichnet (Armengot et al., 2015). Weiterhin hatten die reduziert bearbeiteten Oberböden (0-10 cm) 25% mehr Humus (Krauss et al., 2017), 32-34% mehr mikrobielle Biomasse und Aktivität, sowie eine bessere Bodenstruktur und eine höhere Wasserspeicherfähigkeit (Stand 2018).

In weiteren Untersuchungen wurden im Laufe der Jahre ein erhöhtes Vorkommen von Regenwürmern, Pilzen und Protozoen im reduzierten System nachgewiesen werden (Kuntz et al., 2013).

Tab. 3: Charakteristika des Frick-Versuchs

<b>Versuch</b>	Start im Herbst 2002, Fläche Bio-zertifiziert seit 1995
<b>Lage, Klima</b>	350 m ü. NN, 1083 mm, 10,2 °C
<b>Versuchsdesign</b>	3-faktorielle Streifen-Spalтанanlage, 4 Feldwiederholungen, 8 Verfahren mit den Faktoren Bodenbearbeitung: Pflug (15-18 cm) vs. Reduziert (5-10 cm, Grubber, Schälplflug) Düngung: Vollgülle vs. Mistkompost/Gülle (normalisiert auf ca. 100-120 kg N <sub>tot</sub> pro Jahr) Biodynamische Präparate: mit vs. ohne
<b>Fruchtfolge</b>	1./2. Periode: 6-gliedrig mit Silomais, Winterweizen + Zwischenfruchtmischung, Sonnenblume, Dinkel, 2 Jahre Kunstwiese;
<b>Boden</b>	ab 2014: 5-gliedrig mit Winterweizen, Silomais, Dinkel, 2 Jahre Kunstwiese Tonreiche Braunerde, 45% Ton, 27% Schluff, 28% Sand, pH (H <sub>2</sub> O) 7,1, C <sub>org</sub> bei Versuchsbeginn 22 mg×g <sup>-1</sup>



Verfahren			
	Präparate	Düngung	Bodenbearbeitung
I	Ohne	Mistkompost/Gülle	Pflug
II	Mit	Mistkompost/Gülle	Pflug
III	Ohne	Gülle	Pflug
IV	Mit	Gülle	Pflug
V	Ohne	Mistkompost/Gülle	Reduzierte Bodenbearbeitung
VI	Mit	Mistkompost/Gülle	Reduzierte Bodenbearbeitung
VII	Ohne	Gülle	Reduzierte Bodenbearbeitung
VIII	Mit	Gülle	Reduzierte Bodenbearbeitung

Abb. 4: Versuchsplan des Frick-Versuchs

Zudem unterscheidet sich die Zusammensetzung der Mykorrhizapilze zwischen den Bodenbearbeitungssystemen (Säle et al., 2015). Es konnten nur wenige Auswirkungen des Düngungssystems festgestellt werden. Im Vollgüllesystem gab es tendenziell höhere Erträge, während die zusätzliche Gabe von Mistkompost den Humusgehalt im Oberboden um rund 6% erhöhte. Die biodynamischen Präparate hatten bisher keine Wirkung auf Bodenfruchtbarkeit und Erträge.

### Literatur

- Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J., Mäder, P., Sans, F.X., 2015. Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy of Sustainable Development* 35, 339-346.
- Fliessbach, A., Oberholzer, H.R., Gunst, L., Mäder, P., 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118, 273-284.
- Krauss, M., Ruser, R., Müller, T., Hansen, S., Mäder, P., Gattinger, A., 2017. Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley - winter wheat cropping sequence. *Agriculture Ecosystems & Environment* 239, 324-333.
- Kuntz, M., Berner, A., Gattinger, A., Scholberg, J.M., Mäder, P., Pfiffner, L., 2013. Influence of reduced tillage on earthworm and microbial communities under organic arable farming. *Pedobiologia* 56, 251-260.

- Lori, M., Symnaczik, S., Mäder, P., De Deyn, G., Gattinger, A., 2017. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity-A meta-analysis and meta-regression. *Plos One* 12.
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.
- Säle, V., Aguilera, P., Laczo, E., Mäder, P., Berner, A., Zihlmann, U., van der Heijden, M.G.A., Oehl, F., 2015. Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry* 84, 38-52.

# G-05: Jungquartäre Bodenentwicklung im Schweizer Mittelland

Heinz Veit

Geographisches Institut, Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern

## Einleitung

Die Exkursion wird uns in einem W-E-Profil durch Teile des Schweizer Mittellandes führen. In einer Chronosequenz, von jung nach alt, wird dabei die Genese der bodenbildenden Deckschichten wie auch der Böden selbst vorgestellt und die Anteile holozäner und pleistozäner Bodengeneese diskutiert. Im Vordergrund stehen dabei unterschiedlich alte Ablagerungen des letzten Glazials.

Das heutige Klima im Mittelland ist durch Jahresdurchschnittstemperaturen von ca. 8.5-10 °C charakterisiert. Die Julimittel betragen 18-20 °C,

die Januarmittel -0.5 bis 0.7 °C. Die Jahresniederschläge liegen bei 1000-1200 mm ([www.meteoschweiz.admin.ch](http://www.meteoschweiz.admin.ch); Periode 1981-2010).

## Die letzte Kaltzeit im Mittelland

Das Relief des Mittellandes und der oberflächennahe Untergrund wurden durch die Gletschervorstösse des Quartärs wiederholt überformt. Neben den glazialen und glazifluvialen Ablagerungen unterlagen die nicht vom Eis bedeckten Gebiete flächenhaft periglazialen Prozessen. Die Sedimente besitzen, entsprechend der komplexen jungquartären Gletscher- und Klimageschichte, unterschiedliches Alter, was sich in der differenzierten Ausbildung der Böden widerspiegelt.

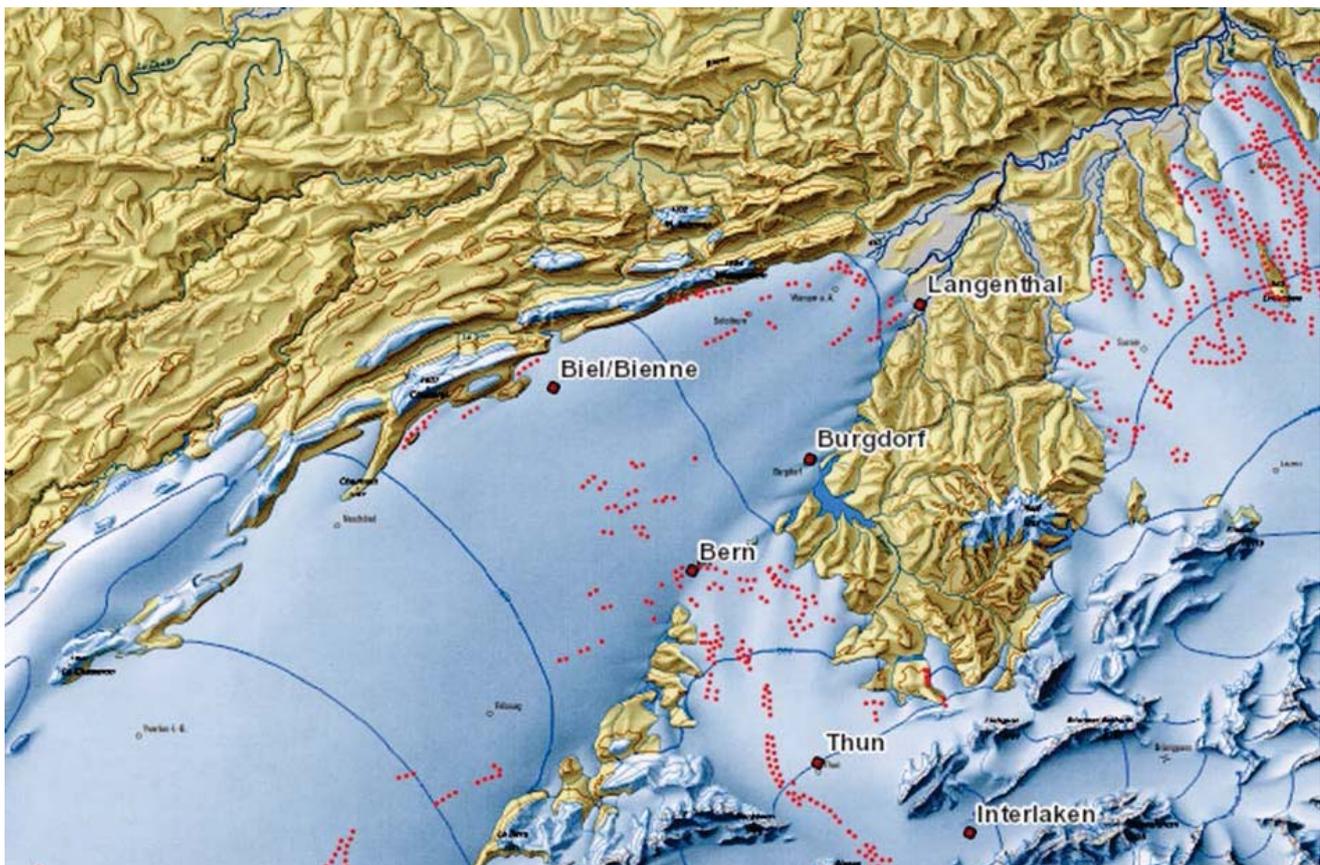


Abb. 1: Vergletscherung des Mittellandes zur Würm- (Birrfield-) Eiszeit (Quelle: Bini et al. 2009/ Swisstopo, Link zur Karte: <https://s.geo.admin.ch/7ee78a28c8>)

Die letzte Kaltzeit wird seit Penck & Brückner als Würm- bzw. in der Schweiz neuerdings als Birrfeld-Glazial bezeichnet (Preusser et al. 2011). Das Stadtgebiet von Bern wurde dabei von Aare- und Rhône-gletscher überfahren, wobei das Eis Mächtigkeiten von bis zu einigen hundert Metern erreichte und die stadtnahen Berge wie den Gurten zeitweise vollständig, den Bantiger im Maximum bis kurz unterhalb des Gipfels, bedeckte (Abb. 1). Bisher wurden Indizien für mindestens drei unabhängige Vergletscherungen gefunden, die innerhalb der Birrfeld-Eiszeit bis ins Berner Mittelland reichten (vor 105'000, 65'000 und vor 25'000 Jahren). Die Gletscherausdehnungen während dieser Perioden sind nicht genau bekannt. Die maximale letzkaltzeitliche Lage der Gletscherstirn des Rhône-Aaregletschers wird seit Nussbaum (1911) westlich von Langenthal vermutet (Abb. 1). In den wärmeren Abschnitten der Birrfeld-Kaltzeit (Interstadiale) war das Mittelland wiederholt von Gräsern, Sträuchern, Büschen und lichten Föhren-Birkenwäldern bedeckt (Welten 1982).

Im ausgehenden Hochglazial zerfiel der Rhône-Aaregletscher in zwei Individuen. Bei dem Aaregletscher markiert das «Berner Stadium» einen prominenten Halt vor ca. 19.000 Jahren (Wüthrich et al. 2018). Dem entspricht am Rhône-gletscher das «Solithurner Stadium».

Weitere Moränenstadien und entsprechende späthochglaziale bis spätglaziale Terrassen sind für das Aaretal bei Bern kennzeichnend. Vor 17'500 Jahren war das Mittelland weitgehend eisfrei. Die Wiederbewaldung setzte erst mit dem Bölling-Interstadial vor rund 14'500 Jahren ein. Am Ende der Birrfeld-Kaltzeit kam es nochmals zu einem gravierenden Kälterückschlag (Jüngere Dryas, 12'700-11'500 Jahre v.h.), der durch winterliches Treibeis bis Nordspanien, kühle Sommer, und sehr kalte Winter gekennzeichnet war. Im Seeland westlich von Bern waren in dieser Phase die Seespiegel höher. Davon zeugen Strandwälle und Dünen der Jüngeren Dryas (Standort 2.2).

Das Holozän gilt gemeinhin – bis zum massiven Eingreifen der Menschen durch Rodungen seit dem Neolithikum und vor allem seit der Bronzezeit – als stabile Waldphase mit Bodenbildung. Im Mittelland finden sich aber verbreitet Hinweise auf eine starke geomorphodynamische Aktivität und Deckschichtenbildung bis weit ins Frühholozän vor ca. 7500 Jahren.

### Standorte

Die Exkursionsroute (Abb. 2) ist durch die Aufschlussituation zum Zeitpunkt der Drucklegung (Dez. 2018) definiert. Einzelne Änderungen sind von daher möglich.

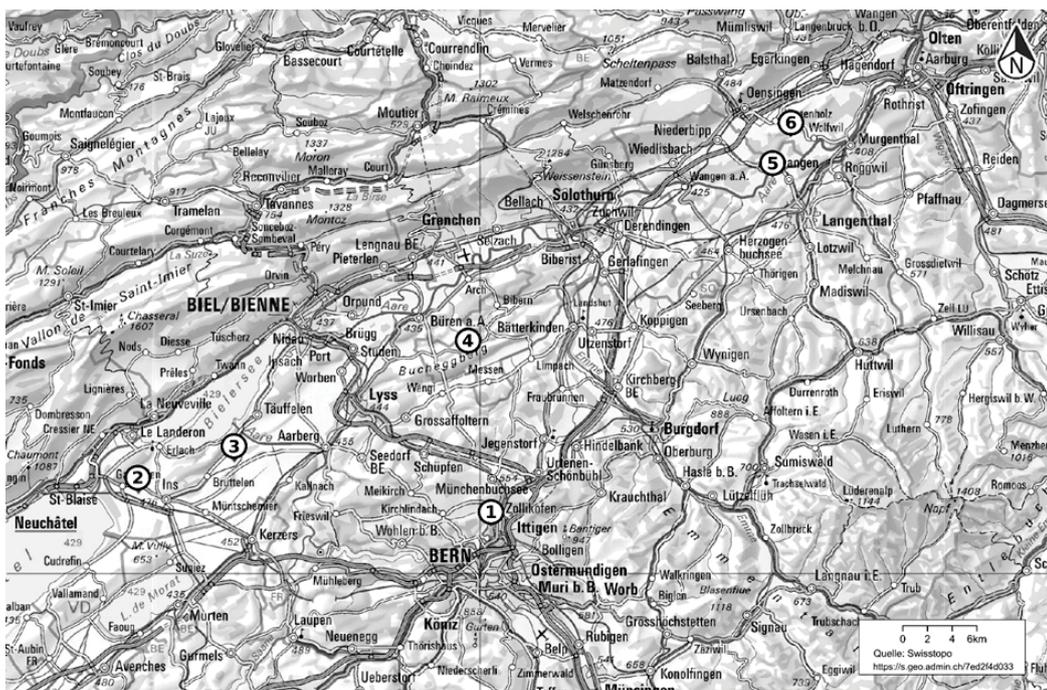


Abb.2: Exkursionsroute mit den Standorten (Quelle: Swisstopo, Link zur Karte: <https://s.geo.admin.ch/7ed2f4d033>)

## Engelhalbinsel

Die Engelhalbinsel liegt innerhalb einer Aareschleife am nördlichen Stadtrand von Bern. Hier sind mehrere Terrassenniveaus der Aare ausgebildet. Es handelt sich um glazifluviale Terrassen der Rückzugsstadien des Aaregletschers seit dem Hochstand im Bernstadium vor ca. 19.000 Jahren. Eine Sandlinse auf der jüngsten Terrasse, ca. 10 m über der Aare, wurde mit OSL auf ca. 14.000 Jahre datiert. Somit wurden alle Terrassen im ausgehenden Hochglazial bis ins Spätglazial hinein gebildet. Die Engelhalbinsel ist heute vollständig bewaldet, weist aber Siedlungsspuren seit der Keltenzeit auf.

### 2.1a

Das Profil 2.1a liegt auf der jüngsten spätglazialen Terrasse (14 ka). Es besteht aus einer schluffreichen Lage über Kiesen und Sanden der Aare: Ah-Al(Bv)-(IIfBt)-IIC (Abb. 3). Ein Bt-Horizont ist nur ansatzweise in den untersten 5-10 cm vorhanden, teilweise fehlt er. Die Deckschicht mit Ah- und Al-Horizonten weist relativ konstante Mächtigkeiten von ca. 40-50 cm auf. Die pH-Werte der sauren Böden liegen um pH 4.

### 2.1 a 10 m Terrasse

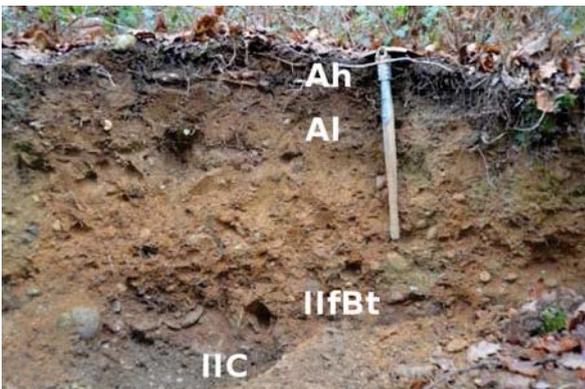


Abb. 3: Ah-Al-IIfBt-C-Profil auf der 14 ka Terrasse.

### 2.1b

Eine Terrassenstufe höher sind die Parabraunerden etwas kräftiger ausgebildet (Abb. 4). Unterhalb von lokalem, geringmächtigem Kolluvium (M) folgt, wie in 2.1a, die schluffreiche Deckschicht (Al) bis 55 cm. Der IIfBt ist durchgängig ausgebildet und 25-40 cm mächtig. Ab 95 cm folgen die unverwitterten Kiese und Sande. Bei ähnlichem Ausgangsmaterial kann

die grössere Mächtigkeit des Bt-Horizontes im Vergleich zu Profil 2.1a nicht durch die holozäne Bodenbildung erklärt werden. Sie muss bereits im Spätglazial erfolgt sein (deshalb fBt). Die aktuellen pH-Werte liegen um 4.0 (Tab. 1).

### 2.1 b 20 m Terrasse

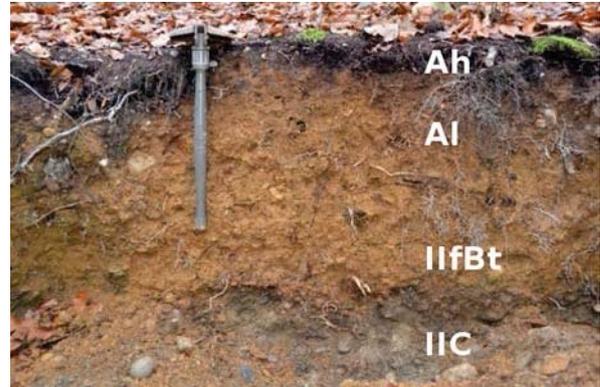


Abb. 4: Deutlichere Bt-Bildung auf der um wenige 1000 Jahre älteren 20 m Terrasse.

Tab. 1: Bodenanalytische Kennwerte des Profils Engelhalbinsel (20 m Terrasse)

Horizont	Tiefe [cm]	S [%]	U [%]	T [%]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]
Ah	0-4	60.5	19.5	14.9	4.2
Al	4-55	54.5	25.9	18.1	4.0
IIfBt	55-95	63.4	13.5	23.1	4.1
IIC	95-105+	67.6	17.2	15.2	7.0

## Islerendüne

Das Schweizer Seeland ist die Gemüsekammer der Schweiz. Als topographisch tief liegendes Gebiet, bildeten sich mit dem Abschmelzen der Gletscher am Ende der letzten Eiszeit Seen wie der Neuenburger See und der Bieler See, andere Bereiche versumpften und es bildeten sich Torfe. In der nordöstlichen Umgebung des Neuenburger Sees zeugen parallel verlaufende ehemalige Strandwälle und Stranddünen von höheren Seespiegeln der Vergangenheit. Die äussersten Wälle sind die Ältesten und wurden mit OSL auf den Zeitraum Jüngere Dryas-Boreal (12.9-9.8 ka) datiert, unterlagert von Rinnenfüllungen und Torf (13.3 ka bzw. 12.5-13.3 cal ka BP). Da die Wälle als Sandquelle für die Bodenmelioration der Torfe seit den Juragewässerkorrekturen im 19. und 20 Jhdt. genutzt wurden, sind die Böden meist komplett abgetragen. Nur bei der Islerendüne finden sich im heutigen

Naturschutzgebiet noch Reste der ursprünglichen Böden (Abb. 5).

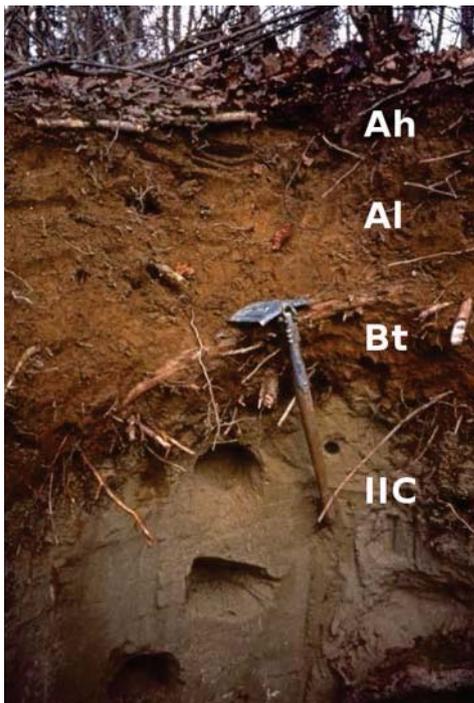


Abb. 5: Bodenprofil Islerendüne

Es handelt sich um Ah-Al/Bv-Bt-IIC-Profil. Strandwall/Düne bestehen überwiegend aus Fein- bis Mittelsand. Der Boden ist komplett in einer Deckschicht entwickelt, die durch hohe Schluffgehalte (30-40%, Abb. 6) charakterisiert ist.

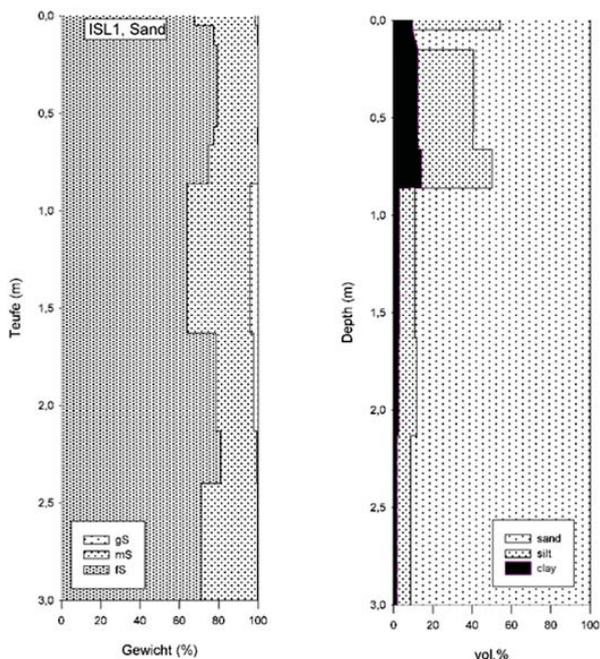


Abb. 6: Korngrößen der Islerendüne

Die jüngsten Alter von Strandwall/Düne liegen bei 9.8 ka. Die Ablagerung der Deckschicht dürfte unmittelbar danach erfolgt sein, so dass die Bodenbildung, mit ca. 10 cm Bt-Horizont,

seit dem Frühholozän stattfinden konnte. Die Karbonatgehalte der unverwitterten Sande liegen bei 32-39%.

### Finsterhennen

Der Standort befindet sich in einer Kiesgrube, in der hochglaziale Sande und Kiese des Rhône-gletschers abgebaut werden. Hier liegt eine ca. 10 m mächtige Grundmoräne über glazifluvialen Sedimenten. Aus den Kiesen wurde in 15 m Tiefe der Stosszahn eines Mammuts auf  $30'200 \pm 250$  yr cal BP datiert (Preusser et al. 2007). Die Moräne im Hangenden ordnen wir dem Solothurnstadium des Rhône-gletschers zu, welches wir (an anderer Stelle, bei Solothurn) mit  $10\text{Be}$  auf den Zeitraum um 19 ka datieren konnten. Die Bodenbildung entspricht grob den Profilen innerhalb des gleichalten Bernstadiums des Aare-gletschers (siehe Standort 2.1b).



Abb. 7: Finsterhennen; Parabraunerde aus Hauptlage über Solifluktsionsdecke über Moräne des Solothurnstadiums (19 ka)

Eine schluffreiche Deckschicht (Ah-Al) überlagert eine eher sandige Solifluktsionsdecke (IIBt). Darunter folgt die Moräne (IIIBv-IIIC), die oberflächlich entkalkt ist. Im Bereich der Bodenbildung sind die pH-Werte sauer (3.8-4.4) (Tab. 2). Die Karbonatgehalte des unverwitterten Moränenmaterials liegen bei 23 %.

Tab. 2: Finsterhennen; bodenanalytische Kennwerte

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [%]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub>
Ah	10-30	15	3.9	-
Al	30-65	30	3.8	-
IIfBt	65-110	50	4.4	-
IIC	110 +	70	7.7	23

Horizont	gS	mS	fS	[%]			
				gU	mU	fU	T
Ah	0.9	14	17	24	21	7.4	16
Al	18	31	13	12	10	3.9	13
IIfBt	2.1	23	31	21	11	3.3	8.3
IIC	1.2	26	34	18	10	2.7	7.8

### Balm, Profil 18d\_19

Der Standort liegt auf (verspültem) Moränenmaterial des letztkaltzeitlichen Maximums, das auf ca. 27-24 ka datiert wird. Das Profil wurde im Rahmen der Bodenkartierung des Amtes für Umwelt des Kantons Solothurn aufgenommen und bearbeitet (Abb. 8).



Abb. 8: Balm, Profil 18d\_19; Parabraunerde aus Hauptlage über verspülter, hochglazialer Moräne

Eine schluffreiche Deckschicht (Ah-Al) überdeckt die hochglaziale, sandige, verspülte Moräne (IIfBt). Die Entkalkungsgrenze liegt bei 2.02 m. Der IIfBt in der Moräne ist >1 m mächtig, was zu einer Gesamtmächtigkeit der Bodenbildung von ca. 2 m führt. Zwei OSL-Proben der schluffigen Deckschicht sind in Bearbeitung. Die

Ergebnisse liegen hoffentlich bis zur Exkursion vor.

Tab. 3: Bodenanalytische Kennwerte des Profils 18d\_19 (Analysen: Amt für Umwelt Solothurn; eigene Horizontbezeichnung)

Horizont	Tiefe [cm]	S [%]	U [%]	T [%]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]
Ah	0-15	53.8	35.1	11.1	3.5
Al	15-60	55.9	33.9	10.2	3.9
IIfBt/IIfBv	60-202	66	15	19	4.1
IIC	202+				

Auffällig ist die deutliche grössere Mächtigkeit des Bt-Horizontes im Vergleich zu den Böden auf den hoch- bis spätglazialen Ablagerungen (Standorte 1 + 2). Dieses Phänomen ist typisch und wiederholt sich grossräumig im Mittelland. Die möglichen Ursachen dieses Unterschiedes werden in Kapitel 4 diskutiert. Ähnlich wie schon bei der Differenz der Bodenmächtigkeit von Standort 2.1a und 2.1b angesprochen, lässt sich dieser weitere Sprung in der Bodenmächtigkeit (Verdoppelung von 1 m auf 2 m!) nur durch pleistozäne Bodenbildung (Entkalkung, Tonverlagerung) erklären.

### Aarwangen

Das Profil liegt in der Kiesgrube Risi. Altersmässig handelt es sich um glazifluviale Sedimente der Aare aus dem frühen Hochglazial (OSL: ca. 30-40 ka). Die Kiese sind von einer schluffreichen Deckschicht überlagert, die rinnenförmige Strukturen und kryoturbate Überprägungen anzeigt (Abb. 9; Tab. 4).



Abb. 9: Frühholozäne Lösslehtaschen (Btv-Horizont) über/neben kryoturbat verwürgtem fossilem fBt-Horizont aus glazifluvialen Schottern

OSL-Datierungen der Deckschichten hier und in der Umgebung ergeben holozäne Alter, mit einer Fokussierung auf das Frühholozän zwischen 10-7.5 ka (Abb. 10; Veit et al. 2017). Die bis zu 1.30 m mächtige Deckschicht ist pedogen überprägt mit schwachen Toncutanen (Btv-Horizonte). Darunter folgt ein bis zu 1 m mächtiger

Bt-Horizont in den Kiesen und Sanden. Die Rinnefüllungen und Kryoturbationen weisen auf eine sehr dynamische frühholozäne Umwelt hin (siehe Kapitel 3). Stellenweise, wie in Abb. 9, ist der IfBt diapierartig in bzw. sogar über die Deckschicht gequetscht. Das frühholozäne Alter der schluffigen Deckschicht entspricht der Situation auf der Islerendüne (Profil 2.2).

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [%]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub>	gS	mS	fS [%]	gU	mU	fU	T
E (M)	0-30	< 5	4.0	-	0.9	11	23	29	16	5.3	16
Btv	30-80	< 5	3.9	-	1.1	10	22	30	17	5.5	15
II fBt	80-130	50	3.8	-	5.8	23	16	19	16	5.5	16
II fBtv	130-210	90	4.0	-	3.6	16	19	18	19	7.0	17
II C	210 +	~100	7.8	24	26	66	2.0	2.0	1.7	0.6	1.3

Tab. 4: Aarwangen, Risi; bodenanalytische Kennwerte

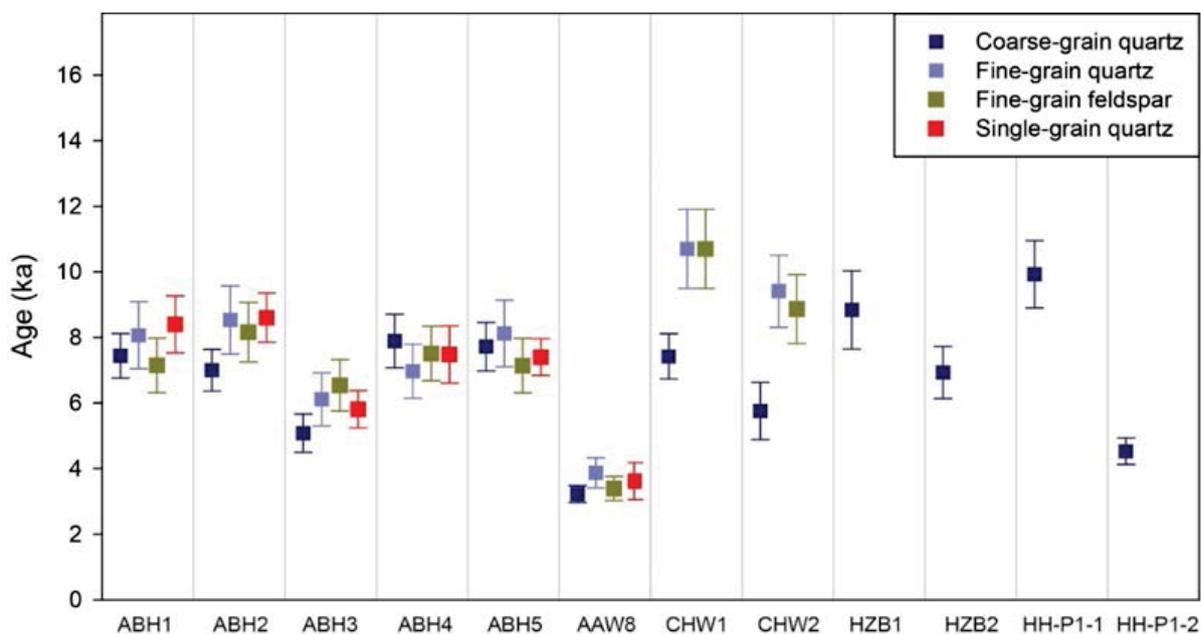


Abb. 10: Zusammenschau der OSL-Alter der (früh-)holozänen Lösslehmdecken im Mittelland

## Kestenhholz

Die Grube Kestenhholz/Schweissacher liegt in Kiesen und Sanden, die deutlich älter als Hochglazial sind. Hier sind 3 Bt-Horizonte direkt übereinander entwickelt, mit einer Gesamt-Entkalkungstiefe von bis zu 8 m (Abb. 11; Abb. 12; Mailänder & Veit 2001). Der älteste Bt3-Horizont ist in den liegenden Sanden und Kiesen entwickelt (Riss? Frühwürm?). Darüber liegt Lösslehm mit basalen Altern von 42-35 ka (Preusser et al. 2007). Ob es sich bei dem Bt3 um den Eemboden oder eine frühholozäne Bildung handelt muss bislang offenbleiben. Nach 35 ka entwickelt sich der Bt2 (MIS 3). Dieser ist von Lösslehm mit OSL-Altern von 19-13.5 ka bedeckt. Darin hat sich die jüngste Parabraunerde entwickelt, mit der schluffigen Deckschicht (Al-Horizont) aus dem Frühholozän (7.5 ka).



Abb. 12: Bt3 in Kiesen und Sanden (Riss?)

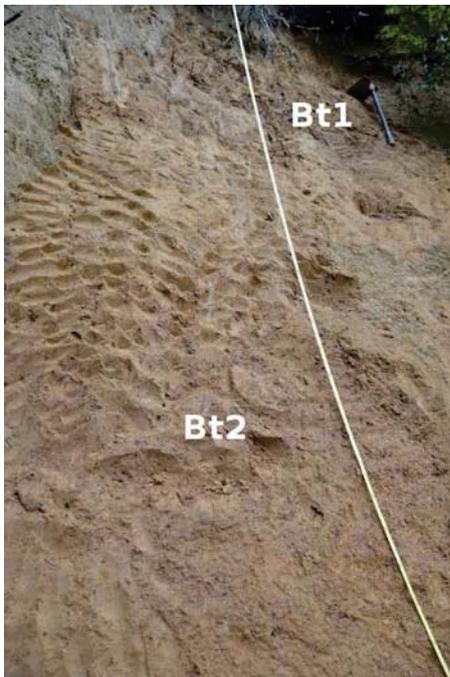


Abb. 11: Bt1 und Bt2 aus Lösslehm in Kestenhholz

Horizont	Tiefe [cm]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	gS	mS	fS	gU [%]	mU	fU	T
Al	10-50	4.2	1.2	8.1	21.1	29.4	15.9	12.3	12.0
Bt1	50-105	4.2	1.3	4.9	20.8	26.5	17.1	10.5	18.9
Bt2	190-310	4.0	0.2	8.6	21.1	24.8	10.2	7.4	27.7

Tab. 5: Bodenanalytische Kennwerte des Profils Kestenhholz/Schweissacher.

## Genese der Parabraunerden im Mittelland

Die Mächtigkeit, das Aussehen und die Gliederung der Parabraunerden im Mittelland schwanken vor allem in Abhängigkeit vom Alter der Ausgangssubstrate und der bodenbildenden Deckschichten. Die Bodenmächtigkeiten schwanken von weniger als 1 m auf späthochglazialen bis spätglazialen Ablagerungen, zu mehr als 2 m auf (früh-) hochglazialen Sedimenten, bis zu mehr als 5 m auf MIS 3 Ablagerungen. Besonders auffällig ist die starke Zunahme der Mächtigkeit der Bt-Horizonte von ca. 0-5 cm (Spätglaziale Sedimente) auf 10-15 cm (späthochglaziale Sedimente), auf mehr als 1 m (hochglaziale Sedimente) und schliesslich durch Pedokomplexe auf 8 m (Frühwürm, Riss). Diese Unterschiede können nicht durch die holozäne Bodenbildung entstanden sein, sondern müssen im Pleistozän durch Verwitterungsprozesse stattgefunden haben. Die holozäne Tonverlagerung ist minimal. Sichtbar ist sie lediglich an den geringmächtigen Parabraunerden auf der Islerendüne und an schwachen Toncutanen (Btv-Horizonte) auf der lösslehmartigen frühholozänen Deckschicht. Deshalb werden nahezu alle Bt-Horizonte als fBt-Horizonte charakteri-

siert. Die Bt-Bildung erfolgte vor allem im Spätglazial, aber offensichtlich auch im Hochglazial und davor. Sofern die Oberflächen stabil waren, erfolgte Entkalkung und Tonverlagerung offenbar auch unter kaltzeitlichen Verhältnissen zwischen 27-19 ka. Die weitgehend fehlende Tonverlagerung im Holozän ist nicht durch die klimatischen Umstände verursacht, sondern sie ist durch die bereits vorliegende grossflächige Entkalkung und Versauerung der Parabraunerden am Ende des Pleistozäns erklärbar.

Im Holozän wurden die bereits entkalkten Parabraunerden kaum weiterentwickelt. Hier dominieren unter sauren Verhältnissen (pH 4) hydromorphe Überprägungen. Überraschend ist auch die starke frühholozäne Landschaftsdynamik selbst in ebenen Terrassenabschnitten. Sie führte zu linearer Zerschneidung, Umlagerung der pleistozänen Lösslehme und periglazialer Überprägung bis ca. 7.5 ka. Möglicherweise liefern die im Frühholozän höhere Saisonalität und die damit zusammenhängenden sehr niedrigen Wintertemperaturen, vielleicht auch der 8.2 ka Event, eine Erklärung für den damals tiefgründigen Bodenfrost. Jedenfalls scheint im Mittelland die «holozäne» Bodenbildung erst nach 7.5 ka zu beginnen.

## Literatur

- Bini, A., J.-F. Buoncristiani, S. Couterrand, D. Ellwanger, M. Felber, D. Florineth, H.R. Graf, O. Keller, M. Kelly, C. Schlüchter & P. Schöneich (2009) Die Schweiz während des letztkaltzeitlichen Maximums (LGM). Karte 1:500.000. Bundesamt für Landestopographie, Wabern.
- Heer, A., I. Hajdas, S. Lowick, F. Preusser & H. Veit (2008): Dune development on the Swiss Plateau – landscape evolution since the Late Pleistocene constrained by luminescence and radiocarbon dating. – *Abh. Geol. B.-A.*, 62: 255, Wien.
- Mailänder, R. & H. Veit (2001): Periglacial cover-beds on the Swiss Plateau: indicators of soil, climate and landscape evolution during the Late Quaternary. – *Catena*, 45 (4): 251-272
- Preusser, F., A. Blei, H. Graf & C. Schlüchter (2007): Luminescence dating of Würmian (Weichselian) proglacial sediments from Switzerland: methodological aspects and stratigraphical conclusions. – *Boreas*, 36: 130-142.
- Preusser, F., H.-R. Graf, O. Keller, E. Krayss & C. Schlüchter (2011) Quaternary glaciation history of northern Switzerland. In: *Eiszeitalter und Gegenwart*, 60 (2-3):282-305.
- Veit, H. & C. Gnägi (2014) Die Böden des Berner Mittellandes. Braunerden und Parabraunerden im Spiegel der eiszeitlichen Landschaftsentwicklung. - In: Bäschlin, E., H. Mayer & M. Hasler (Hrsg.): Bern. Stadt und Region. Jahrbuch Geographische Gesellschaft Bern, 64/2014: 267-292.
- Veit, H., M. Trauerstein, F. Preusser, T. Messmer, C. Gnägi, R. Zech & L. Wüthrich (2017): Late Glacial/Early Holocene slope deposits on the Swiss Plateau: Genesis and palaeo-environment. – *Catena*, 158: 102-112.
- Wüthrich, L., E.G. Morabito, J. Zech, M. Trauerstein, H. Veit, C. Gnägi, S. Merchel, A. Scharf, G. Rugel, M. Christl & R. Zech (2018): <sup>10</sup>Be surface exposure dating of the last deglaciation in the Aare Valley, Switzerland. - *Swiss Journal of Geosciences*, 111: 295-303.

# G-06: Föhrensterben im Wallis: Auswirkung von Trockenheit auf den Wasser- und Kohlenstoffkreislauf des Pfywaldes

Frank Hagedorn, Lorenz Walthert, Jörg Luster

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

---

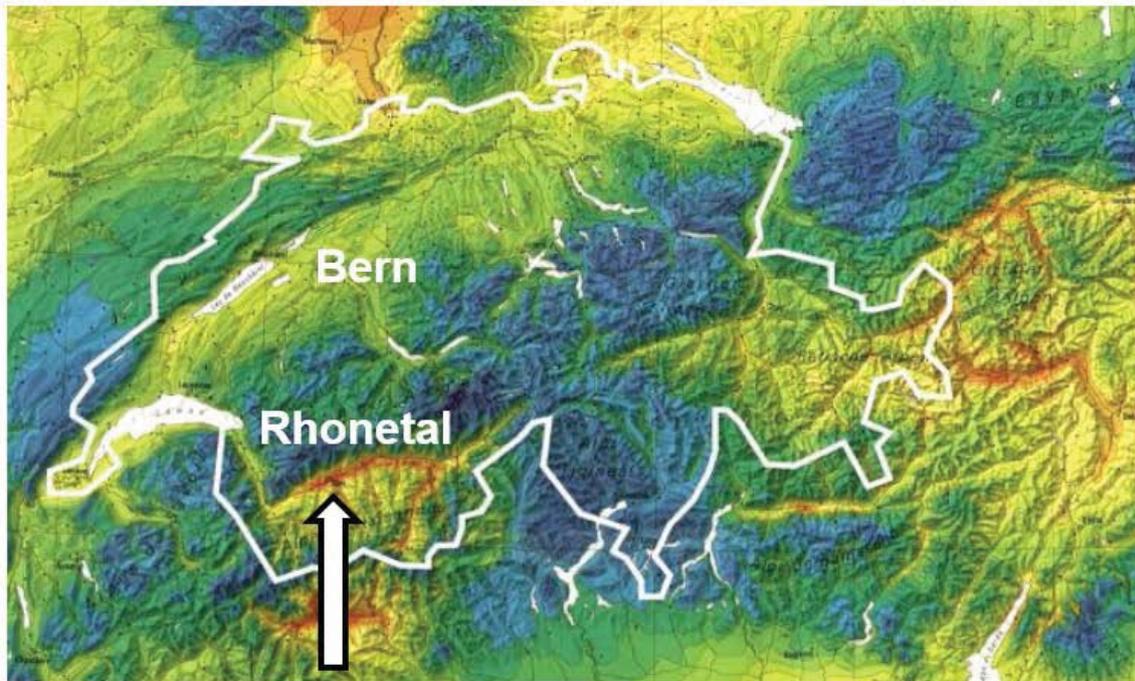
## Route und Ablauf der Exkursion



- Anreise mit dem Zug nach Visp. Abfahrt in Bern 8:00
- Mit dem Reisebus an den Illgraben.
- Einführung in die Geologie, Klima, Vegetation und Böden des Wallis. Erläuterung Murgang-Monitoring Illgraben ([www.wsl.ch/de/ueber-die-wsl/arbeiten-an-der-wsl/versuchsanlagen-und-labors/naturgefahren-anlagen/murgang-anlagen/murgangtestgelaende-illgraben-susten-leuk](http://www.wsl.ch/de/ueber-die-wsl/arbeiten-an-der-wsl/versuchsanlagen-und-labors/naturgefahren-anlagen/murgang-anlagen/murgangtestgelaende-illgraben-susten-leuk))
- Wanderung durch den benachbarten Pfywald (gesamthaft ca. 1 h zu Fuss)
- Monitoring des Wasserhaushalts im Pfywald und Umgebung
- Vesper im Gelände
- Bewässerungsversuch Pfywald: Kohlenstoffkreislauf und Bodenprozesse ([www.wsl.ch/de/ueber-die-wsl/arbeiten-an-der-wsl/versuchsanlagen-und-labors/flaechen-im-wald/pfywald](http://www.wsl.ch/de/ueber-die-wsl/arbeiten-an-der-wsl/versuchsanlagen-und-labors/flaechen-im-wald/pfywald))
- Besuch eines Weingutes in Salgesch
- Rückreise mit dem Reisebus nach Visp und Zug nach Bern. Ankunft in Bern ca. 19:30 Uhr.

## Hintergrund: Föhrensterben und Trockenheit im Wallis

Im trockenen und warmen inneralpinen Rhonetal der Schweiz befindet sich der grösste natürliche Bestand der Waldföhre (*Pinus sylvestris*) der zentralen Alpen, der rund 11% des Tales (1200 ha) bedeckt (Bendel et al., 2006). Zurzeit unterliegt dieser Waldbestand einer starken Veränderung. Seit dem Ende des 20. Jahrhundert kommt es im Wallis zu einer erhöhten Mortalität der Waldföhre (Dobbertin et al., 2010; Eilmann et al., 2011; Rigling et al., 2013, 2018). Anfänglich wurde diese auf eine erhöhte Fluoridemission durch eine nahe gelegene Aluminiumverarbeitungsindustrie zurückgeführt (Fühler et al., 1981). Obwohl die Emissionen durch das Installieren eines Filtersystems stark reduziert wurden, stieg die Mortalitätsrate 1998 erneut an, was auf klimatische Ursachen für das Sterben der Föhre, insbesondere die zunehmende Trockenheit, schliessen lässt (Rigling et al., 2013).



### Pfywald

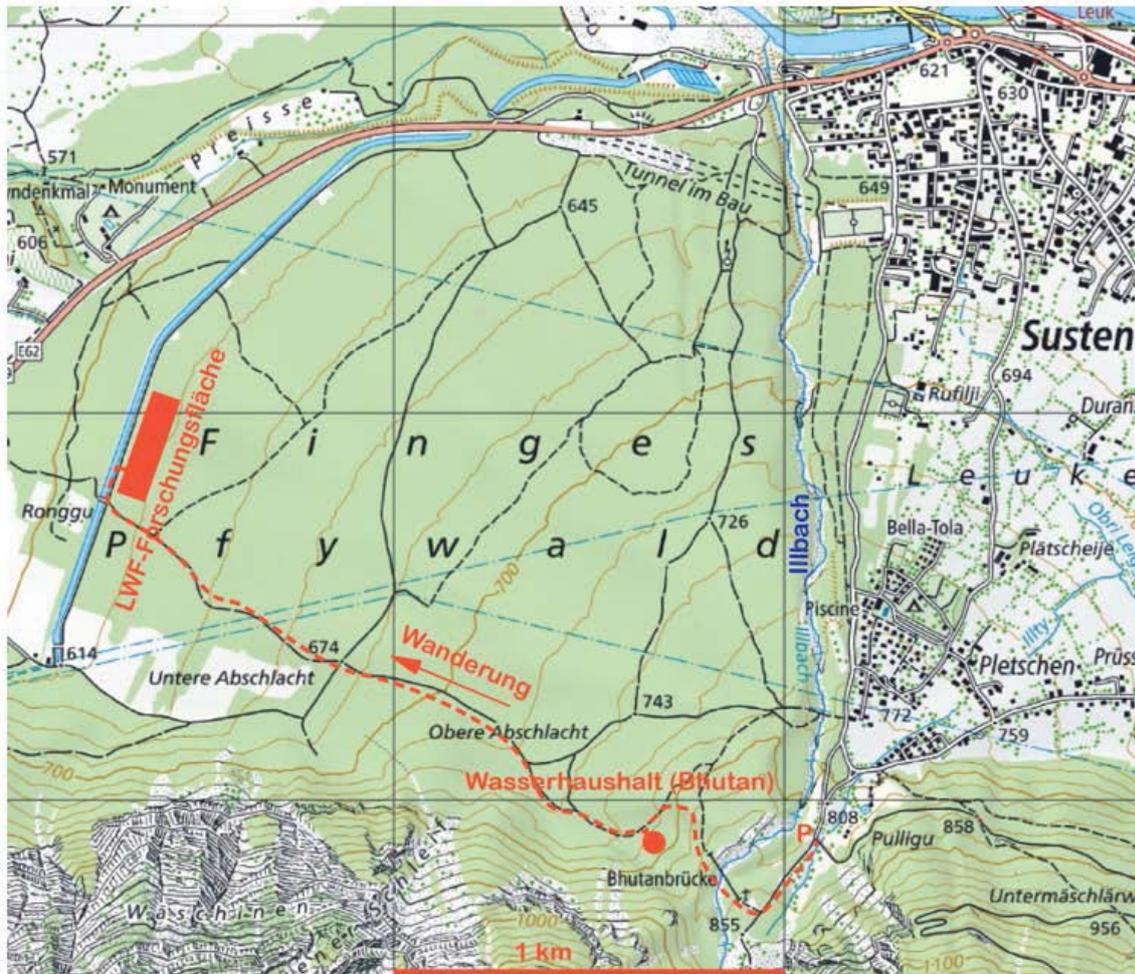


Abb. 1: Oben: Der Pfywald im Wallis liegt im Südwesten der Schweiz im Regenschatten des nördlichen und südlichen Alpenhauptkammes (Hydrologischer Atlas der Schweiz, 2001). Unten: Exkursionroute im Geschiebefächer des Illgrabens.

Obwohl sich die Niederschlagsmenge während den letzten Jahren nicht signifikant veränderte, nahm die durchschnittliche Jahrestemperatur und

damit das Evapotranspirationspotential, vor allem wegen wärmerer Sommertage, kontinuierlich zu (Rebetz & Dobbertin, 2004). Das Wallis weist

den grössten Temperaturanstieg in der Schweiz auf (Rebetez & Reinhard, 2008), nämlich 2 °C seit 1870 (MeteoSchweiz-Klimastation Sion). In den letzten Jahrzehnten trat das Föhrensterben schubweise auf, jeweils nach Jahren mit einer ausgeprägten negativen Wasserbilanz (Rigling et

al., 2018). Während die Föhre zunehmend abstirbt, nimmt der Anteil der Flaumeiche (*Quercus pubescens*) zu. Das trockenheitsinduziertes Föhrensterben ist kein lokales Phänomen, sondern lässt sich auch bei anderen Inneralpinen Tälern wie im Vinschgau, Aosta, Susa und am Inn beobachten.

In dieser Exkursion soll das Thema Trockenheit und dessen Auswirkungen auf Wälder und deren Böden diskutiert werden. Im Pfywald im Zentralwallis werden Langzeitmessreihen des Wasserhaushaltes im Boden sowie Ergebnisse eines 15-jährigen Bewässerungsversuches im Wald vorgestellt.



Abb. 2: Föhrensterben bei Visp (Foto A. Rigling, WSL)

### Der Pfywald

Der Pfywald ist der grösste geschlossene Föhrenbestand (*Pinus sylvestris*) der Schweiz, der sich in der Talsohle im zentralen Teiles des Schweizer Rhone-Tales, (46° 18'N, 7° 36' O, 600 bis 800 m.ü.M) befindet. Dieses inneralpine Föhntal liegt im Regenschatten der Walliser Alpen mit sehr trockenen und warmen Sommern. Die durchschnittliche jährliche Temperatur, welche in der nächstgelegenen Klimastation von MeteoSchweiz in Sion (20 km entfernt vom Untersuchungsort) gemessen wurde, liegt bei 9.2°C für die Periode 1961 – 1990 und 10.5 °C für die Periode 1991 – 2013. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge, die von der MeteoSchweiz-Wetterstation in Sierre (4 km entfernt) gemessen wurde, beträgt 657 mm für die Periode 1961 – 1990 und 652 mm für die Periode 1991 – 2013 (MeteoSchweiz).

Der Pfywald liegt auf einem alluvialen Geschiebefächer des Illgrabens und besteht aus carbonathaltigen Ablagerungen. Daraus hat sich vielerorts eine Pararendzina entwickelt (Tab. 1, Abb. 10), die auf Grund ihrer geringen Anteile an Feinerde und niedriger Gehalte an organischer Substanz eine geringe Wasserspeicherkapazität aufweist. Die Humusform ist ein Mull bzw. ein Xero-Moder.

Die Föhrenwaldgesellschaft im Bereich der Bewässerungsfläche Pfywald wird als *Erico-Pinetum caricetosum albae* bezeichnet und besteht hauptsächlich aus einem alten *P. sylvestris* Waldbestand und einem Unterwuchs aus Stäuchern (u.a. *Lonicera sp.*, *Viburnum sp.*) sowie einige Birken und Pappeln (Eilmann et al., 2011). Der Anteil an *Quercus pubescens* hat in den letzten Jahren zugenommen.

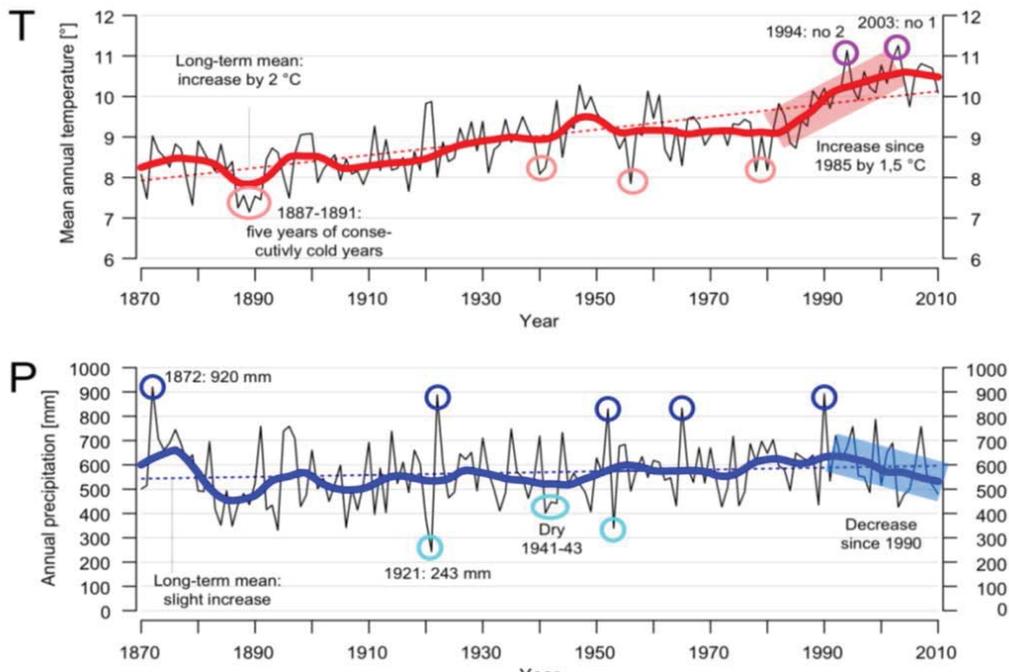


Abb. 3: Mittlere Jahrestemperaturen und Jahresniederschläge von 1870 bis 2010.

Tab. 1: Eigenschaften einer Pararendzina im Pfywald. Unveröffentlichte Daten S. Zimmermann, F. Hagedorn.

Horizont	Tiefe	Skelett Vol-%	Sand/Schluff/Ton %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CEC <sub>eff.</sub> mmolc/kg	C <sub>org</sub> %	N <sub>tot</sub> %	C/N
L						42.60	1.124	37.9
F	3-0 cm			5.4	553	35.62	1.538	23.2
Ah	0-7 cm	21	49/42/9	6.4	303	11.14	0.447	25.0
AhcV	7-20 cm	37	46/45/9	7.5	193	2.79	0.147	19.0
cV	20-50 cm	n.b.	52/41/7	7.7	131	0.77	0.045	17.2
cC	50-75 cm	55	51/42/7	7.9	121	0.26	<d.l.	n.b.

<d.l. unter Bestimmungsgrenze; n.b. nicht bestimmt

### Wasserhaushalt im Pfywald und im Zentralwallis

Im Zentralwallis sind die Auswirkungen des Klimawandels bereits heute messbar. In den letzten Jahrzehnten zeigen die Temperaturen eine ansteigende und die Niederschläge eine abnehmende Tendenz (Abb. 3). Für die in jüngster Vergangenheit vermehrt auftretenden Absterbewellen der Waldföhre im zentralen Wallis dürfte die zunehmende Trockenheit mitverantwortlich sein (Rigling et al., 2013, 2018).

Um den Wasserhaushalt von Waldstandorten im Boden-Pflanzen-Atmosphären-Kontinuum vertieft zu untersuchen, wird seit 2013 ein Monitoring-Messnetz in rund 40 Waldbeständen verteilt über die Schweiz betrieben. Dabei wird untersucht, ob und wie sich die Wassernutzungsstrategien verschiedener Baumarten (Buche, Eiche,

Fichte, Waldföhre) unterscheiden, und wie empfindlich die einzelnen Arten auf Trockenheit reagieren. Zudem wird mit diesem Messnetz eine Datengrundlage für eine verbesserte Kalibrierung und Validierung von Wasserhaushaltsmodellen geschaffen.

Von den schweizweit rund 40 untersuchten Waldbeständen liegen 19 im Wallis, sechs davon im Pfywald, wo die Baumarten Waldföhre, Fichte und Flaumeiche untersucht werden.

Folgende Messparameter werden an den Pfywald-Standorten stündlich oder höher aufgelöst erfasst:

- Lufttemperatur und -feuchtigkeit (EL-USB-2+, Lascar electronics, Salisbury, UK)

- Bodenwasserpotential und -temperatur (MPS-2, Decagon Devices, Pullmann, USA)
- Stammradius (Punkt-Dendrometer ZN11-T-WP, Zweifel Consulting, Hombrechtikon, CH)

An einigen Bäumen wird zudem periodisch das Blatt- bzw. Nadelwasserpotential gemessen (Scholanderbombe, PMS Instrument Company, Albany, USA).

## Ergebnisse

Das trockene, kontinentale Klima führt dazu, dass an zahlreichen Waldstandorten im Zentralwallis sehr selten Sickerwasser den Wurzelraum verlässt. Vor allem auf skelettarmen Böden (häufig Löss) mit hoher Wasserspeicherkapazität vermögen die Niederschläge im Winterhalbjahr den Boden nicht tiefgründig zu benetzen. Die Versickerungsfront bleibt häufig bei rund 100 bis 150 cm stehen (Abb. 4), und es fällt dort sekundäres Karbonat (Kalkflaum) aus.

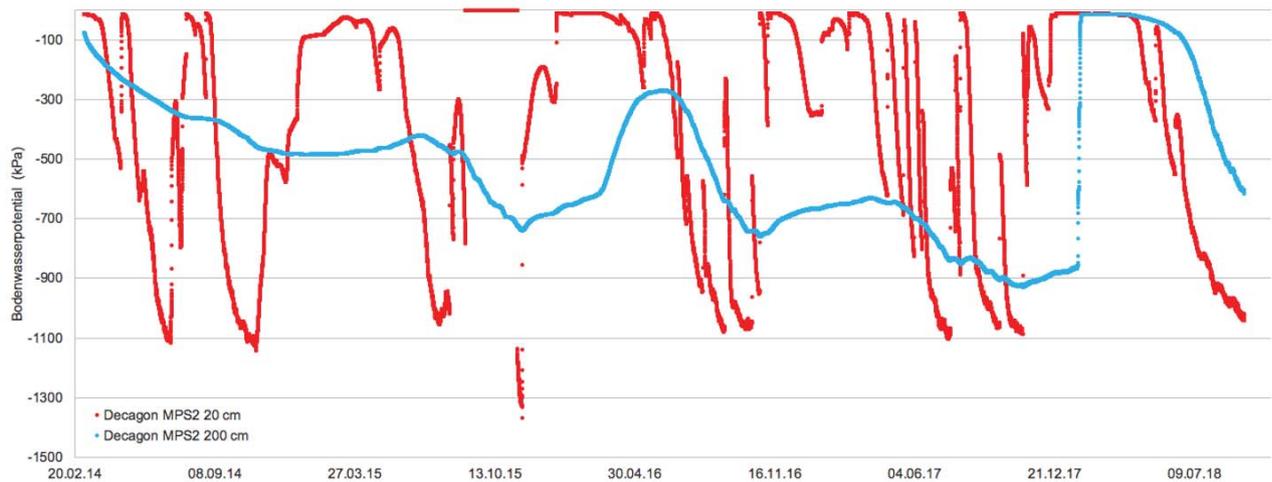


Abb. 4: Einsickerungstiefe des Niederschlagswassers im Boden eines Waldföhrenbestandes bei Lens (Zentralwallis, 1100 m ü.d.M., Südhang). Während der Oberboden (rote Kurve) periodisch durch Niederschlag befeuchtet wird, sickert das Wasser nur selten bis in 200 cm Tiefe (blaue Kurve), so dass der Unterboden über mehrere Jahre trocken bleibt. Die Bodenwasserpotentiale sind temperaturkorrigiert und gelten für 22 °C Bodentemperatur.

Die verschiedenen Baumarten trocknen den Boden unterschiedlich aus (Abb. 5 a-d). Unter Flaumeichen trocknet der Boden bis in grosse Tiefen rasch und stark aus. Die Waldföhre und die Fichte dagegen sind sparsamer. Sie beziehen ihr Wasser vor allem aus dem Oberboden, während der Unterboden relativ feucht bleibt, obwohl sie dort Wurzeln haben. Diese artspezifischen Wassernutzungsmuster wurden nicht nur im Pfywald auf skelettreichen Böden beobachtet,

sondern auch auf Böden mit grossem Wasserspeichervermögen. Aufgrund unserer Messungen kommen wir zum Schluss, dass die Flaumeiche im Gegensatz zur Fichte und Waldföhre nicht haushälterisch umgeht mit dem Bodenwasser, sondern viel davon nutzt, solange es verfügbar ist. Diese Erkenntnisse können hilfreich sein für die Wahl und Gruppierung der Baumarten bei der Waldverjüngung.



Abb. 5 a-d: Baumartenspezifischer Wasserentzug aus dem Boden in den Jahren 2015 bis 2018 im Pfywald. a) Flaumeiche Chippis, b) Waldföhre Chippis, c) Fichte Bhutan. Als Vergleich d) Wasserentzug durch Evaporation aus einem wurzel- und mykorrhizafreien Waldboden ohne Vegetationsbedeckung (bitte Skalierung der Y-Achse beachten). Die Bodenwasserpotentiale sind temperaturkorrigiert und gelten für 22 °C Bodentemperatur.

Hinweise auf eine unterschiedliche Wassernutzungsstrategie der einzelnen Baumarten geben nicht nur die Zeitreihen des Bodenwasserpotentials, sondern auch periodische Messungen des Blatt- bzw. Nadelwasserpotentials. Gemäss Martinez-Vilalta et al. (2014) lassen sich aus dem Verlauf des Predawn- und Midday-Wasserpoten-

tials Rückschlüsse auf das Ausmass der Stomataregulation der Bäume ziehen (Abb. 6). Je flacher eine Kurve verläuft, desto stärker schützt sich eine Baumart durch Stomataschluss vor der Kavitation ihres hydraulischen Systems und desto sparsamer nutzt sie das Bodenwasser. Einen relativ flachen Kurvenverlauf haben die Waldföhre und die Fichte. Der Kurvenverlauf der

Flaumeiche verläuft dagegen steiler. Sie reguliert ihre Spaltöffnungen weniger stark und zeigt selbst bei grosser Trockenheit einen ausgeprägten Tagesgang des Blattwasserpotentials. Aufgrund ihres grösseren Wasserverbrauchs erreicht die Flaumeiche auch wesentlich tiefere Blattwasserpotentiale als die Fichte und Waldföhre.

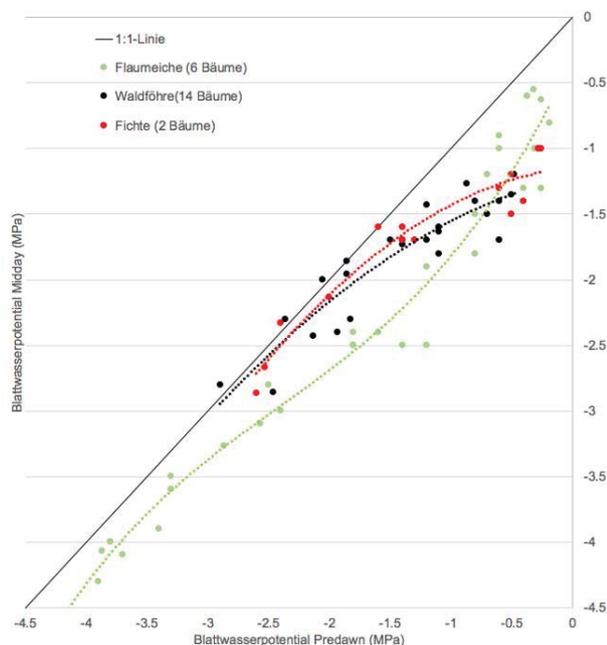


Abb. 6: Das Blatt- bzw. Nadelwasserpotential gibt Hinweise auf iso- bzw. anisohydrisches Verhalten der Baumarten. Je näher eine Kurve an der 1:1-Linie verläuft, desto kleiner ist die tägliche Dynamik des Blattwasserpotentials, d.h. desto stärker schliesst der Baum die Stomata, um den Wasserverlust und die Gefahr von Kavitation des hydraulischen Systems zu minimieren. Periodische Datenerfassung in den Jahren 2017 und 2018 an Messstandorten im Wallis (Chippis, Saillon, Hochtenn und Lens).

Bei der Wassernutzung der Bäume können Wechselwirkungen zwischen Boden und Baum beobachtet werden, wie nachfolgend beispielhaft für die Fichte im Pfywald (Standort Bhutan) gezeigt wird. Die Tagesgänge des Stammradius und des Bodenwasserpotentials werden durch die Transpiration beeinflusst (Abb. 7a/7b). So beginnt die morgendliche, transpirationsbedingte Wasserentnahme aus dem Boden etwa zur gleichen Zeit, wie der Stamm zu schrumpfen beginnt (Abb. 7b). Der Entzug von Bodenwasser dauert

bis in die Nacht hinein, weil der Baum für das nächtliche Stammquellen Wasser aus dem Boden zieht. In der zweiten Nachthälfte benötigt der weitgehend hydrierte Baum weniger Wasser, so dass es zu Wasserverlagerungen im Boden kommt. Aus dem relativ feuchten Unterboden fliesst Wasser in den trockenen Oberboden. Ob diese Wasserverlagerung durch das Porensystem des Bodens oder durch die Wurzeln verläuft (hydraulic lift), lässt sich mit unseren Daten nicht beurteilen.

Wechselwirkungen zwischen Baum und Boden können aber auch längerfristig während der Vegetationsperiode beobachtet werden (Abb. 7c/7d). Während die Stammdynamik bei feuchten Bodenbedingungen vor allem durch das Wasserdampfdefizit der Luft gesteuert wird (Daten nicht gezeigt), zeigt sich mit zunehmender Bodenaustrocknung eine enge Korrelation zwischen Bodenwasserpotential und Baumwasserdefizit (Abb. 7d). Bei Trockenheit kann der Baum dem trockenen Boden nicht ausreichend Wasser entziehen, so dass der Stamm schrumpft. In solchen Perioden hat der Baum Stress, verursacht durch fehlendes Wasser. Im Zentralwallis können solche Perioden mehrere Wochen andauern und treten häufig in den Monaten August bis November auf.

### Bewässerungsexperiment Pfywald

Ziel der experimentellen Bewässerung ist es, zu untersuchen, wie das von Föhren dominierte Waldökosystem und dessen Stoffkreisläufe durch Wasser limitiert sind. In dem Untersuchungsgebiet (1.2 ha) wurde 4 Flächen (25 × 40 m) zufällig für die Bewässerung ausgewählt, während 4 Flächen als Kontrollflächen dienen, die weiterhin den „normalen“ trockenen Bedingungen ausgesetzt sind (Hartmann et al., 2017; Abbildung 8). Seit 2003 werden über die frostfreie Zeit jede Nacht 5 mm Niederschlag mit einem Sprinkelsystem aufgebracht, pro Jahr entspricht dies einer zusätzlichen Niederschlagsmenge von etwa 700 mm. Das Wasser wird von einem benachbarten, hydrologisch getrennten Bewässerungskanal entnommen.

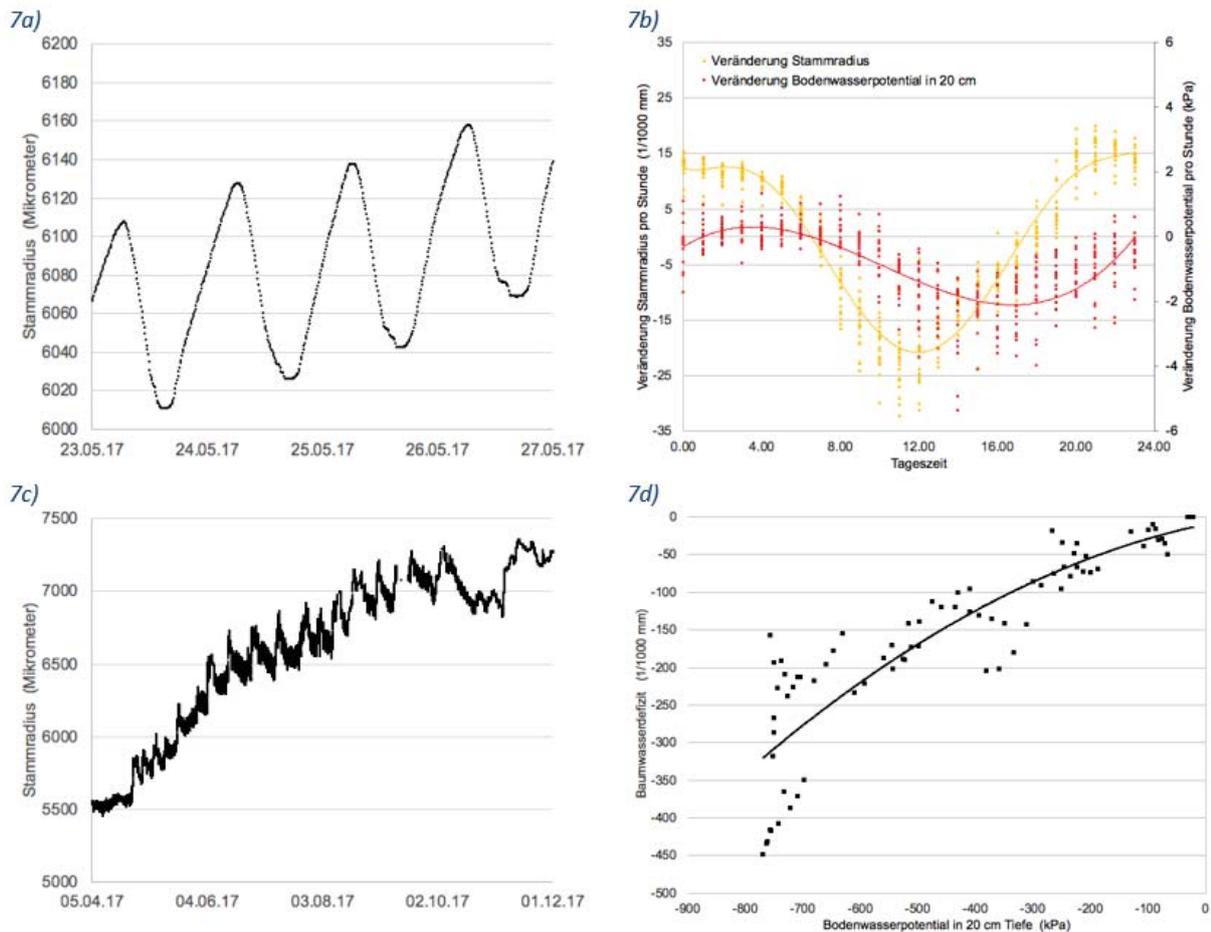


Abb. 7 a-d: Kurz- und langfristige Zusammenhänge zwischen Bodenwasserpotential und Stammdradius der Fichte am Standort Bhutan im Pfywald. Tägliche Stammdradiuschwankungen einer Fichte (10 Min-Werte) bei trockenem Wetter und guter Bodenwasserverfügbarkeit (a). Tagesgang des Stammdradius einer Fichte und Bodenwasserentzug aus 20 cm Tiefe an rund 20 niederschlagsfreien Tagen von 2014-2017 bei mässig trockenem Boden (b). 10 Min-Werte des Stammdradius einer Fichte von April bis Dezember 2017 (c). Tageswerte (jeweils um 6:00) von Bodenwasserpotentialen in 20 cm Tiefe und Stammschrumpfung (Baumwasserdefizit) einer Fichte an rund 100 niederschlagsfreie Tage von 2014-2017.

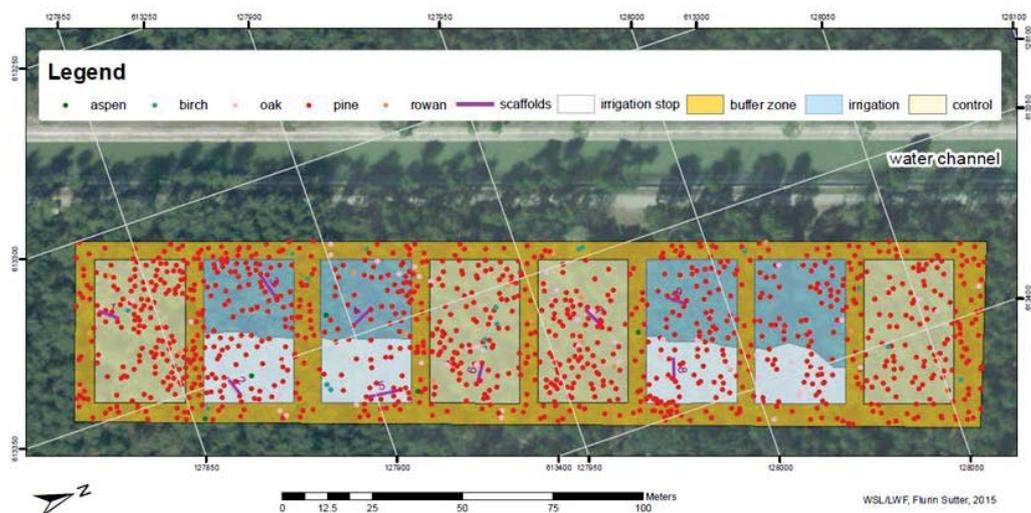


Abb. 8: Das Bewässerungsexperiment im Pfywald umfasst 4 bewässerte Flächen (blau markierte Fläche) und 4 nicht-bewässerten Flächen (hellgrün markierter Bereich). Bei der hellblauen Fläche wurde die Bewässerung Ende 2013 eingestellt. (WSL Flurin Sutter 2015)

## Ergebnisse

Wie erwartet wirkt sich die Bewässerung stark auf das Wachstum der etwa 100-jährigen Föhren aus. Der jährliche Zuwachs verdoppelt sich und auch die Strauchschicht ist deutlich ausgeprägter (Tab. 2; Abb.9). Demgegenüber reagiert die Produktivität Flaumeiche eher negativ. Auf den unbewässerten Flächen sind in den letzten Jahren auch einzelne Föhren abgestorben. Diese Befunde bedeuten, dass im Pfywald das Föhrenwachstum unter „normalen“ Kontrollbedingungen durch Trockenheit begrenzt wird.

Diese Wachstumsreaktion spiegelt sich auch bei den Feinwurzeln wider (Herzog et al., 2014).

Tab. 2: Kohlenstoffvorrat in der Baumbiomasse und Kohlenstoffflüsse im Bewässerungsexperiment Pfywald (Hartmann et al., 2017). Mittelwerte und Standardfehler von 4 Plots (von je 40 x 25 m) pro Behandlung.

		Trockene Kontrolle	Bewässerung
Baumbiomasse	kg m <sup>-2</sup>	6.85±0.25	7.91±0.61
Jährliche Biomassenzunahme	kg m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	0.06±0.00	0.13±0.01
Streufall	kg m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	0.313±0.031	0.462±0.041
Feinwurzelbiomasse	kg m <sup>-2</sup>	0.266±0.038	0.392±0.047
Bodenrespiration im Sommer	μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	3.29±0.24	5.82±0.34

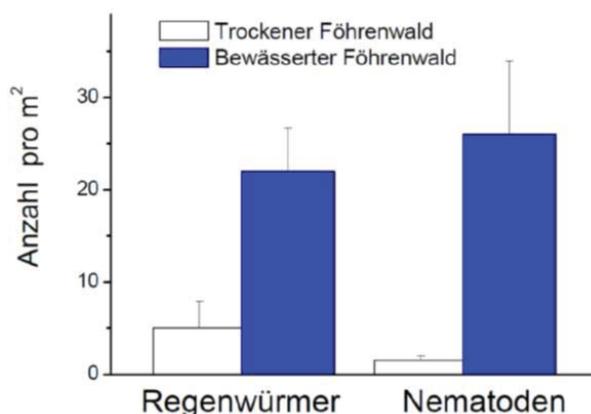


Abb. 9: Die bestehenden trockenen Verhältnisse während des Sommers im Pfywald (Wallis) unterdrücken das Pflanzenwachstum im Vergleich zu einer 12-jährigen experimentellen Bewässerung (Fotos, M. Schaub, WSL). In den trockenen Böden leben fünf- bis achtmal weniger Regenwürmer und Nematoden als in den bewässerten.

Wie reagierte die Kohlenstoffspeicherung im Boden auf die Bewässerung? Hier zeigte sich, dass die gesamthaften Vorräte an organischer Bodensubstanz vom Wasserregime nicht beeinflusst wurden. Die Vorräte an organischem Kohlenstoff bis in 20 cm Bodentiefe unterschieden sich nicht zwischen den beiden Behandlungen (<100 g C/m<sup>2</sup>). Allerdings veränderte sich die Tiefenverteilung signifikant. Durch Bewässerung nahmen die Vorräte in der organischen Auflage ab, während sie im Mineralboden zunahmen. Dies zeigt,

dass sich in der Gesamtbilanz die Effekte einer gesteigerten Produktion und damit erhöhter C-Einträge durch eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Freisetzung infolge einer angeregten Bodenaktivität in etwa ausgleichen. Als mögliche Mechanismen des Bewässerungseffektes kommen (1) ein verstärkter Streuabbau auf der einen und eine erhöhte Rhizodeposition auf der anderen Seite, sowie (2) eine höhere Inkorporation streubürtigen Kohlenstoffs durch die Bodenfauna in Frage.

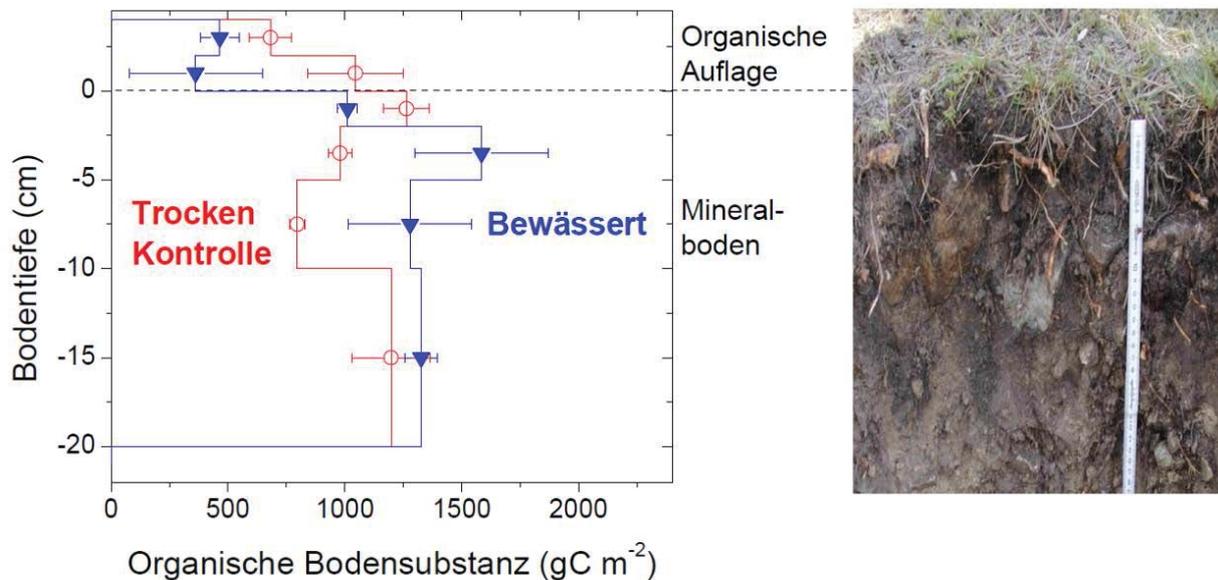


Abb. 10: Tiefenverteilung der organischen Bodensubstanz unter Bewässerung im Pfywald und bei wiederholter Sommer-trockenheit unter Kontrollbedingungen. Mittelwerte und Standardfehler von 4 Plots je Behandlung.

### <sup>13</sup>C-Pulslabeling Versuch

Im August und September 2017 führte ein Team von Ökophysiologen und Bodenkundlern einen <sup>13</sup>C-Pulslabeling-Versuch durch, in dem ausgewachsene 100-jährige Föhren in Folien eingepackt wurden und 3 Stunden lang mit <sup>13</sup>C markiertem CO<sub>2</sub> begast wurden. Das <sup>13</sup>C wurde in den verschiedenen Stoffgruppen von den Blättern bis zu den Wurzeln verfolgt. Im Boden wurde das <sup>13</sup>C Signal in der mikrobiellen Lebensgemeinschaft, in der Bodenrespiration und gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) der Bodenlösung gemessen.

Im rund 12 m hohen Waldbestand dauerte es etwa 6 bis 8 Tage bis das aufgenommene CO<sub>2</sub> im

Wurzelraum als CO<sub>2</sub> wieder veratmet wurde (Abb. 11). Nach etwa 14 Tagen nahm das Signal zwar stark ab, war aber mindestens über den Zeitraum von einem Jahr in der Stamm- und Bodenrespiration nachweisbar. Dies zeigt, dass ein Grossteil der Assimilate schnell in

den Wurzelraum verlagert wird, ein anderer jedoch in den ‚Storage‘-Pool geht und sich dort langsam umsetzt. Ausgeprägte Trockenheit veränderte die <sup>13</sup>C-Allokation im Ökosystem. Sowohl die Geschwindigkeit als auch die Höhe der <sup>13</sup>C-Verlagerung von den Bäumen in den Boden nahmen ab.

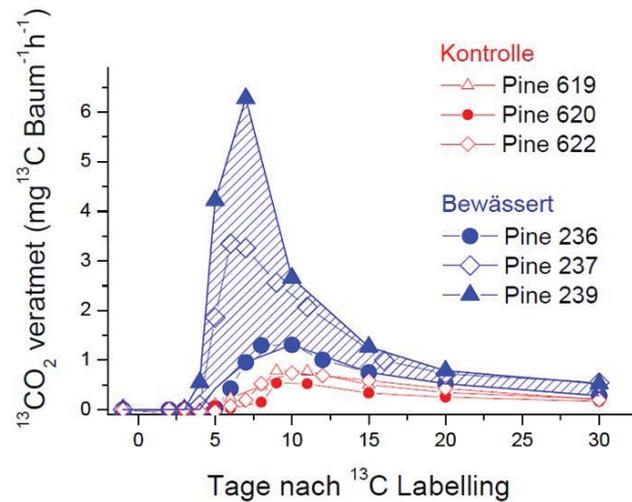


Abb. 11:  $^{13}\text{C}$ -Pulslabelingversuch, in dem Bäume eingepackt und hochmarkiertem  $^{13}\text{CO}_2$  ausgesetzt wurden (links). Das  $^{13}\text{C}$  Signal erschien etwa 6-8 Tage später in der Bodenrespiration (rechts).

### Verfügbare Phosphor im Boden

Trockenheit beeinflusst auch die Nährstoffverfügbarkeit im Boden, entweder direkt indem sie die Nährstoffmineralisation steuert, oder indirekt indem sie die Bodeneigenschaften und die Nährstoffaufnahme durch die Vegetation verändert. In den Kontrollflächen und Bewässerungsflächen, bei denen die Bewässerung 2014 eingestellt worden war (siehe Abb. 8), wurden im Rahmen einer Masterarbeit (Ulmann, 2017) an frischen Oberbodenproben verfügbare Phosphor-Gehalte gemessen. Unabhängig von der Behandlung war je die

Hälfte des gemessenen P mikrobiell gebunden bzw. mit Hydrogencarbonat extrahierbar (Abb. 12), während mit Harz austauschbarer P meist unter der Bestimmungsgrenze lag. In den 12 Jahre lang bewässerten Flächen war der mikrobielle P gegenüber der Kontrolle erhöht und das Verhältnis zwischen extrahierbarem anorganischen und organischen P umgekehrt. Diese Resultate lassen sich gut mit einer nachhaltigen Erhöhung des Gehaltes an organischer Substanz und der mikrobiellen Aktivität auf den früher bewässerten Flächen erklären, unabhängig von den aktuell gleich trockenen Bedingungen.

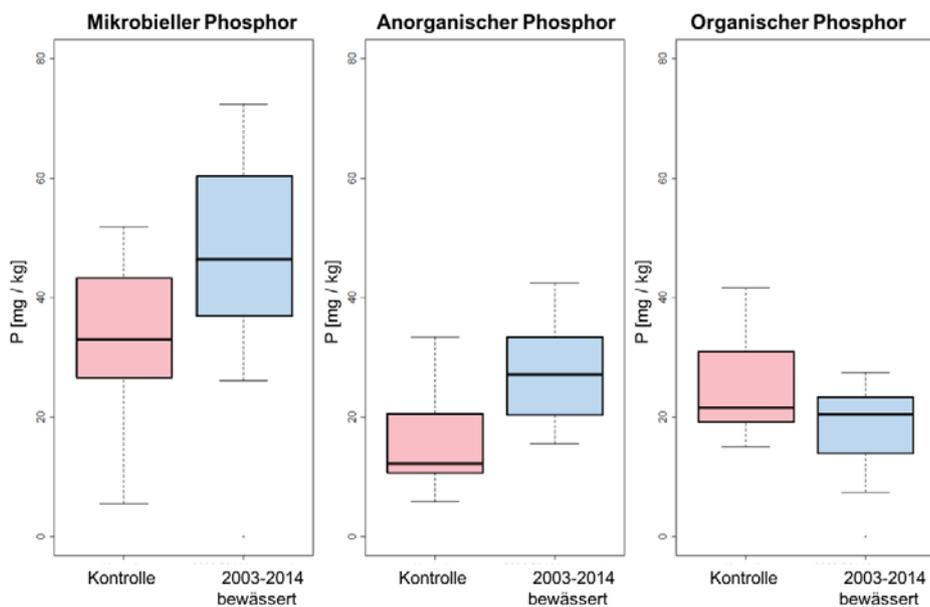


Abb. 12: Phosphor-Fractionen in Böden der trockenen Kontroll-Flächen und Teilen der Bewässerungs-Flächen, auf denen die Bewässerung 3 Jahre vor der Probennahme beendet worden war (modifiziert aus Ulmann, 2017).

Die Versuchsfläche Pfywald ist Teil eines Kollektivs von 40 Waldstandorten der Schweiz auf Karbonatgestein, welche einen weiten Feuchtigkeits-Gradienten mit einem mittleren jährlichen Wasserpotential von -12 bis -800 kPa aufspannen. Die relativen Verhältnisse zwischen den oben erwähnten Phosphor-Fractionen sind in den Oberböden all dieser Flächen ähnlich. Für diese Böden wurde die Beziehung der P-Gehalte zu ausgewählten Bodeneigenschaften und Umweltvariablen getestet. Der mikrobielle Phosphor korrelierte in erster Linie mit der Kationenaustauschkapazität und nur schwach mit mittlerer Bodenfeuchte und -Temperatur. Dies war umgekehrt für den extrahierbaren anorganischen Phosphor, während der extrahierbare organische P vor allem mit dem C:N-Verhältnis der organischen Substanz korrelierte.

Zusammengenommen deuten unsere Resultate an, dass in Waldböden auf Karbonatgestein der mikrobielle und extrahierbare organische Phosphor auf klimabedingte Veränderungen vor allem indirekt über Effekte auf den Gehalt und die Qualität der organischen Substanz reagieren, während der verfügbare anorganische P auch direkt beeinflusst wird.

## Literatur

- Bendel, M.; Tinner, W.; Ammann, B. (2006) Forest dynamics in the Pfy forest in recent centuries (Valais, Switzerland, Central Alps): interaction of pine (*Pinus sylvestris*) and oak (*Quercus* sp.) under changing land use and fire frequency." *The Holocene*, 16: 81-89.
- Dobbertin, M.; Eilmann, B.; Bleuler, P.; Giuggiola, A.; Graf Pannatier, E.; Landolt, W.; Schleppi, P.; Rigling, A. (2010) Effect of irrigation on needle morphology, shoot and stem growth in a drought-exposed *Pinus sylvestris* forest. *Tree Physiology*, 30: 346-360.
- Eilmann, B.; Zweifel, R.; Buchmann, N.; Graf Pannatier, E.; Rigling, A. (2011) Drought alters timing, quantity, and quality of wood formation in Scots pine. *Journal of Experimental Botany*, 62: 2763-2771.
- Flühler, H.; Keller, T.; Schwager, H. (1981) Immissionsbelastung der Föhrenwalder im Walliser Rhonetal. *Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen* 57: 399-414.
- Hartmann, M.; Brunner, I.; Hagedorn, F.; Bardgett, R.; Stierli, B.; Herzog, C.; Chen, X.; Zingg, A.; Pannatier, E.; Rigling, A.; Frey, B. (2017) A decade of irrigation transforms the soil microbiome of a semi-arid pine forest. *Molecular Ecology*. doi: 10.1111/mec.13995
- Herzog, C.; Steffen, J.; Graf-Pannatier, E.; Hajdas, I.; Brunner, I. (2014) Nine years of irrigation cause vegetation and fine root shifts in a water-limited pine forest. *PLoS*

- One*, 9, 5: e96321 (11 pp.). doi: 10.1371/journal.pone.0096321
- Martinez-Vilalta, J.; Poyatos, R.; Aguadé, D.; Retana, J.; Mencuccini, M. (2014) A new look at water transport regulation in plants. *New Phytologist*, 2014: 105-115.
- Rebetez, M.; Dobbertin, M. (2004). Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theoretical and Applied Climatology*, 79: 1-9.
- Rebetez, M.; Reinhard, M. (2008) Monthly air temperature trends in Switzerland 1901–2000 and 1975-2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 91: 27–34.
- Rigling, A.; Bigler, C.; Eilmann, B.; Feldmeyer-Christe, E.; Gimmi, U.; Ginzler, C.; Graf, U.; Mayer, P.; Vacchiano, G.; Weber, P.; Wohlgemuth, T.; Zweifel, R.; Dobbertin, M. (2013) Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. *Global Change Biology*, 19, 1: 229-240.
- Rigling, A.; Moser, B.; Feichtinger, L.; Gärtner, H.; Giuggiola, A.; Hug, C.; Wohlgemuth, T. (2018) 20 Jahre Waldföhrensterben im Wallis: Rückblick und aktuelle Resultate. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 169: 242-250.
- Ulmann, A. (2017): Phosphorverfügbarkeit in Abhängigkeit von Boden- und Klimaparametern. M.Sc. Thesis, ETH Zürich, 63pp.

## G-07: Terrestrial Carbon Cycling: The Research Site Lägeren

Michael W. I. Schmidt, Samuel Abiven and colleagues  
(chapters in German: Linda Wehrli-Zumsteg)

University of Zurich, Department of Geography, University Priority Research Program Global Change and Biodiversity

### Scope of excursion

The following chapters provide the general physical geographical overview of the research site Lägeren (in German). This overview was modified from the guidebook prepared by Linda Wehrli as part of her thesis (Wehrli 2006, 2007). During the excursion (in German and English) we additionally will highlight examples of recent and ongoing research. The exact routing and topics will be adjusted depending on the accessibility of individual sites and equipment, and availability of researchers.

Topics at the research site Lägeren include soil carbon stocks (Heim et al. 2009; Etzold et al. 2011), litter decomposition affected by chronic atmospheric nitrogen decomposition (Kammer et al. 2012, Hagedorn et al. 2012), decomposition of fired-derived (charcoal) carbon (Maestrini et al. 2014a, 2014b, Singh et al. 2014), determining biodiversity and measuring photosynthesis using remote sensing technologies (Schneider et al. 2017; Paul-Limoges et al. 2018).

### Die Lägeren Geographischer Überblick

Die Lägerenkette ist im Grenzgebiet zwischen dem Zürcher Unterland und dem Ostargau gelegen und erstreckt sich von Ennetbaden / Wettingen im Kanton Aargau über eine Länge von ca. 11 km bis nach Regensdorf im Kanton Zürich. Sie weist eine Breite von anderthalb Kilometern auf, erreicht ihre grösste Höhe mit 866 m ü. M. bei der Ruine Altlägeren und gilt als östlichster Ausläufer des Faltenjuras. Ihr Name "Lägeren" weist auf die Bänderung des Berges hin. Die Forschungsstation mit dem Messturm liegt auf 685 m ü. M. an süd-exponierter Lage in einem montanen Laubmischwald.

### Geologie

Geologisch betrachtet gehört die Lägeren zum Jura gebirge, welches sich in Chambéry (Frankreich) von den Alpen trennt und als einzelne Falte an der Lägeren unter die Molasse abtaucht. Der Jura ist ein Mittelgebirge aus mesozoischen Sedimenten, welches sich in den letzten Phasen der Alpenfaltung aufgewellt hat (Labhart, 2001).

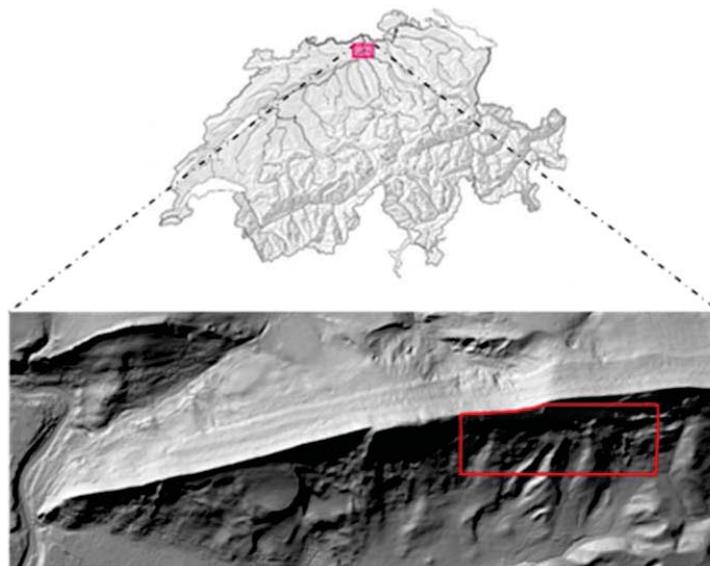


Abb. 1: Lage der Lägeren mit Untersuchungsfläche. Geländemodell mit 5 m-Auflösung. Daten: Aargauisches Geographisches Informationssystem (agis).

## **Tropische Flachmeere in der Jurazeit**

Zur Jurazeit stieg der Meeresspiegel weltweit an und sorgte dafür, dass das Meer über die Festländer vordrang. Die Region Lägern befand sich in einem weiten Schelfmeer am Nordrand dieses Tethys genannten Urmitelmeeres. In dieser Zeit wurden die Badener- und die Wettingerschichten abgelagert – die ältesten im Untersuchungsgebiet aufgeschlossenen Gesteinsschichten. Die Badenerschichten bestehen aus zum Teil fossilreichen kalkigen Mergeln und sind bei Fossilien-sammlern und Wissenschaftlern schweizweit gleichermaßen bekannt. Die jüngste Einheit des Malm bilden die Wettingerschichten: grobbankige, harte Kalke, welche lokal Kieselknollen enthalten können (Schindler, 1978).

Nach Ablagerung der jurassischen Sedimente bildete die Lägern ein Festland, worauf sich als Folge der intensiven Verwitterung im tropisch feuchten Klima des Eozän (vor 65 – 35 Millionen Jahren) eine Karstlandschaft bilden konnte. In den tiefen Karstschloten, die das Dach der Malmkalke durchziehen, sammelten sich Boluston und Bohnerze (Residualprodukte der verwitterten Kalksteine) an, die heute die einzigen Zeugen dieser erosiven Phase bilden (Bitterli-Dreher, 1999).

An manchen Stellen können Bohnerzkörner in unterschiedlicher Grösse gefunden werden. Im 19. Jahrhundert wurden mehrfach Versuche unternommen, diese Eisenvorkommen zu nutzen. Allerdings lohnten sich diese Unterfangen nur in Ausnahmefällen, weshalb die Versuche schon bald wieder aufgegeben wurden (Meier und Meier 2003).

## **Molasseablagerung im Tertiär**

Im Tertiär vor rund 40 Millionen Jahren erhoben sich die Alpen zu einem Hochgebirge, wobei riesige Gesteinsschichten gefaltet und übereinander geschoben wurden (Labhart, 2001). Die Alpenfaltung ging einher mit der Bildung einer Vorlandsenke, die sich mit dem von der Gebirgsbildung anfallenden Gebirgsschutt auffüllen konnte. Dabei entstanden Mergel, Sandsteine und Konglomerate, welche als Molasse zusammengefasst werden und vor allem im Mittelland auftreten (Bolliger, 1999). Innerhalb dieses Molasse-schichtstapels treten wechselweise Meeres- und Festlandablagerungen auf. Durch Hebungen und

Senkungen im Molassetrog kam es zum zweimaligen Vordringen und Zurückweichen des Meeres. Die entsprechenden Ablagerungen werden als Untere Meeresmolasse, Untere Süsswassermolasse, Obere Meeresmolasse und Obere Süsswassermolasse bezeichnet (Labhart, 2001). Im Untersuchungsgebiet dominieren der Unteren Süsswassermolasse angehörende Sandschüttungen (Bolliger, 1999).

## **Quartär: Die Lägern während den Eiszeiten**

An der Lägern findet man nur die ältesten kaltzeitlichen Ablagerungen. Die Deckenschotter stammen aus der Riss-Eiszeit und kommen nur noch isoliert als Erosionsreste vor. Im Untersuchungsgebiet sind keine Deckenschotterreste vorhanden. Die letzten Gletschervorstösse der Würm-Eiszeit erreichten die Lägern nicht mehr, so dass die Bodenbildung hier schon vorher einsetzen konnte (Bitterli-Dreher, 1999).

## **Klima**

Das kleinräumige Klima der Schweiz wird stark durch die Bergmassive der Alpen und des Jura beeinflusst. Geographische Besonderheiten wie Höhenlage, Exposition oder spezielle Kammerungen haben einen entscheidenden Einfluss auf die bodennahen Windverhältnisse und somit auf das Mikroklima einer Region. Durch die West-Ost-Ausrichtung der Lägern ergibt sich eine klare Trennung in eine Nord- und eine Südseite, was sich markant auf die Klimaverhältnisse und somit besonders auf die Pflanzenwelt auswirkt.

Die Untersuchungsfläche wird der montanen Klimastufe zugeordnet, was mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von unter 8°C einem ziemlich kühlen Klima entspricht. Die Vegetationsperiode dauert hier 170 – 190 Tage und der mittlere Jahresniederschlag liegt mit fast 1200 mm/Jahr im schweizerischen Mittelfeld.

Die Niederschlagsverteilung zeigt ihr Minimum in den Monaten Januar, Februar und November sowie ihr Maximum im Juli und August. Das sommerliche Niederschlagsmaximum steht im Zusammenhang mit den häufigen Gewitterregen. Im Jahr 2005 sind im Winter 14%, im Frühling 23%, im Sommer 41% und im Herbst 22% der Jahressumme angefallen, was für dieses Gebiet typisch ist. Das Temperaturmaximum (Juni 17.3°C, Juli

17.2°C) deckt sich mit dem Niederschlagsmaximum und befindet sich in der Vegetationsperiode. Das Minimum trat 2005 im Februar (-2.6°C) auf.

Die Winde werden durch die West-Ost-Ausrichtung des steilen Lägerngrates kanalisiert. Die Westwinde sind im Untersuchungsgebiet vorherrschend, die vor allem im Winter feuchte Meeresluft vom Atlantik auf den Kontinent transportieren. Auch der Orkan 'Lothar', welcher am 26. Dezember 1999 über die Schweiz fegte, war einer dieser Westwindstürme. Er richtete auch im Untersuchungsgebiet enorme Schäden an. Sogar der Messturm wurde stark in Mitleidenschaft gezogen.

## Boden

Während der Linth-Rhein-Gletscher das Untersuchungsgebiet in der Riss-Eiszeit noch mit einem Moräneschleier aus aufgearbeitetem Molassematerial überzog, blieb die Fläche in der Würm-Eiszeit eisfrei. Jedoch führten Kryoturbation und Solifluktion zu einer starken Überprägung der Böden. Seit dem Ende der letzten Eiszeit vor etwa 18'000 Jahren entwickelten sich am Lägern-Südhang viele verschiedene Bodentypen.

Bodentypen am Lägern-Südhang - Im oberen Teil der Lägern (ab 600 – 700 m ü. M.) auf den harten Malmkalken kommen vorwiegend Rendzinen vor. Unterhalb des Messturms bilden Hanglehme, Sandsteine und Molassemergel das Ausgangsgestein für die Bodenbildung. An diesen Standorten kommen fruchtbarere Braunerden, Parabraunerden und Kalkbraunerden vor (Abb. 2).

## Bodenkarte

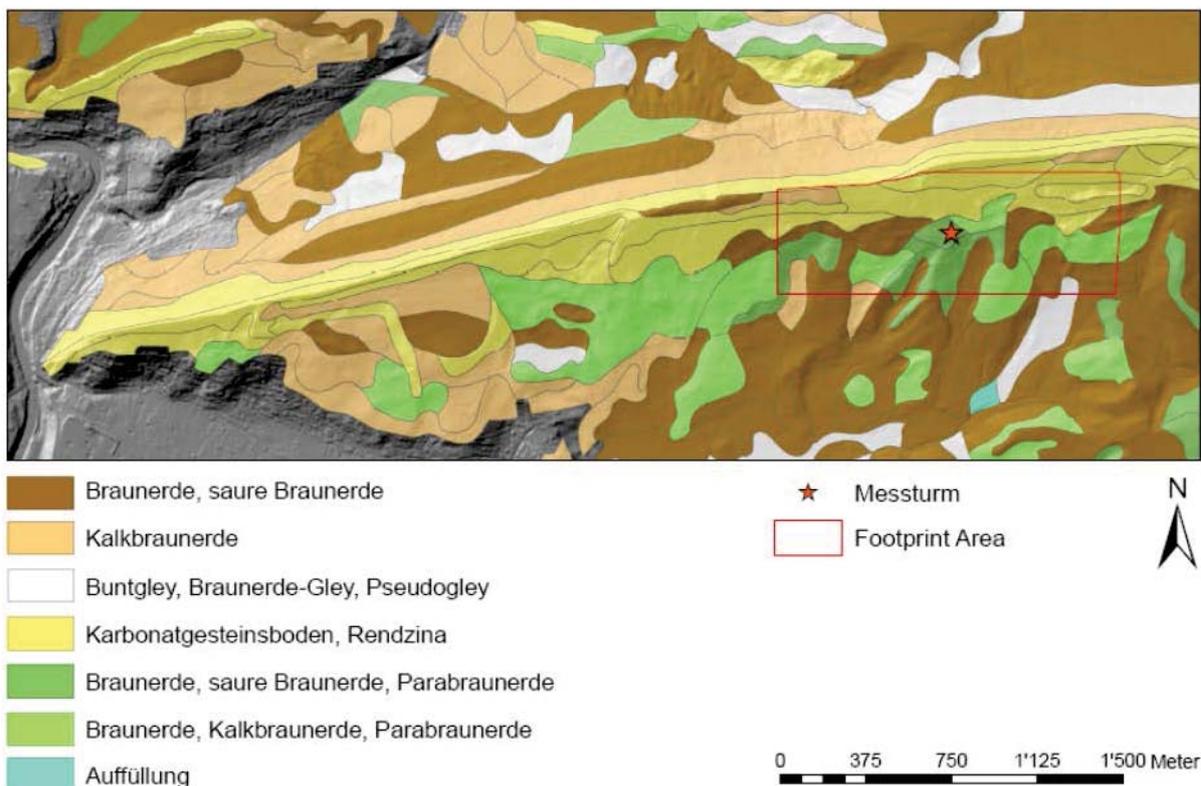


Abb. 2: Bodenkarte der Lägern. Eigene Darstellung nach der Bodenkarte der Schweiz (FAL, 1996). Daten: Aargauisches Geographisches Informationssystem (agis)

## Vegetation

Mit guten Gründen ist das Lägerngebiet ins Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung aufgenommen worden, handelt es sich doch bei der Landschaft nicht nur geologisch um eine Besonderheit: Die

seltene Felsenfluren und das Naturwaldreservat sind Teil einer wunderschönen Naturlandschaft, welche vielen Tier- und Pflanzenarten Lebensraum bietet (Egloff, 1999).

Auf Grund der Standorteigenschaften kommen viele unterschiedliche und zum Teil sehr seltene

Waldgesellschaften vor. Die Buche als die im Mittel- und Ostland dominante Baumart ist allgegenwärtig. Unterhalb des Messturmes, auf der Unteren Süsswassermolasse und dem Solifluktionsschutt, sind z.B. verschiedene Formen des Waldmeister-Buchenwaldes zu finden. Etwas oberhalb dieser Standorte, im Gebiet des Kalk-Gehängeschuttes, finden sich etwas trockenere Standorte, auf welchen sich vor allem Kalk-Buchenwälder verbreitet haben. Die trockensten Waldstandorte im Untersuchungsbereich sind unterhalb des Grates zu finden. Hier wachsen Hangschuttwälder wie der Ahorn-Linden-Hangschuttwald und der Lerchensporn-Ahornwald (Cuny, 1983).

- **Waldmeister-Buchenwälder:**

Meist wüchsige Hallen-Buchenwälder mit starken, geraden Stämmen. An der Längsseite sind oft Formen auf kalkhaltigen Böden anzutreffen. Hier ist die Artenvielfalt mit vielen Kalk- und Wärme liebenden Pflanzen in der Kraut- und Strauchschicht

besonders gross. Typische Arten: Buche, Ahorn, Kirsche, Weissdorn, Gemeiner Seidelbast, Mandelblättrige Wolfsmilch, Gemeine Akelei.

- **Kalk-Buchenwälder:** Ebenfalls wüchsige Buchen-Hallenwälder mit vielen Frühlingsblühern in der Krautschicht, wie dem Bingelkraut und der Frühlingsplatterbse. Kalk-Buchenwälder stocken auf den skelettreichen Rendzinen und Kalkbraunerden oberhalb des Messturmes. In der Krautschicht sind hier Kalk und Wärme liebende Pflanzen wie etwa der Lorbeerseidelbast zu finden.
- **Hangschuttwälder:** Mässig wüchsige Mischwälder an sonnigen, losen Schutthängen. Häufig trifft man Stockaus schläge an. Zum Teil sehr seltene Waldgesellschaften mit Wärme liebenden Pflanzenarten (Bärlauch, Lerchensporn, Blaustern, Immenblatt).



Abb. 3: Buchenhallenwald (links), Kalk- und wärmeliebende Pflanzen: Frühlingsplatterbse (oben), Immenblatt (unten links), Mandelblättrige Wolfsmilch (unten rechts)

### **Wald- und Forstwirtschaft**

Alten Waldwirtschaftsplänen ist zu entnehmen, dass der Gemeindewald von Wettingen 1806 ungefähr 286 ha umfasste. Das mittlere Baumalter betrug damals nur gerade 26 – 40 Jahre. Insgesamt waren 74 ha schlecht bestockt und 28 ha sogar öde. Das war in der damaligen Zeit ein allgegenwärtiges Waldbild. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden die Wälder im Allgemeinen – und auch der Wettinger Wald bildete da keine Ausnahme – durch Übernutzung, Waldweide, Streunutzung, sowie Holzfrevel in einen äusserst schlechten Zustand gebracht. Neben einer grossen Holznot waren auch Erosionen und Abrutschungen des Geländes die Folge. Aus diesen unhaltbaren Zuständen heraus entstand nach und nach eine Forstgesetzgebung in der Schweiz, welche die notwendigen Planungs- und Kontrollinstrumente für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung schuf und endlich die gewünschte Wirkung zum Schutz der Wälder brachte, so das Aargauische Forstgesetz von 1860 und das Schweizerische Forstgesetz von 1876 (Schnetzler, 1983).

Bereits im 2. Wettinger Wirtschaftsplan von 1884 (ein erster Plan von 1865 ist nicht mehr auffindbar) wird der Waldzustand als wesentlich verbessert dargestellt.

Das Naturwaldreservat Isloch liegt in der Untersuchungsfläche und wurde Ende 1998 durch die Unterzeichnung einer Vereinbarung zwischen Kanton und Ortsbürgergemeinde Wettingen begründet. Es ist in die Kategorie "Naturschutzgebiete von kantonalen Bedeutung" eingereiht und ist 28.29 ha gross.

Zusammen mit dem ebenfalls an der Lägern liegenden Teil 'Schartenfels' beträgt die gesamte Reservatsfläche der Ortsbürgergemeinde Wettingen an der Lägern 68.30 ha, was 24.80% des Waldeigentums ausmacht. Diese beiden Flächen gehören zum kantonsübergreifenden Waldreservat Lägern mit einer Gesamtfläche von 157 ha: 76 ha liegen im Aargau und 81 ha im Kanton Zürich. Durch den Verzicht auf jegliche forstliche Nutzung und Pflege wird hier der natürlichen Waldentwicklung freier Lauf gelassen. Damit werden sich im Laufe der Zeit alle Entwicklungsphasen des Naturwaldes mit ihren für die biologische Vielfalt wertvollen speziellen Lebensgemeinschaften einstellen. So wird sich der Anteil an toten, uralten und an Bäumen mit Höhlen deutlich erhöhen. Mit naturschutzbedingten Pflegeeingriffen wird in einem im Waldreservat Lägern integrierten

Spezialreservat Lebensraum seltener und gefährdeter Tier- und Pflanzenarten erhalten und gefördert. Durch die hier erlaubte Holznutzung kommt Licht und damit Wärme auf den Boden – eine Bedingung für das längerfristige Überleben sehr spezialisierter Tier- und Pflanzenarten.

### **Die Lägern – ein Forschungsstandort**

Seit 1986 befindet sich am Lägern-Südhang auf 685 m ü. M. mitten im Wald eine Messstation. Der Betrieb wurde 1987 vom Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) aufgenommen, um im stark industrialisierten Limmattal Daten über die Luftverschmutzung zu erheben. Der Messturm wurde im Dezember 1999 durch den Sturm 'Lothar' geknickt. Mit seinem Neuaufbau konnten sehr gute Bedingungen für zusätzliche Forschungsprojekte geschaffen werden. Seit dem Jahr 2004 ist der Standort Teil eines europäischen Forschungsprojektes, dem CarboEurope, später (Swiss) FluxNet (ETH Graslandwissenschaften, Eidgenössische Materialprüfungsanstalt EMPA), und der Langfristigen Waldökosystemforschung (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL).

### **Terrestrische Ökosysteme im globalen Kohlenstoffkreislauf**

Die Verbrennung fossiler Brennstoffe und Landnutzungsänderungen führten seit dem 19. Jahrhundert zu einem drastischen Anstieg des Kohlenstoffdioxids (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre. Nur die Hälfte der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen haben sich in der Atmosphäre angehäuft, der Rest wurde durch terrestrische Ökosysteme (Ackerland, Grasland, Wald) und Ozeane in ungefähr gleichem Verhältnis aufgenommen. Diese Reduktion von Kohlenstoff in der Atmosphäre durch terrestrische Ökosysteme ist vor allem auf die erhöhte Produktion von Biomasse zurückzuführen, einerseits verursacht durch die Zunahme der Waldfläche in der Schweiz und andererseits durch das bei Bäumen festgestellte erhöhte Wachstum in CO<sub>2</sub>-reicher Atmosphäre. Terrestrische Ökosysteme können also als globale Senken des atmosphärischen CO<sub>2</sub> dienen. Durch Landnutzungsänderungen (z. B. Rodungen), welche zu einem Verlust von Kohlenstoff aus Biomasse und Boden führen, können dieselben Systeme aber auch zu einer anthropogene Quelle für

CO<sub>2</sub> werden. Die exakte Rolle, welche terrestrische Ökosysteme im Klimasystem spielen, ist deshalb Gegenstand aktueller, wissenschaftlicher Forschung.

### **Treibhausgasbudget durch das Swiss FluxNet**

Der Standort Lägern ist eine wertvolle Komponente im weltweiten FluxNet. Die Untersuchungsfläche Lägern repräsentiert einen montanen Mischwald im Schweizer Faltenjura. Bei der Ermittlung von Kohlenstoffbilanzen von terrestrischen Ökosystemen spielt die Eddy-Kovarianz-Methode eine Hauptrolle, da mit dieser Methode CO<sub>2</sub>-Flüsse in das Ökosystem hinein und aus ihm heraus direkt gemessen werden können. Im Wald werden in einer Höhe von 25 m über den Baumwipfeln Windrichtung, Windgeschwindigkeit und CO<sub>2</sub>-Konzentration der Luft gemessen. Mittels mikrometeorologischer Modelle kann dadurch berechnet werden, aus welcher räumlichen Einheit das am Turm gemessene CO<sub>2</sub> stammt. Diese Fläche nennt man Footprint oder Source Area (Schmid and Oke, 1990).



Abb. 4: Buchenhallenwald Eddy-Messturm am Lägern-Südhang auf 685 m ü.M. Zusätzlich zu den Messungen am Eddy-Messturm werden auch Messungen an der Bodenoberfläche durchgeführt. Hier wird insbesondere ermittelt, wie und in welchen Mengen der Kohlenstoff, den die Bäume aus dem CO<sub>2</sub> der Atmosphäre aufnehmen, durch Bodenatmung der Wurzeln und Mikroorganismen wieder an die Luft abgegeben wird.

### **Kohlenstoffvorrat in den Böden der Footprint Area**

Um die Interpretation der Flussmessungen am Turm verbessern zu können, müssen möglichst genaue Angaben über die Charakteristik der Footprint Area vorliegen. Im Rahmen der Diplomarbeit von Linda Wehrli wurden die Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte im Boden der Untersuchungsfläche und deren räumliche Variabilität untersucht (Wehrli 2006). An 27 Standorten innerhalb der Footprint Area wurden im Sommer 2005 Boden- und Streuproben entnommen, um die Heterogenität der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte möglichst genau festhalten und Aussagen über die Nährstoffverhältnisse in den Böden machen zu können. Die Untersuchungen der C- und N-Gehalte in den Böden der Footprint Area haben ergeben, dass das Ausgangsmaterial, also der geologische Untergrund einen besonders grossen Einfluss auf den C- und N-Vorrat im Untersuchungsgebiet hat. Der Kohlenstoff- und der Stickstoffvorrat ist in den obersten 10 cm der Böden auf Malmkalk doppelt so hoch wie in den Böden auf Sandsteinen der Unteren Süsswassermolasse (Abb. 5).

In der Footprint Area wird in den obersten 10 cm des Bodens total 3975 t organischer Kohlenstoff gespeichert, was durchschnittlich 52 t C/ha entspricht. Im oberen Teil der Untersuchungsfläche in den Böden auf Malmkalk ist der grösste mit durchschnittlich 71 t C/ha und in den Böden auf unterer Süsswassermolasse (hellgelbe Flächen) der kleinste (30 t C/ha) C-Vorrat gespeichert.

Bei der Verwitterung der Malmkalke gelangen viele Tonminerale und Ca-Ionen in den Boden und stabilisieren die organische Substanz. Der Sandstein der unteren Süsswassermolasse enthält verhältnismässig wenig Tonminerale und Ca-Ionen und die organische Substanz wird weniger stabilisiert und leichter abgebaut und deshalb sind die Kohlenstoffvorräte geringer.

Ob sich die Bodenkohlenstoff-Vorräte über einen Zeitraum von ca. 15 Jahren verändert haben wird eine geplante Wiederholung der Bodenkohlenstoff-Inventur an den gleichen Probenahmestandorten im Jahr 2020 zeigen. Interessant wird der Vergleich der Inventuren von Bodenkohlenstoff

und lebender Biomasse mit dem aus den Flussmessungen abgeschätzten Kohlenstoffbudget des Standortes.

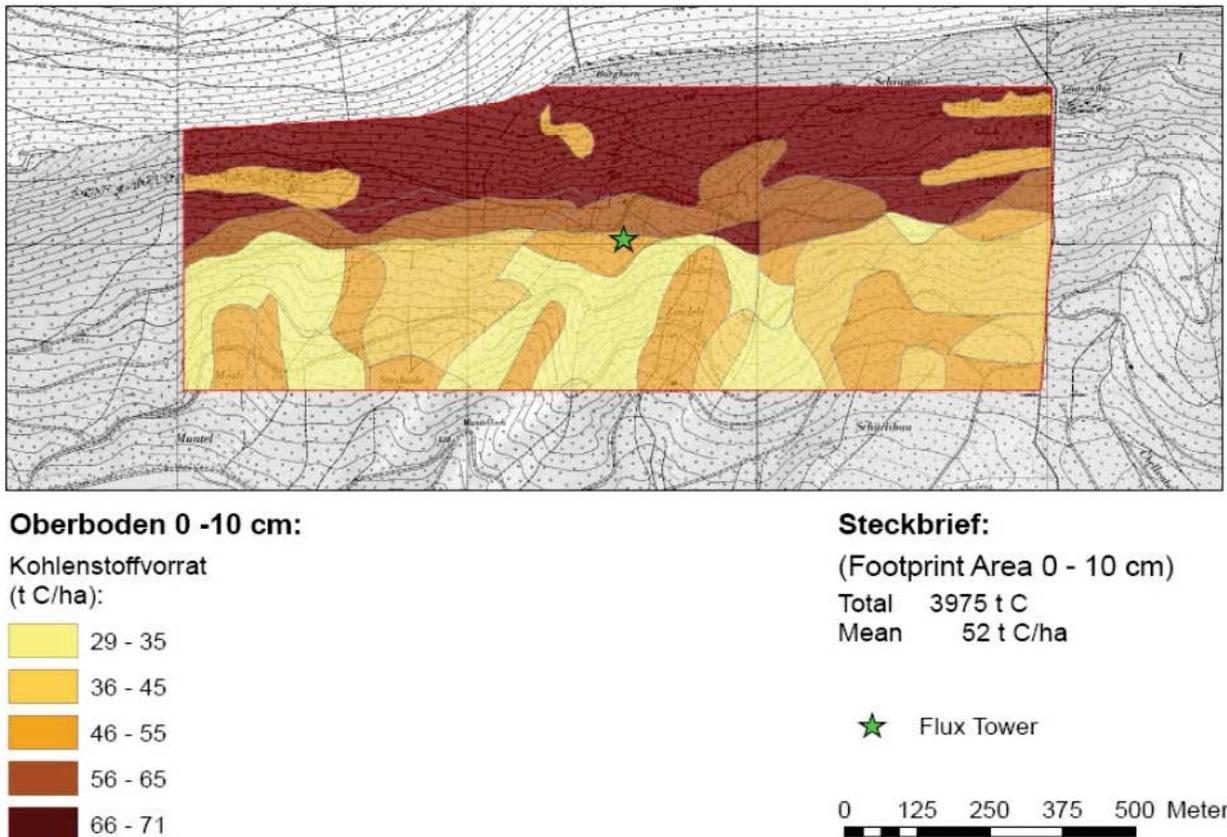


Abb. 5: Kohlenstoffvorrat im Oberboden in der Footprint Area

### Kohlenstoffvorrat in zwei Beispielböden

Der Kohlenstoffvorrat variiert je nach Bodentyp stark. Die Kohlenstoffvorratskarte der Footprint Area zeigt deutlich, dass in Rendzinen im oberen Teil des Untersuchungsgebietes viel mehr Kohlenstoff gespeichert wird als beispielsweise in den sandigen Böden der Unteren Süßwassermolasse.

**Rendzina im oberen Teil des Untersuchungsgebietes (Profil 1)**, mit humusreichem, intensiv durchwurzelten Ah-Horizont; Bodenart: toniger Lehm mit starken Ton-Humuskomplexen, welche den Kohlenstoff vor Auswaschung und mikrobieller Zersetzung schützen (Abb. 6, Tab. 1).

Tab. 1: Kennwerte Rendzina (Profil 1)

C-Konzentration:	14.1%
C-Vorrat:	78 t C/ha
pH-Wert:	7.2
Skelett:	15%

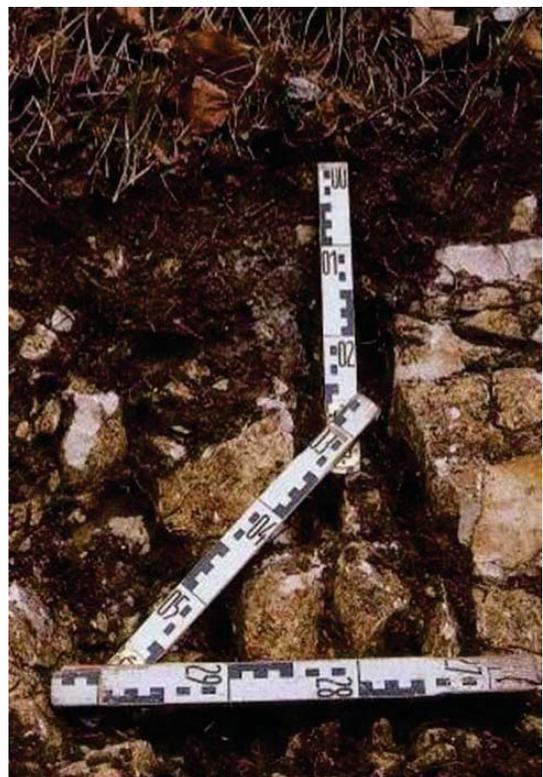


Abb. 6: Rendzina im oberen Teil des Untersuchungsgebietes.

**Saure Braunerde aus Unterer Süsswassermolasse (Profil 2).** Der Ah-Horizont der sauren Braunerden am Standort weist folgende Eigenschaften auf: Humoser Sand, Einzelkorngefüge mit hoher Wasserdurchlässigkeit, wodurch der Kohlenstoff leicht ausgewaschen wird. Durch den tiefen pH-Wert ist das Nährstoffangebot gering, so dass die Streu nur langsam zersetzt wird und wenig neuer Kohlenstoff in den Boden gelangt.

Der Übergang vom Bv-Horizont zum C-Horizont erfolgt häufig erst in 1.5 m Tiefe (Tab. 2, Abb. 7).

Tab. 2: Kennwerte saure Braunerde (Profil 2)

C-Konzentration:	2.6 %
C-Vorrat:	34 t C/ha
pH-Wert:	4.1
Skelett:	0%



Abb. 7: Saure Braunerde aus Unterer Süsswassermolasse.

## Literatur

- Bitterli-Dreher, P. 1999. Vom Kohlesumpf zum Wasserschloss - die geologische Geschichte der Landschaft in der Region Baden. *Badener Neujahrsblätter*. Baden. p. 10-22.
- Bolliger, T. 1999. *Geologie des Kantons Zürich* Ott Verlag, Thun.
- Cuny, R. 1983. Die Pflanzengesellschaften der Lägern (Schweiz: Jura). In: H. Moor, editor *Mitteilungen der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft*. Sauerländer AG, Aarau. p. 5 - 64.
- Egloff, F. 1999. Besonderheiten der Lägernflora und der Kampf um die Erhaltung der Felsfluren. *Badener Neujahrsblätter*. Baden. p. 23-36.
- Etzold, S., N.K. Ruehr, R. Zweifel, M. Dobbertin, A. Zingg, P. Pluess, et al. 2011. The carbon balance of two contrasting mountain forest ecosystems in Switzerland: Similar annual trends, but seasonal differences. *Ecosystems* 14: 1289-1309.
- FAL. 1996. *Bodenkarte Baden mit Erläuterungen*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich - Reckenholz.
- Hagedorn, F., A. Kammer, M.W.I. Schmidt and C.L. Goodale. 2012. Nitrogen addition alters mineralization dynamics of <sup>13</sup>C-depleted leaf and twig litter and reduces leaching of older DOC from mineral soil. *Global Change Biol* 18: 1412-1427.
- Heim, A., L. Wehrli, W. Eugster and M.W.I. Schmidt. 2009. Effects of sampling design on the probability to detect soil carbon stock changes at the Swiss CarboEurope site Lageren. *Geoderma* 149: 347-354.
- Kammer, A., M.W.I. Schmidt and F. Hagedorn. 2012. Decomposition pathways of C-13-depleted leaf litter in forest soils of the Swiss Jura. *Biogeochemistry* 108: 395-411.
- Labhart, T.P. 2001. *Geologie der Schweiz*. 5. Überarbeitete Auflage 2001 ed. Ott verlag Thun.
- Maestrini, B., A.M. Herrmann, P. Nannipieri, M.W.I. Schmidt and S. Abiven. 2014. Ryegrass-derived pyrogenic organic matter changes organic carbon and nitrogen mineralization in a temperate forest soil. *Soil Biology & Biochemistry* 69: 291-301.
- Maestrini, B., S. Abiven, N. Singh, J. Bird, M.S. Torn and M.W.I. Schmidt. 2014. Carbon losses from pyrolysed and original wood in a forest soil under natural and increased N deposition. *Biogeosciences* 11: 5199-5213.
- Paul-Limoges, E., A. Damm, A. Hueni, F. Liebisch, W. Eugster, M.E. Schaepman, et al. 2018. Effect of environmental conditions on sun-induced fluorescence in a mixed forest and a cropland. *Remote Sensing of Environment* 219: 310-323.
- Schindler, C. 1978. *Zur Geologie von Baden und seiner Umgebung*. *Badener Neujahrsblätter*. Baden. p. 109-172.
- Schmid, P. and T.R. Oke. 1990. A model to estimate the source area contributing to turbulent exchange in the surface layer over patchy terrain. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* 116: 965-988.
- Schneider, F.D., F. Morsdorf, B. Schmid, O.L. Petchey, A. Hueni, D.S. Schimel, et al. 2017. Mapping functional diversity from remotely sensed morphological and physiological forest traits. *Nature communications* 8: 1441.
- Schnetzler, H.R. 1983. *Waldwirtschaftsplan*. OBG Wettlingen Revision Herbst 1981. Wettlingen. p. 70.
- Singh, N., S. Abiven, B. Maestrini, J.A. Bird, M.S. Torn and M.W.I. Schmidt. 2014. Transformation and stabilization of pyrogenic organic matter in a temperate forest field experiment. *Global Change Biol* 20: 1629-1642.
- Wehrli, L. 2006. *GIS-basierte Kohlenstoffvorratsinventur: Waldböden an der CarboEuropeIP Untersuchungsfläche Läger*. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich.
- Wehrli, L. 2007. *Exkursionsführer zum CarboEuropeIP-Forschungsstandort*. Beilage zur Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich.

# G-08: The Swiss Canopy Crane Experiment II and the Botanical Garden (University Basel)

Ansgar Kahmen<sup>1</sup>, Sibylle Lustenberger<sup>1</sup>, Edith Zemp<sup>2</sup>, Bruno Erny<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Physiological Plant Ecology Group, University of Basel, Schönbeinstrasse 6, 4056 Basel; <sup>2</sup>Botanical Garden, University of Basel, 4056 Basel

---

## Introduction

Rising global temperatures, fewer number of precipitation days and an increased intensity of drought events are projected to shape the future climate of central Europe. Changes in water availability and more intense drought events will have significant impacts of the central European vegetation and can impair the ecosystem goods and services provided to our society. Importantly, critical mechanisms that determine how changes in water availability and drought will impact the functioning of temperate ecosystems are poorly understood and not well represented in earth system models. Anticipating the consequences of a future climate for the functioning of temperate European ecosystems is therefore limited and hinders the design of mitigation options and future ecosystem management plans.

Most experiments that attempt to improve the mechanistic understanding of drought responses of terrestrial ecosystem have to date focused either on the experimental manipulation of grasslands or on investigations with tree seedlings or saplings. Although forests play an essential role for the delivery of ecosystem goods and services, very few experiments exist worldwide that mechanistically investigate the responses of mature trees and forest to changes in water availability or drought. The experimental research platform of the 'Swiss Canopy Crane II' closes this critical research gap and will provide the opportunity over the next two decades to address some of the key open

questions with respect to how mature trees and forests respond to anticipated changes in water availability and drought.

## The experimental research site at Hölstein (BL)

The research site is located at an elevation of 550 m a.s.l. and is positioned on the top of a gentle hill. The mean annual temperature is 9.0°C and the mean annual precipitation is 1009 mm. The soil type was classified as Rendzic Leptosol with a clay fraction of up to 40%. Within an area of 1.6 ha, the site contains 538 mature trees from 14 different species with a DBH >10 cm (Fig 1). The estimated age of the trees ranges from 20 up to 150 years.

The infrastructure includes state of the art instrumentation for the continuous assessment of critical environmental and physiological variables, a 50 m crane that provides access to the canopy and a specially designed mobile roof for the experimental drought treatment.

In the center of the plot, a 50 m tall canopy crane with a 50 m jib was installed in spring 2018. The crane provides canopy access to 256 trees from 10 species (Fig. 1). The drought manipulation will be achieved by a 3100 m<sup>2</sup> roof that we plan to install in the fall of 2019 under the canopy of the trees in the north-eastern side of the research site. The roof will be between 2 – 3 m high and consist of transparent (mostly) mobile panels that can be closed at the onset of a rain event.

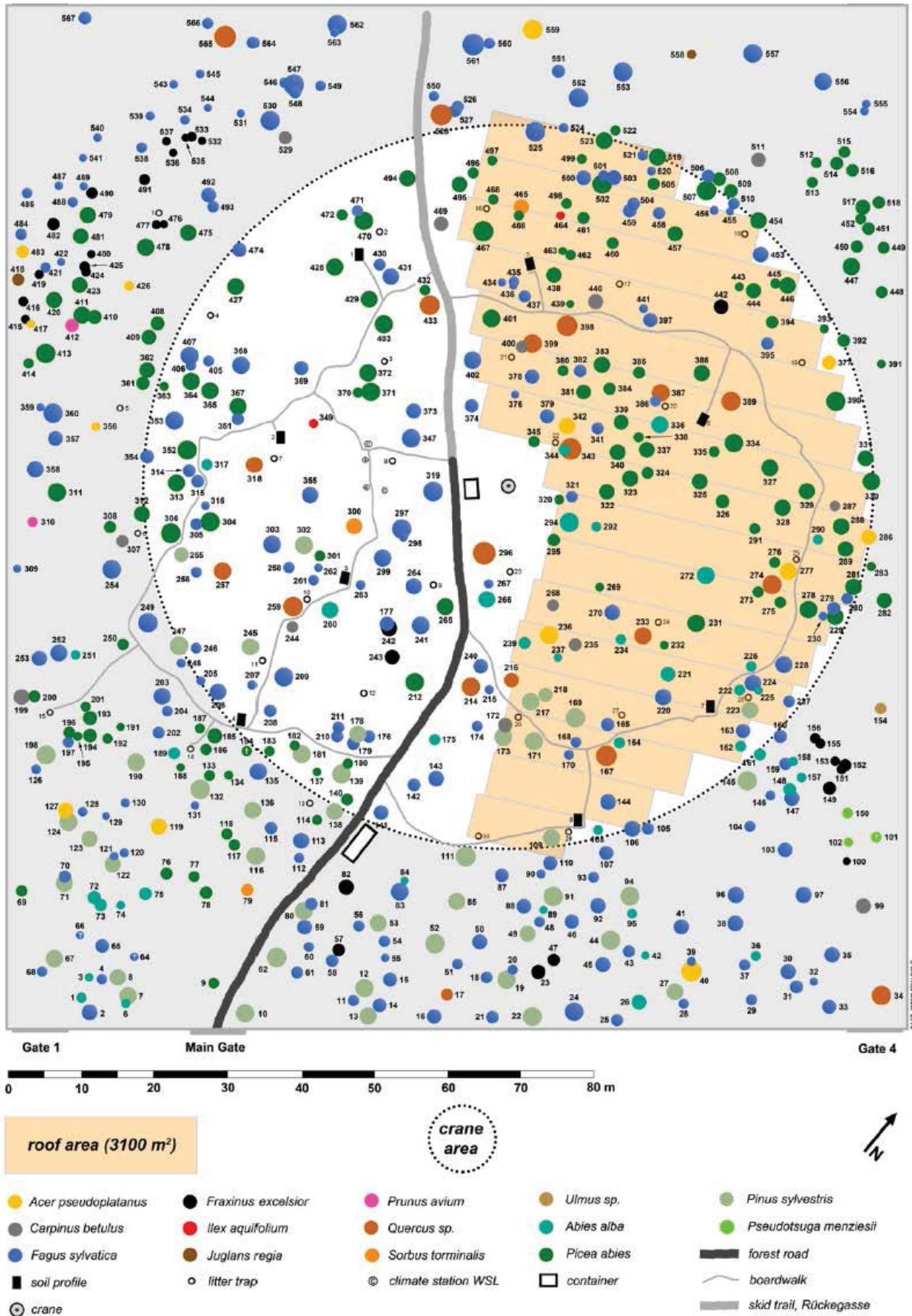


Fig. 1: Description of the 120 x 160 m research site in Hölstein, BL close to the University of Basel.

## Drought treatment in the main experiment

Climate projections for Switzerland forecast a reduction of summer precipitation between 30 and 40% (Fischer et al. 2015, Swiss Academy Reports 2016). This reduction is the result of fewer precipitation days rather than a declining intensity of individual precipitation events (Rajczak et al. 2013). Although associated with larger uncertainties, it is also projected that the number of extreme events will increase in the future, including a higher frequency of heat days and a higher risk of soil drying (Orlowsky et al. 2013, Trenberth et al. 2014).

The goal of the main experiment that we seek to establish at the research site is to simulate projected changes in the precipitation regime for at least the next 17 years

To apply our treatment, we will manipulate the number of precipitation days in our experiment with a 3100 m<sup>2</sup> roof that will be installed 2 – 3 m above the ground. The roof will consist of mobile panels that can automatically be opened or closed. Over the entire duration of the experiment we will reduce the number of precipitation days by on average 50% relative to the control plot.

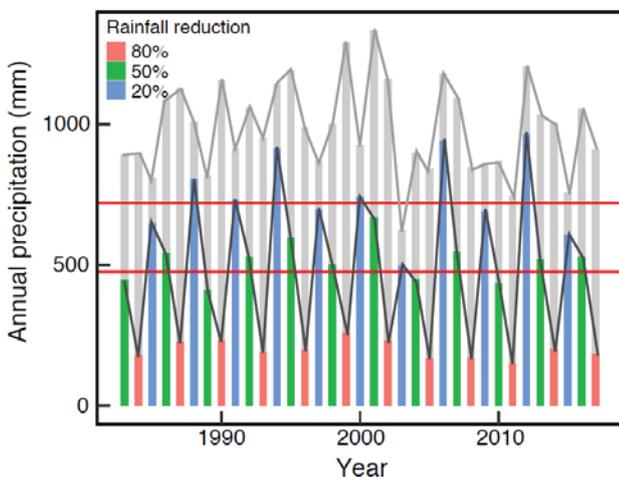


Fig. 2: Natural variability of precipitation in close proximity to our research site 1983 – 2017 (grey bars) and the simulated experimental precipitation regime 1983 – 2017 as a result of 20%, 50%, or 80% throughfall reduction. Red lines indicate the threshold for a negative (lower line, 476 mm) or positive (upper line 831 mm) water balance for the years 1983 – 2017. Climate data are from the Meteo Swiss station Rünenberg.

However, in order to account for the projected increased inter-annual variability in precipitation,

we will not manipulate the number of precipitation days uniformly each year, but reduce the number of precipitation days for a given year by either 20, 50, or 80% in a three-year block (Fig. 2). These three-year blocks will then be repeated throughout the duration of the experiment.

## Botanical Garden

In the afternoon, we will visit the botanical garden of the University of Basel.

The history of the botanical garden of the University of Basel goes as far back as the 16<sup>th</sup> century by Caspar Bauhin, making it one of the oldest botanical gardens in the world. The diverse plant collection of more than 7,000 species is used for research, education and species protection. The botanical garden is open to the public all year. A widely diverse range of plant life flourishes inside four different greenhouses and one outdoor site (Fig. 3). We will have a guided tour through the outdoor site and the greenhouses of the botanical garden (Fig. 4).



Fig. 4: Greenhouses, Alpinum and Spalentor (University Basel; <https://botgarten.unibas.ch/>)

Including a presentation of recent greenhouse experiments of the Physiological Plant Ecology Group that focus on plant-mycorrhiza-soil interactions.

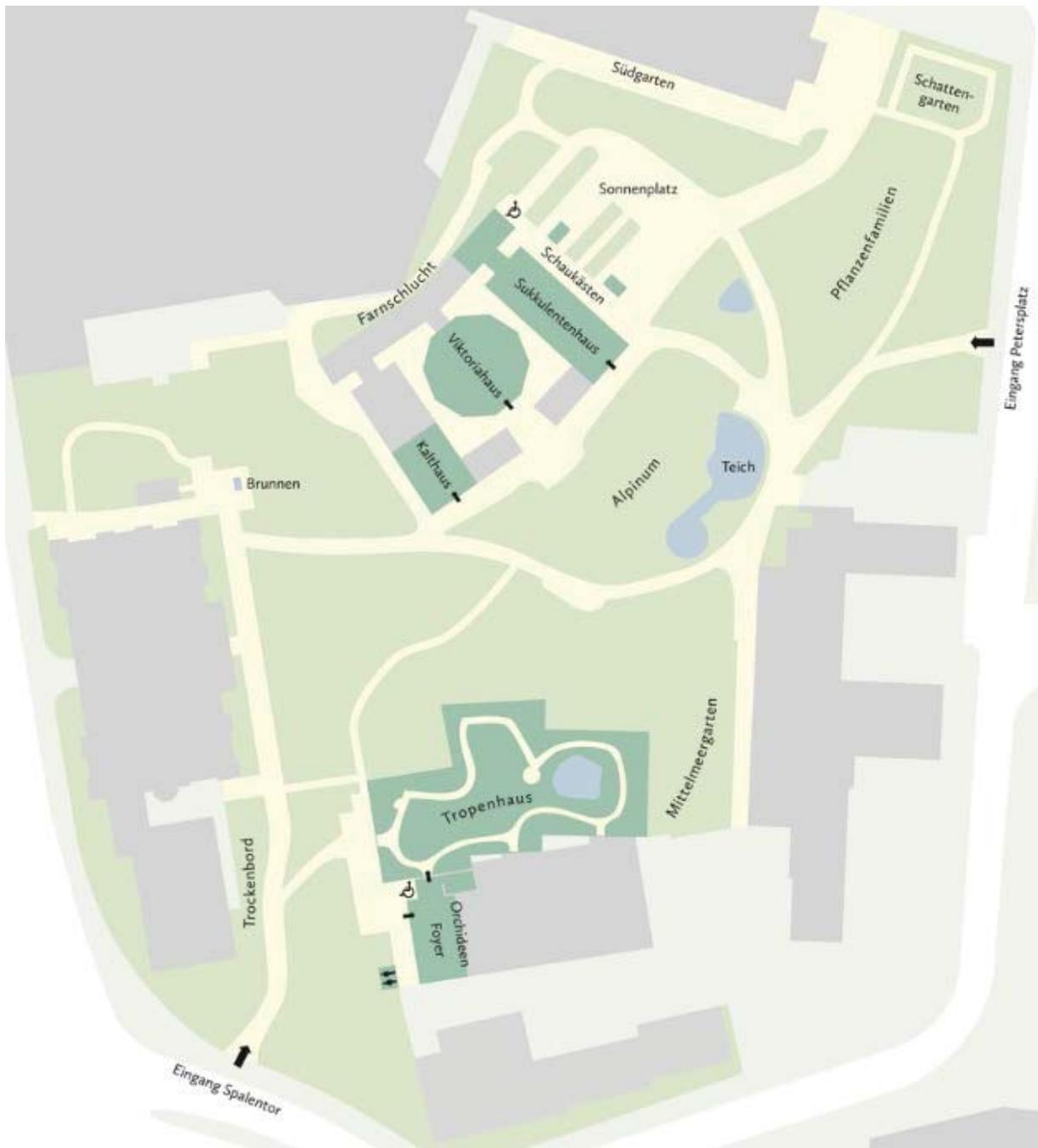


Fig. 3: Map of the Botanical Garden (University Basel; <https://botgarten.unibas.ch/>)

## Literature

- Babst F, Alexander MR, Szejner P, et al (2014) A tree-ring perspective on the terrestrial carbon cycle. *Oecologia* 176:307–322.
- Babst F, Poulter B, Trouet V, et al (2013) Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Global Ecology and Biogeography* 22:706–717.
- Beier C, Beierkuhnlein C, Wohlgemuth T, et al (2012) Precipitation manipulation experiments—challenges and recommendations for the future. *Ecol Letters* 15:899–911.
- Brinkmann N, Eugster W, Zweifel R, et al (2016) Temperate tree species show identical response in tree water deficit but different sensitivities in sap flow to summer soil drying. *Tree Physiol* 36:1508–1519.
- Dawson TE, Mambelli S, Plamboeck AH, et al (2002) Stable isotopes in plant ecology. *Annu Rev Ecol Syst* 33:507–559.
- Fischer AM, Keller DE, Liniger MA, et al (2015) Projected changes in precipitation intensity and frequency in Switzerland: a multi-model perspective. *Int J Climatol* 35:3204–3219.
- Hartmann H, Moura CF, Anderegg WRL, et al (2018a) Research frontiers for improving our understanding of drought-induced tree and forest mortality. *New Phytol* 218:15–28.
- Leuzinger S, Luo Y, Beier C, et al (2011) Do global change experiments overestimate impacts on terrestrial ecosystems? *Trends in Ecology & Evolution* 26:236–241.
- Lévesque M, Rigling A, Bugmann H, et al (2014) Agricultural and Forest Meteorology. *Agricultural and Forest Meteorology* 197:1–12.
- Orlowsky B, Seneviratne SI (2013) Elusive drought: uncertainty in observed trends and short- and long-term CMIP5 projections. *Hydrol Earth Syst Sci* 17:1765–1781.
- Rajczak J, Pall P, Schar C (2013) Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. *J Geophys Res-Atmos* 118:3610–3626.
- Reyer CPO, Leuzinger S, Rammig A, et al (2013) A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. *Global Change Biol* 19:75–89.
- Trenberth KE, Dai A, van der Schrier G, et al (2014) Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change* 4:17–22.
- Vicca S, Gilgen AK, Camino Serrano M, et al (2012) Urgent need for a common metric to make precipitation manipulation experiments comparable. *New Phytol* 195:518–522.
- Wolf S, Keenan TF, Fisher JB, et al (2016) Warm spring reduced carbon cycle impact of the 2012 US summer drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113:5880–5885.
- Zhang T, Niinemets Ü, Sheffield J, Lichstein JW (2018) Shifts in tree functional composition amplify the response of forest biomass to climate. *Nature* 556:99–102.

# G-09: Micro to nano-scale elemental and isotopic analyses of soil samples: Challenges and opportunities

## (Lab visit at the Centre for Advanced Surface Analysis)

Stéphanie Grand

Faculté des géosciences et de l'environnement, Institut des dynamiques de la surface terrestre, Université de Lausanne (UNIL), 1015 Lausanne

### Rationale

Soils are structurally heterogeneous across a wide range of spatio-temporal scales. Consequently, external environmental conditions do not have a uniform effect throughout the soil, resulting in a large diversity of microstructures and microhabitats. This micro-scale distribution of soil properties is of high importance for a mechanistic understanding of many soil functions (Herrmann et al. 2007).

Currently, a new generation of micron to sub-micron techniques in the fields of spectroscopy and microscopy is emerging and finding its way into soil science. Photoelectron spectroscopy (XPS), scanning transmission X-ray microscopy (STXM) in combination with near edge X-ray absorption fine structure spectroscopy (NEXAFS) and secondary ion mass spectrometry on the nano-scale (NanoSIMS) offer the opportunity to analyze the three dimensional organization of soils at the micro-scale and link this information to observations at larger scales (Totsche et al., 2010, Rennert et al., 2012).

Within this lab visit and short workshop, we will discuss adequate sample preparation techniques, spatial resolution, how to define and identify regions-of-interest, how to avoid bias due to artefacts, as well as mathematical approaches for data evaluation and generalization of spatial pattern at the microscale with experienced researchers. Following two keynote lectures, there will be a short excursion to the permanent soil pits of the Dorigny forest, followed by a laboratory tour through the Center for Advanced Surface Analysis.

### Soils of the Dorigny forest

The Dorigny forest represents a small hill formed by a glacial deposit (a drumlin). It is home to five permanent soil pits featuring the pedological diversity of the region. Within a radius of a few hundred meters, we can observe a Fluvisol developed in recent alluvial deposits, a Technosol recording recent human activities and Dystric to Hypereutric Cambisols representing a gradient of eolian inputs in the form of loess during the post-glacial period.



Fig. 1: The five soil profiles of the Dorigny forest

A remnant of pre-glacial conditions was even preserved as a pocket of paleo-ferralsol. Results of routine mineralogical and chemical analyses are available for all profiles shedding light into the history and properties of these soils (Fig. 1).

### The Center for Advanced Surface Analysis (CASA)

Opened in 2013, the Center for Advanced Surface Analysis (CASA) is a common University of Lausanne (UNIL)/ École Polytechnique Fédérale (EPFL) platform hosted in the new Geopolis building of University of Lausanne.

This Swiss research center offers to a broad range of scientists the state-of-the-art micro-analytical Secondary Ion Mass Spectrometric (SIMS) instruments for chemical and isotopic characterization of solid matter.

These instruments are used in research in such diverse topics as:

- Material sciences
- Geology
- Cosmochemistry
- Stable isotope geochemistry
- Soil science
- Biomineralization
- Environmental microbiology
- Cell biology.

The CASA facility is hosting three different laboratories organized around the following last generations SIMS instruments:

- A CAMECA SIMS ion microprobe 1280-HR (Fig. 2)
- A CAMECA NanoSIMS N50L (Fig. 3)
- Two LA-ICP-MS (Quadrupole Elan 6100 DRC and Sector-field Element XR)

The Center offers new laboratory rooms for the instruments as well as necessary facilities for sample preparation. All labs are virtually door to door of each other.

The UNIL-EPFL micro-analytical SIMS platform was created as a Swiss National Center of Competence in Research, opening doors to a broad range of the Swiss scientific community.

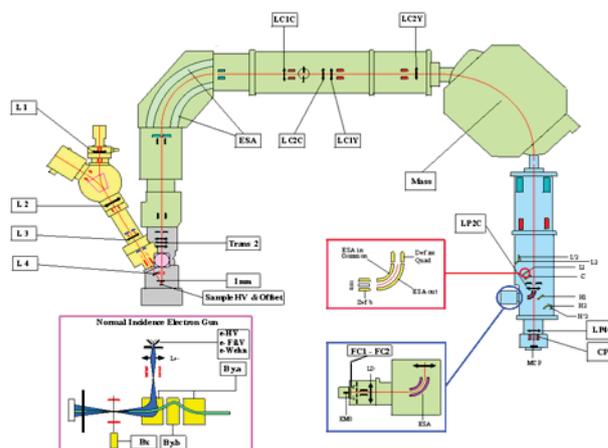


Fig. 2: The SwissSIMS 1280- HR.

The goals of the platform include:

- Opening up the facilities to an extended user-base and schooling of user-base
- Extension of the user-base to areas less familiar with surface analytics.
- Promote user started grants
- Development of methods and standards

#### The CAMECA SIMS ion microprobe 1280-HR

The IMS 1280-HR is a large radius secondary ion microprobe (CAMECA). The instrument has an  $O^-$  or  $O^{2-}$  primary source for positive secondary ions, and a  $Cs^+$  source for negative ions. The impact of the primary beam results in sputtering of ions on the sample surface, which are then accelerated through the instrument as a secondary ion beam. This secondary ion beam is then magnified and injected into a double focusing mass spectrometer. Secondary ions are then collected by electron multipliers and/or Faraday cup detectors, either in monocollection or multicollection mode. Isotopes of a wide range of elements (from H to U) can be measured with high analytical performance, even for low contents (<1ppm). The design of the ion probe allows precise determination of large number of isotopic systems with an excellent precision.

- Mass resolution: > 20 000
- Lateral resolution: usually 10  $\mu\text{m}$ , but can reach 2  $\mu\text{m}$
- Depth resolution: hundreds of nm.

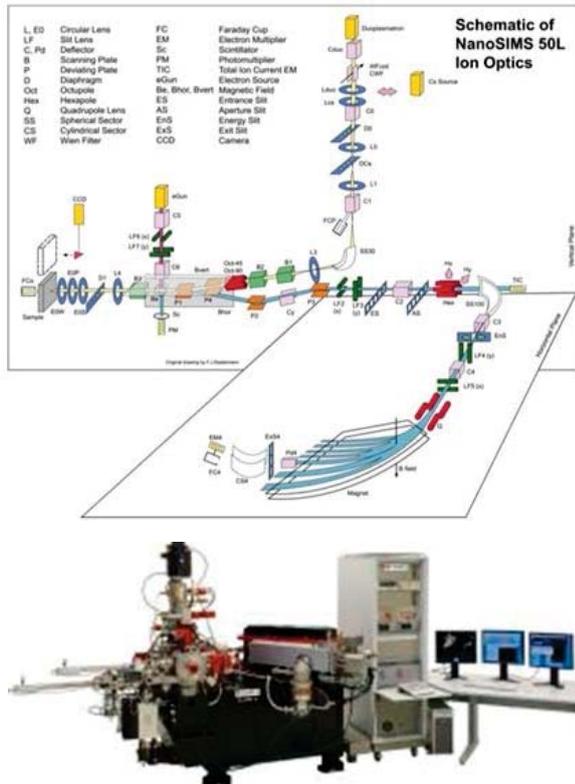


Fig. 3: The NanoSIMS 50L

### The NanoSIMS N50L

The NanoSIMS N50L (Cameca) is a ion microprobe optimized to produce images of large chemical or isotopic variations in solid samples in which high spatial resolution is required. Like the 1280 instrument, the NanoSIMS can deliver a primary beam of  $\text{Cs}^+$  or  $\text{O}^-$  to a sample surface, but focused too a smaller spot of  $\sim 50$  and  $150$  nm, respectively.

- Lateral resolution: 50-150 nm
- Mass resolution: > 10000

The NanoSIMS N50L is equipped with a multi-collector system that allows simultaneous collection of up to 7 different isotopes. Images or maps can be generated from the lightest elements, such as H (e.g. D/H ratios), C ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios), N ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  ratios), O (e.g.  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratios) to the heaviest elements like uranium.

### Literature

Herrmann, A.M. et al. (2007) Nano-scale secondary ion mass spectrometry — A new analytical tool in biogeochemistry and soil ecology: A review article. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 1835-1850.

Rennert, T., Totsche, K.U., et al. (2012) Advanced spectroscopic, microscopic and tomographic characterization techniques to study biogeochemical interfaces in soil. *Journal of Soils and Sediments*, DOI 10.1007/s11368-001-0417-5.

Totsche, K.U., Rennert, T., et al. (2010) Biogeochemical interfaces in soil: The interdisciplinary challenge for soil science. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173, 88-99.

# G-10: Long-term experimental nitrogen addition to a subalpine *Picea abies* forest

Patrick Schleppi

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

## Introduction



Deposition of inorganic nitrogen (N) to natural or semi-natural ecosystems has increased over the second half of the 20th century due to emissions from human activities. Inputs of ammonium

( $\text{NH}_4^+$ ) and nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) can induce an eutrophication of previously N-limited systems. Alpine ecosystems tend to have a rather tight N cycle. This is because both the supply and demand of mineral N are limited by climate and soil conditions at higher altitudes. The relative impact of N deposition is therefore potentially stronger here than at lower altitudes.

Critical loads of N are exceeded over large portions of Swiss forests. Tree health, biodiversity and water quality may be detrimentally affected. Nitrate leaching into surface and ground water is a particular matter of concern.

A simulation of a higher deposition rate is being conducted as a paired-catchment experiment in a spruce forest at Alptal, Switzerland. Following questions are addressed:

- ☞ *Are present and future N deposition rates likely to induce eutrophication and nitrate leaching ?*
- ☞ *What is the fate of the deposited N? Are there long-term ecological risks arising for subalpine forests ?*
- ☞ *How does this affect the estimation of critical loads and the need for controlling air pollution ?*

## Alptal research site

### Geography and geology

The Alptal valley runs in the central Swiss Prealps from the Mythen mountains in the south to Einsiedeln in the north (Fig. 1). The Mythen are relicts of the Penninic nappes, which were pushed from the south then eroded with the exception of the Mythen. The top of the Grosse Mythen is distinctly red and belongs to the Couches Rouges. Underneath is grey Malm limestone. The pilgrimage town of Einsiedeln, on his part, lies over freshwater Molasse. Between these two formations, the Alptal consists of Flysch, mainly Wägital Flysch. These old-tertiary calcareous sandstones with clay-rich shists make the whole

hillsides unstable and let them move down with velocities in the order of magnitude of a cm per year.

### Climate

The climate of the Alptal is cool and wet, with a mean temperature of 6°C at an altitude of 1200 m and with 2300 mm precipitation per year, of which ~30% as snow.

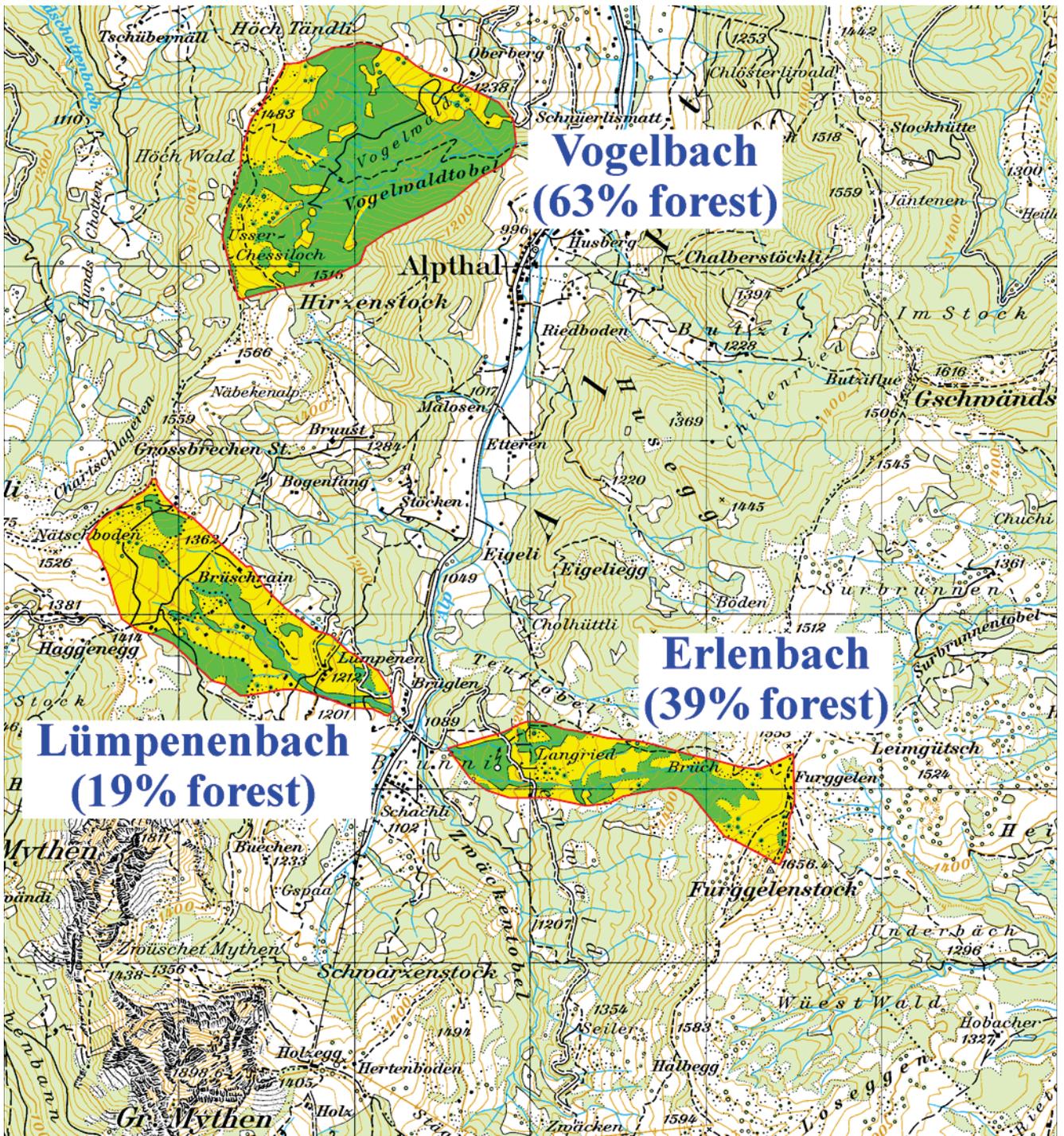


Fig. 1: Three small catchments studied by WSL in the Alptal valley.

### Soil

Soils evolving from Flysch parent material are very heavy, with here typically 45% clay, 45% silt and only 10% sand. The mineral soil has therefore a low water permeability. Together with the wet climate, this leads to hydromorphy and to the development of Gleysols on the slopes. Especially in forested areas, there is a distinct microtopography with mounds and depressions. Soil profiles vary accordingly, the reducing gley horizon starting at depths between 15 and 80 cm below soil surface. Humus forms also differ: anmoor

in the depressions and raw-humus-like on the mounds (Fig. 2). Gleysol is also found on open, non-forested areas, there with a thick anmoor horizon.

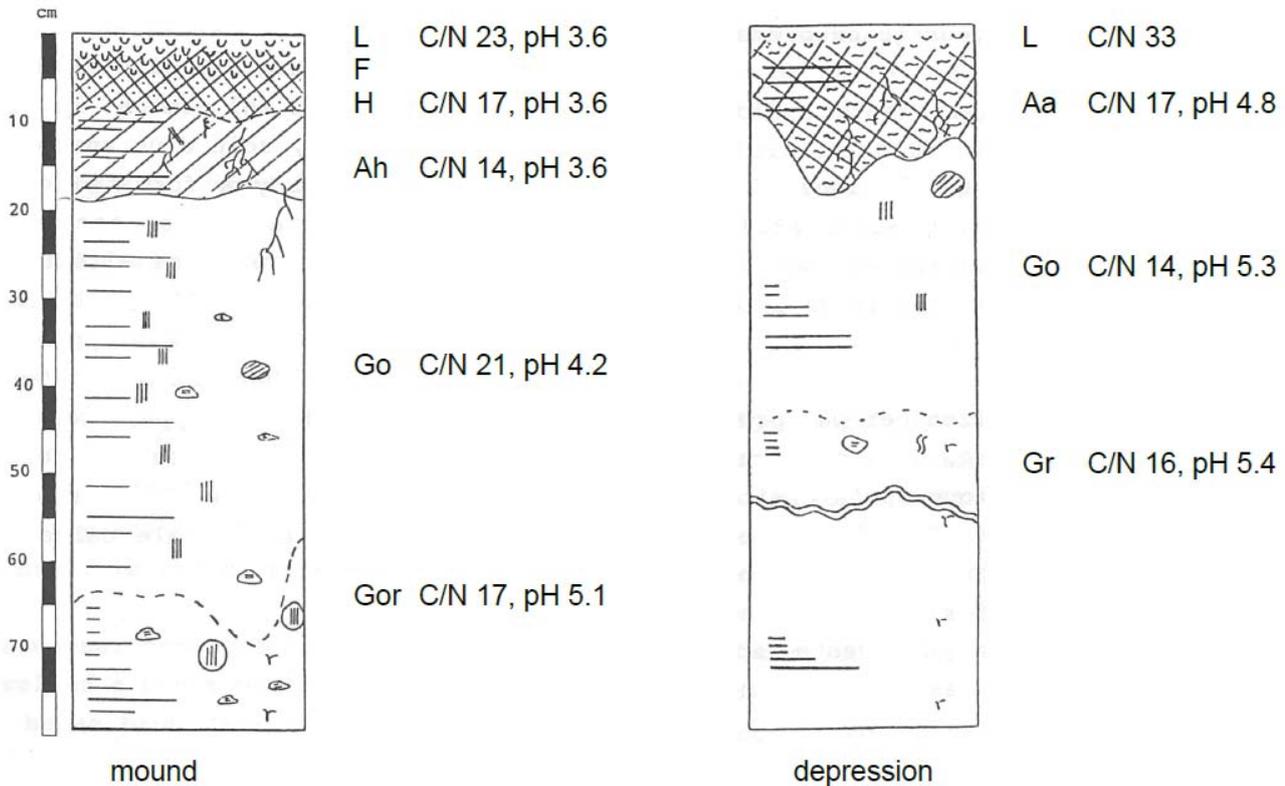


Fig. 2: Typical soil profiles in the Alptal forest.

### Vegetation

The landscape of the Alptal is a mosaic of forested areas and wet meadows and pastures. Meadows were formerly used once a year for litter production. This land-use form disappeared until it was reintroduced in the 2000's to protect their typical species, like orchids. Forests are naturally dominated by Norway spruce (*Picea abies*) with some silver fir (*Abies alba*) and green alder (*Alnus viridis*) along the streams. The ground vegetation in the forests can be classified into three communities depending on soil and light: trees + *Vaccinium* on the acidic mounds; *Caltha palustris* + *Petasites alba* (shade) or *Poa trivialis* + *Carex* (light) in the depressions. The active vegetation period lasts from June to September.

### Atmospheric deposition

As measured in rain gauges, the bulk deposition of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) amounted to each 6 kg / ha / y in the 1980 and 1990's and is slightly decreased since then. The deposition of sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) strongly decreased following abatement measures. This let the pH of precipitation increase by one unit (Fig. 3).

### Hydrological catchments

Three sub-catchments of the river Alp have been instrumented in the 1980's (Fig. 1). They differ in their proportion of forest cover. Precipitation and discharge are measured and analysed since then.

Starting 1995, two experimental forested catchments (~1500 m<sup>2</sup>) have been delimited by trenches within the Erlenbach catchment (Fig. 4). Nitrogen is added as  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  to rain water and applied by sprinklers to catchment # 2 at 22 kg N / ha / y. Catchment # 1 is the control and receives only unaltered rain water. Catchment # 3 is a further control in a fallow area (former litter meadow). The addition of  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  started after one year of calibration. It included 1400‰  $\delta^{15}\text{N}$  during the first treatment year. Control catchments were labelled with  $^{15}\text{NO}_3$  in 2000/01 and with  $^{15}\text{NH}_4$  in 2002/03.

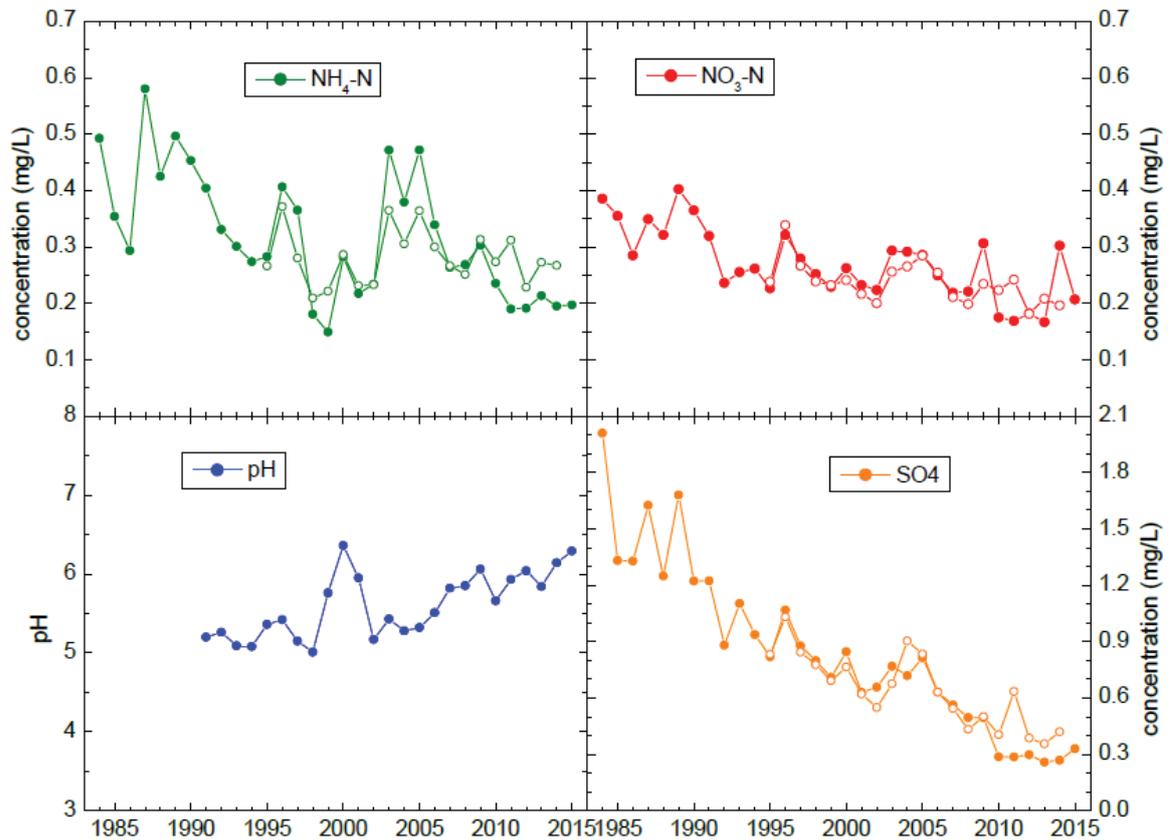


Fig. 3: Trends in bulk deposition at Erlenhöhe (Alptal).

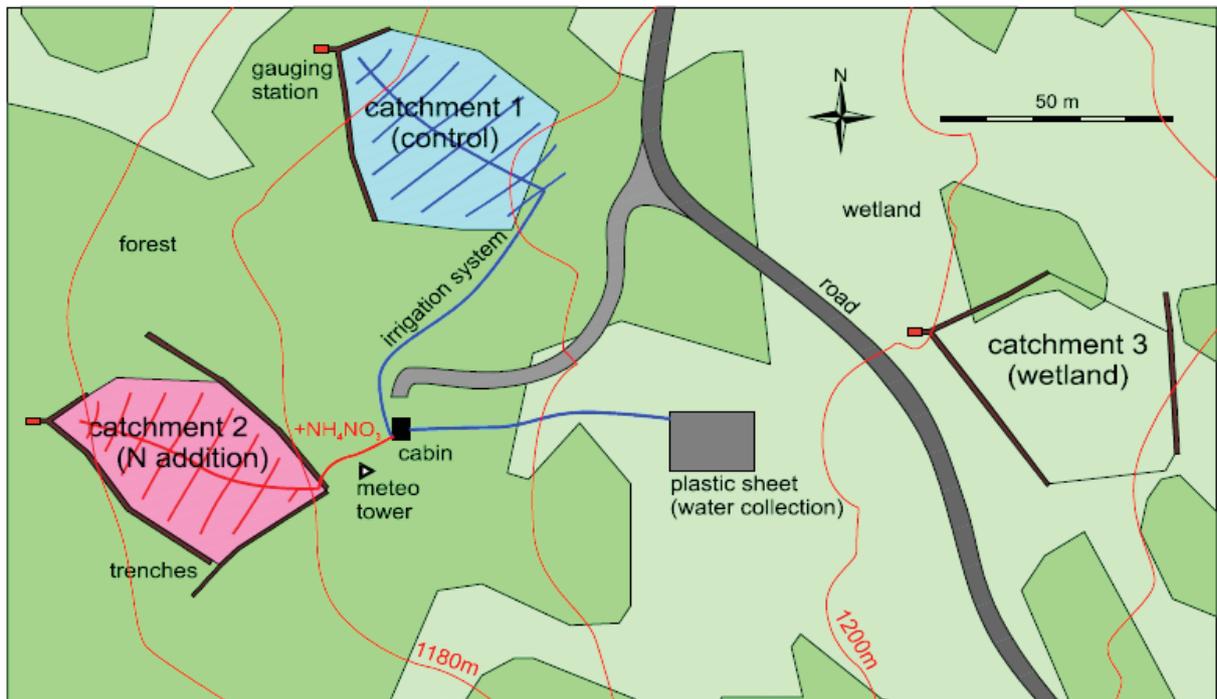


Fig. 4: Experimental setup of the N-addition experiment Alptal.

### Sampling and analyses

**Water discharge:** measured with V-notch weirs, with automatic, discharge-proportional sampling.

**Bulk deposition, throughfall and runoff samples:** collected weekly, proportionally bulked over 2 weeks.

**Water analyses:** electrical conductivity, pH, ICP-AES (cations), IC (anions), FIAS (ammonium), persulfate digestion + IC (dissolved organic N = DON).

**$^{15}\text{N}$ :** soil and vegetation pools analyzed by MS.  $^{15}\text{NO}_3^-$  and  $^{15}\text{NH}_4^+$  in water samples measured by

concentration on exchange resins + ammonium diffusion + MS.

### Water budget

The evapotranspiration was estimated, based on temperature and radiation, to be ~510 and ~590 mm for grassland and forest, respectively. Differences between yearly water inputs and outputs ranged from -60 to +370 mm. Forest and grassland are very similar except during snowmelt (Fig. 5) because less snow accumulates in the forest (interception and sublimation in the canopy).

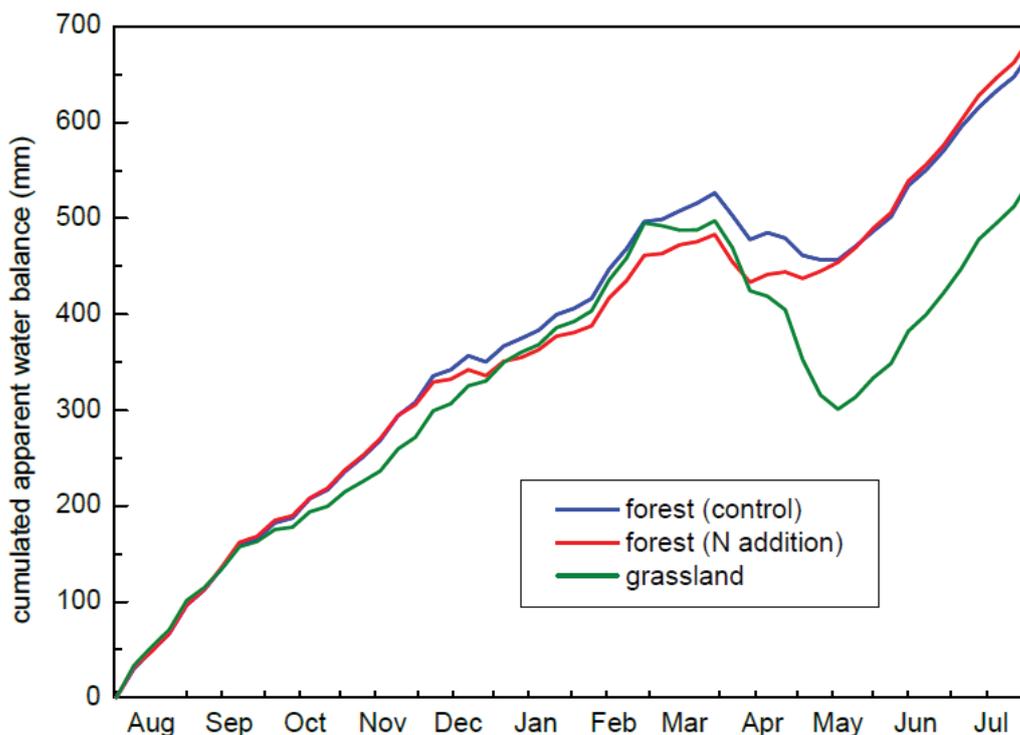


Fig. 5: Mean cumulated water balances (1994-2002).

### Nitrate leaching

Nitrate in the runoff is mostly <math><0.5 \text{ mg N / l}</math> (Fig. 6). Higher concentrations occur either at low discharge or during snowmelt. Leaching from the grassland is about the same than from the forest. During the calibration year, both forested catchments were very similar. During the first treatment year, there was a quick and significant increase over the control, most of which consisting of labelled N (Fig. 7). This leaching can largely be explained by fast preferential flow of water through the upper soil, followed by lateral flow over the gley horizon. Accordingly, nitrate from precipitation (or treatment) has only a short contact with the soil and can only partly be captured by roots and microorganisms.

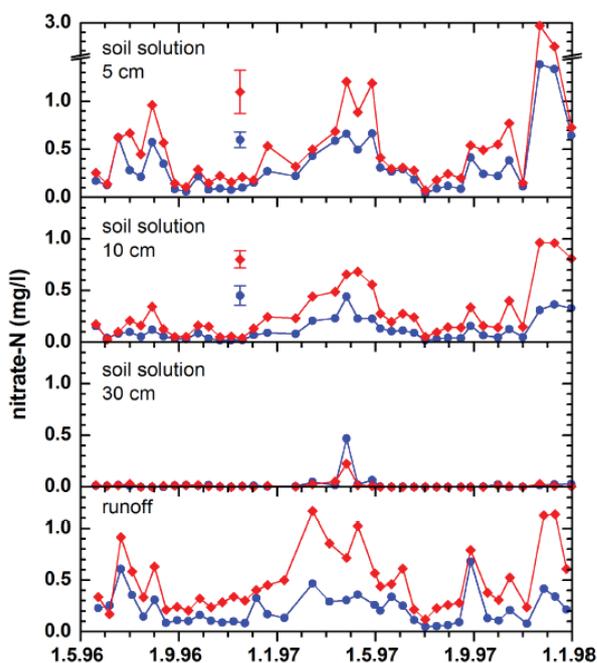


Fig. 6: Nitrate concentrations in soil solution and runoff water

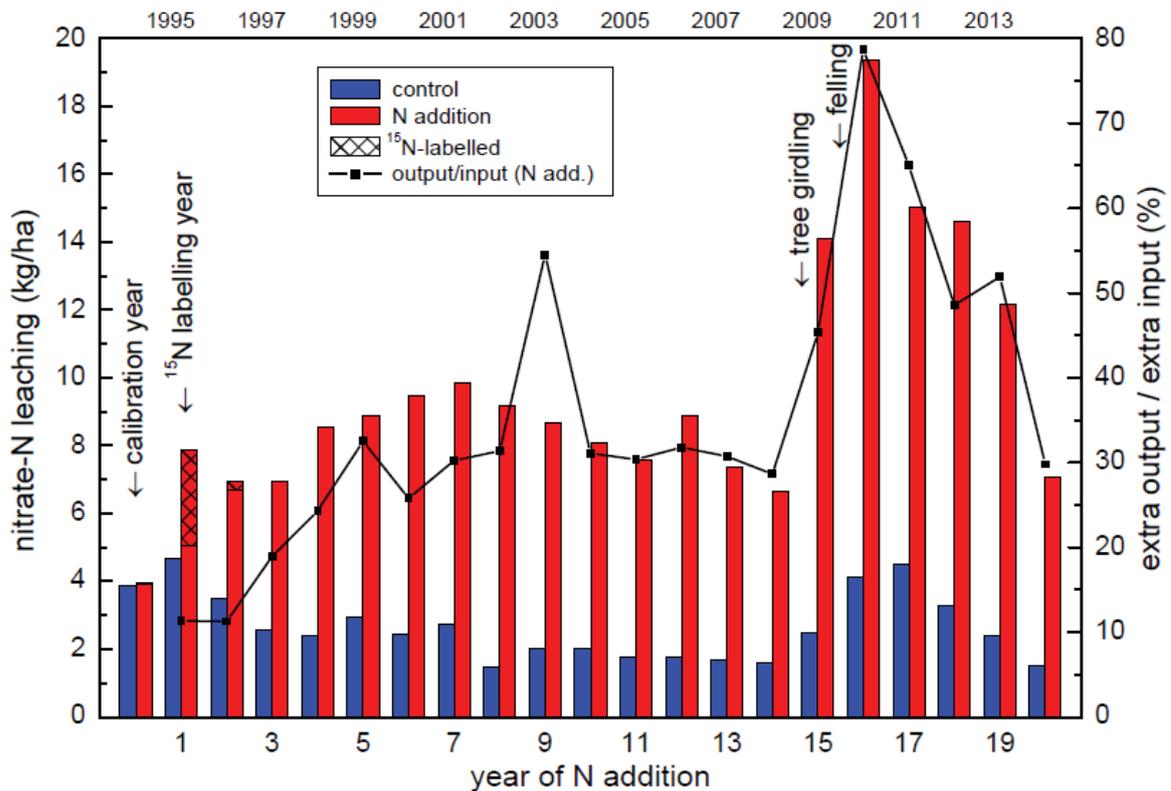


Fig. 7: Nitrate leaching during 20 years of N addition, with tree girdling in 2009, then felling in 2010.

### ***Effect of tree girdling and felling***

Girdling half or the trees >20 cm in diameter in 2009, then felling them in 2010 resulted in an increase in nitrate leaching from the catchments, especially from the N-treated one. This effect can be explained by the reduced demand for N by roots. It was not related to an increased mineralisation since practically no increase was observed in the transfer of <sup>15</sup>N label from the soil to leached nitrate.

### **Partitioning of <sup>15</sup>N**

Most <sup>15</sup>N applied to the N-treated catchment was retained in the soil, including its litter layer. The trees and the ground vegetation contained each less than 10% of the label, but in later years the recovery slowly increased in the trees while it decreased in the ground vegetation. In the control, much label applied as ammonium was first retained in the mosses, but within a few years the partitioning pattern became similar to that observed in the N-addition catchment (Fig. 8).

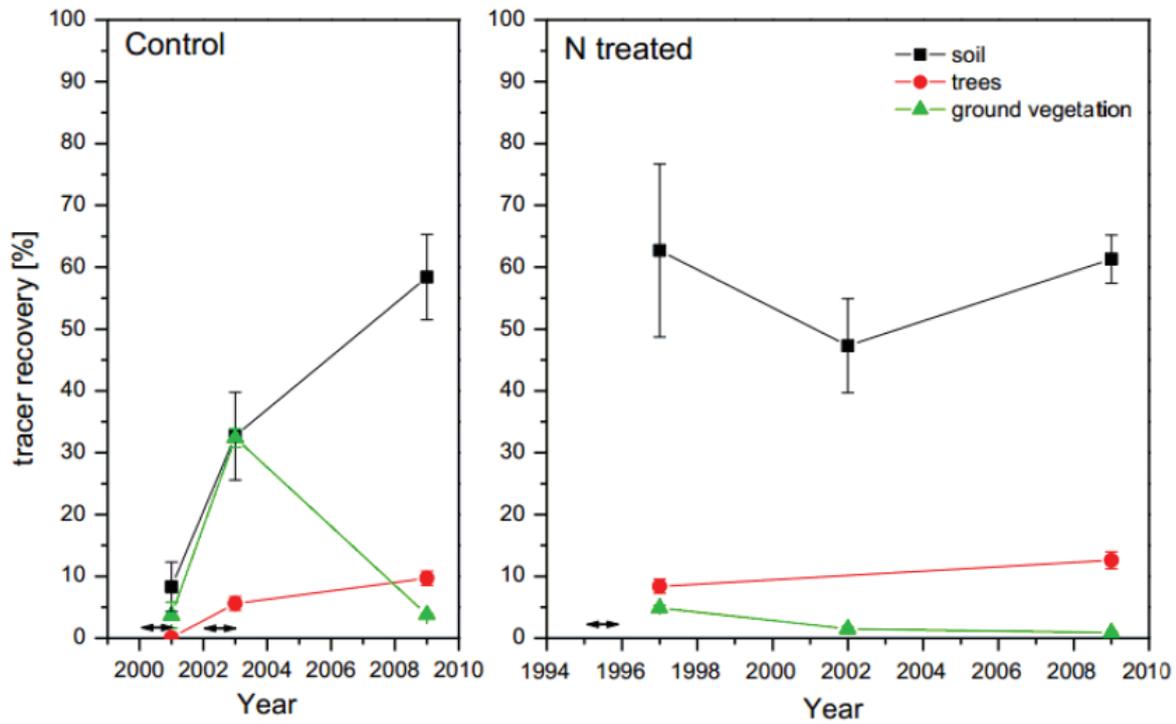


Fig. 8: Partitioning of  $^{15}\text{N}$  between soil, trees and ground vegetation after labelling (small horizontal arrows): with  $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  in the N-treated catchment, with  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$  then  $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$  in the control.

### Effect of N addition on trees

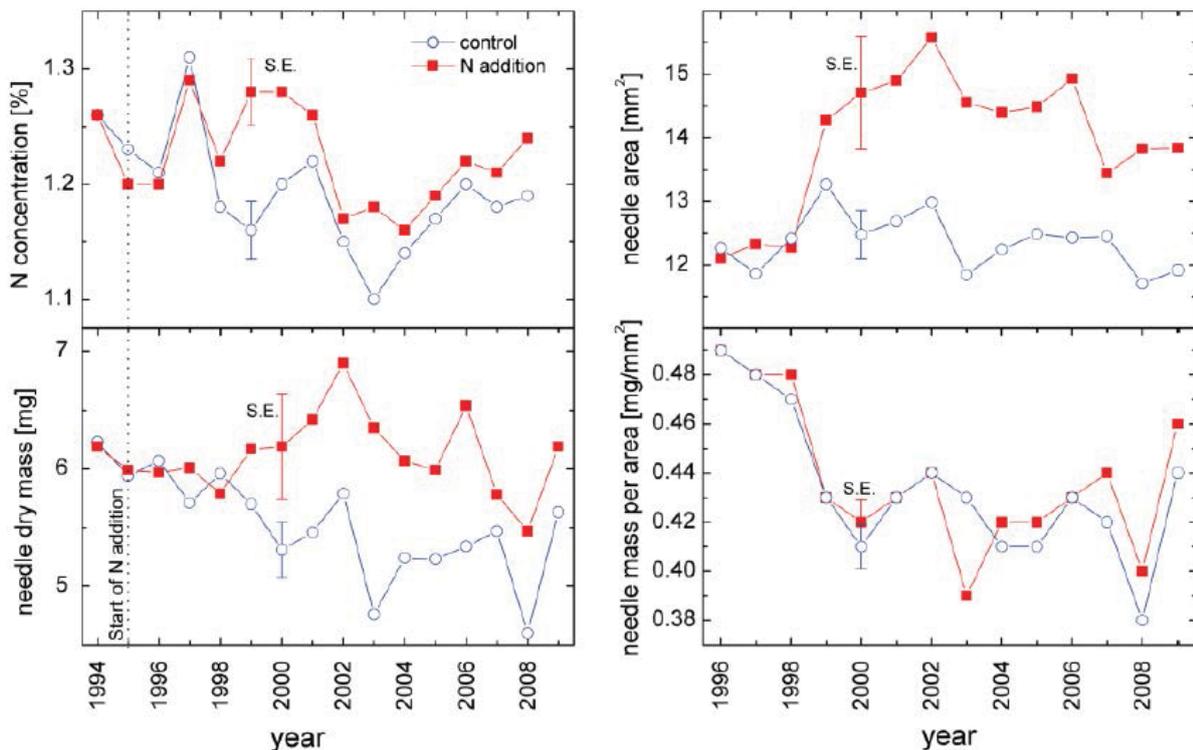


Fig. 9: Effect of the N addition on N concentration and morphological parameters of needles.

$^{15}\text{N}$  was readily incorporated into needles, also in older ones. Nevertheless, N concentration increased only after a few years and later returned to values no longer significantly higher than in the

control (Fig. 10). This can be explained by a dilution effect since the size of the needles markedly increased.

The diameter growth was measured on stem disks when trees were felled in 2010. Compared

to the preceding 35 years, the N addition induced significantly higher growth rates in the early wood and thus also in the entire rings. This enhancement can be ascribed to the larger needles of the N-treated trees. The canopy being relatively open (leaf area index 3.8), increasing the needle area implies that more light can be absorbed and used for photosynthesis.

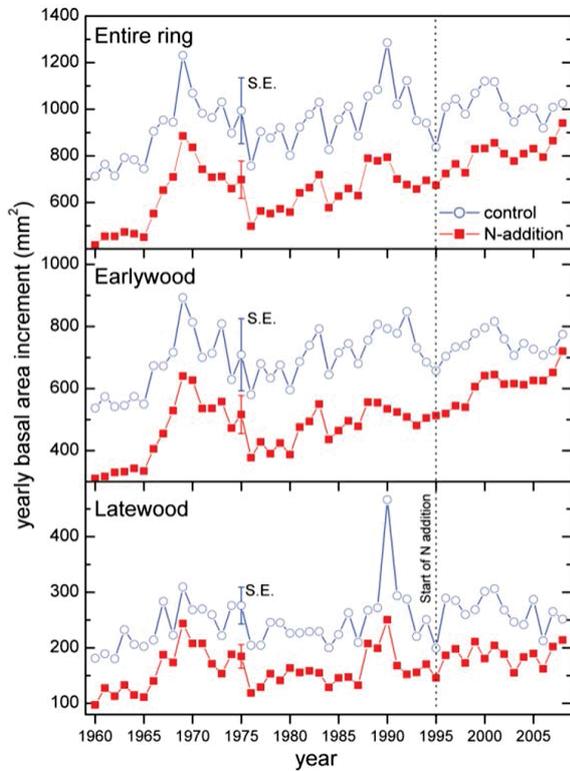


Fig. 10: Basal area increments in response to N addition

### Ground vegetation

Species were counted each year on 9 permanent quadrates (50 x 50 cm) per plot. An analysis of principal components of frequencies was performed. The first component was found to be linked to soil conditions and the second to light. There was a clear discrimination between three plant communities but no response to N addition. An increase in blackberry abundance was noticed in the N-treated catchment after tree felling, but this did not yet show up significantly in the permanent quadrates.

### Greenhouse gases

Static chambers were used during 5 years to measure exchanges of the 3 main greenhouse gases: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O (Fig. 11). N addition tended to decrease CO<sub>2</sub> production, which is in line with observations on other sites and corresponds to the accumulation of N along with C in soil organic matter. CH<sub>4</sub> balance was also marginally affected by the N treatment, turning the soil from a small sink into a small source. The higher the water table in the soil, the more CH<sub>4</sub> was produced. Girdling and felling trees also increased the net production of CH<sub>4</sub>. Similar tendencies were measured for N<sub>2</sub>O, with the exception that a higher water table corresponded to a reduced net release of this greenhouse gas.

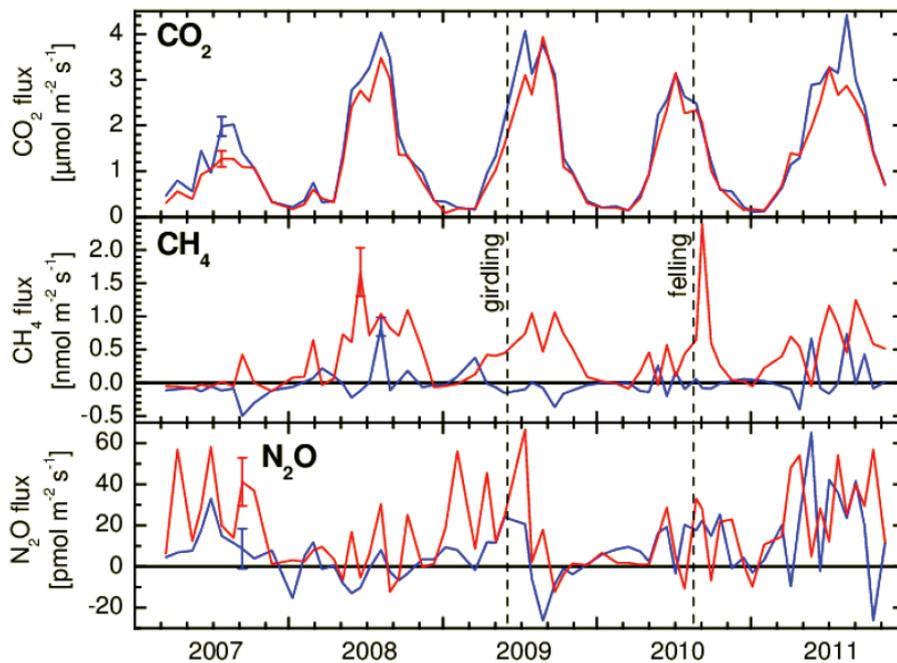


Fig. 11: Greenhouse gases from the soil of N-treated plots (red) compared to controls (blue). Error bars indicate  $\pm$  standard error (n=5).

This can be explained by the soil being often too wet for N<sub>2</sub>O production: denitrification then proceeds further to the formation of N<sub>2</sub>. Soil temper-

ature had obviously a large impact on soil respiration but no significant effect on net fluxes of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O.

### Conclusions (including facts not detailed here)

- ☞ *The Alptal ecosystems are subjected to moderate N deposition rates that slowly decrease with time, while sulfur and acid deposition strongly decreased in the last 2 decades.*
- ☞ *The forest as well as the wet grassland exhibit some nitrate leaching linked to fast preferential flow of precipitation or snowmelt water into streams.*
- ☞ *Leaching of DON is in the same order of magnitude than nitrate leaching.*
- ☞ *No net nitrification is measured, but reducing conditions in the gleyic soils lead to significant denitrification.*
- ☞ *Addition of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (as a simulation of increased N inputs) immediately and durably increased nitrate leaching from the forest soil.*
- ☞ *Most of the added N is retained in the soil and the C/N ratio of the Lf horizon decreases accordingly.*
- ☞ *Trees take up only a small part of N entering the soil, but their uptake is important to prevent more nitrate leaching.*
- ☞ *Under present N deposition rates, the soil of the Alptal forest will probably continue to accumulate N for many decades without prejudice for the trees and with few risks for water quality.*
- ☞ *Biodiversity may become affected with time (as observed for example for soil Collembola), but the predominance of perennial species makes the ecosystem quite resilient (as observed for the ground vegetation).*

### Publications

A publication list of this project is available at <https://www.schleppi.ch/patrick/publi/?proj=Alptal>. Abstracts, DOI links and many PDFs are available there.

## G-11: Entwässerte, landwirtschaftlich genutzte Torfböden beurteilen und nach Bedarf aufwerten

Urs Zihlmann<sup>1</sup>, Peter Weisskopf<sup>1</sup>, Moritz Müller<sup>2</sup>, Martin Freund<sup>3</sup>, Martin Hirschi<sup>3</sup>, Andreas Chervet<sup>4</sup>, Lorenz Ramseier<sup>4</sup>, Wolfgang Sturny<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich

<sup>2</sup>Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Länggasse 85, CH-3052 Zollikofen

<sup>3</sup>Inforama Seeland, Bildungs-, Beratungs- und Tagungszentrum, Herrenhalde 80, CH-3232 Ins

<sup>4</sup>Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern LANAT, Fachstelle Bodenschutz, Rütli 5, CH-3052 Zollikofen

### Zusammenfassung

Torfböden sind aufgrund ihrer Entstehung sehr unterschiedlich aus organischen und mineralischen Schichten zusammengesetzt. In der Schweiz wurden solche Böden entwässert und für die Landwirtschaft nutzbar gemacht. In der Schweiz ist das Grosse Moos zwischen Bieler-, Neuenburger- und Murtensee das grösste ehemalige Moorgebiet, das heute intensiv genutzt wird (v.a. für Gemüseanbau) (Abb1).

Durch Entwässerung und Nutzung sackten und sacken die Torfböden in sich zusammen. Das organische Material wird zu CO<sub>2</sub> abgebaut und entweicht in die Luft. Jährlich verlieren diese Böden heute etwa 0.5 cm an Niveau, wodurch der Flurabstand verringert und die landwirtschaftliche Nutzung durch Wiedervernässung beeinträchtigt wird.



**Abb. 1:** Dieser entwässerte und mit Karotten bepflanzte Torfboden weist drei deutlich abgegrenzte Horizonte auf: Die obersten 30 cm bestehen aus etwa 40 % Humus, gefolgt von einer 30 cm mächtigen Lehmschicht mit ca. 80 % Ton und Schluff sowie einer mächtigen Sandschicht mit ca. 95 % Sand. Der anmoorige Bearbeitungshorizont verliert an Mächtigkeit. Die Lehmschicht im Untergrund ist kaum wasserdurchlässig und trägt zur Stauwasserbildung bei.

Ein 90 cm tiefes Durchmischen dieser drei Schichten wäre eine nachhaltige und sinnvolle Lösung zur Aufwertung auf Fruchtfolgefleichen-Qualität. Humusgehalt und Körnung wären ausgewogen, Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt entsprächen den Bedürfnissen der Pflanzen.

Um den Torfschwund zu bremsen, wurden verschiedene Aufwertungsmassnahmen punktuell umgesetzt. Eine Erfolgskontrolle von drei unterschiedlich aufgewerteten Torfböden im Grossen Moos zeigt, dass für eine dauernde landwirtschaftliche Nutzung die verschiedenen möglichen Massnahmen – Tiefpflügen oder Durchmischen, Übersanden oder Überschütten, Planieren, Drainieren – als Einzelmassnahme oder kombiniert standortangepasst durchzuführen sind. Neben baulichen Bodenaufwertungen ist jedoch auch ein Umdenken bezüglich der Bewirtschaftungsintensität notwendig. Zur erfolgreichen Umsetzung von Aufwertungsmassnahmen braucht es eine sorgfältige Planung, eine fachgerechte Ausführung sowie eine standortangepasste Folgebewirtschaftung. Zuvor muss aber die zwingend notwendige Bodeninformation bezüglich Wasserhaushalt und Zusammensetzung der Torfböden erhoben werden.

## Das Grosse Moos

In der Ebene zwischen Bieler-, Neuenburger- und Murtensee liegt das Grosse Moos, das grösste Niedermoorgebiet der Schweiz (Dubler 2010) (Abb. 2). Nach dem Rückzug des Rhonegletschers am Ende der Würmeiszeit vor rund 12'000 Jahren schränkten Endmoränen in der Gegend von Wangen an der Aare den Wasserabfluss aus dem Dreiseengebiet ein. Dies führte zu einem Anstieg der Seespiegel und zu einer Versumpfung der Ebene (Lüdi 1935). Zudem änderte die in der Ebene mäandrierende Aare oft ihr Flussbett und floss zeitweise in den Neuenburgersee. Seespiegel sowie Verlauf von Aare und ihrer Nebenarme bestimmten den Transport und die schichtweise Ablagerung des mineralischen Materials sowie die einsetzende Torfbildung: Kalk- und sandreiche Seesedimente (in Seenähe auch Strandwälle aus Sand) wurden an vielen Stellen mit dem von der Aare angeschwemmten, meist lehmigen Material und mehr oder weniger mächtigen Torfschichten überlagert.

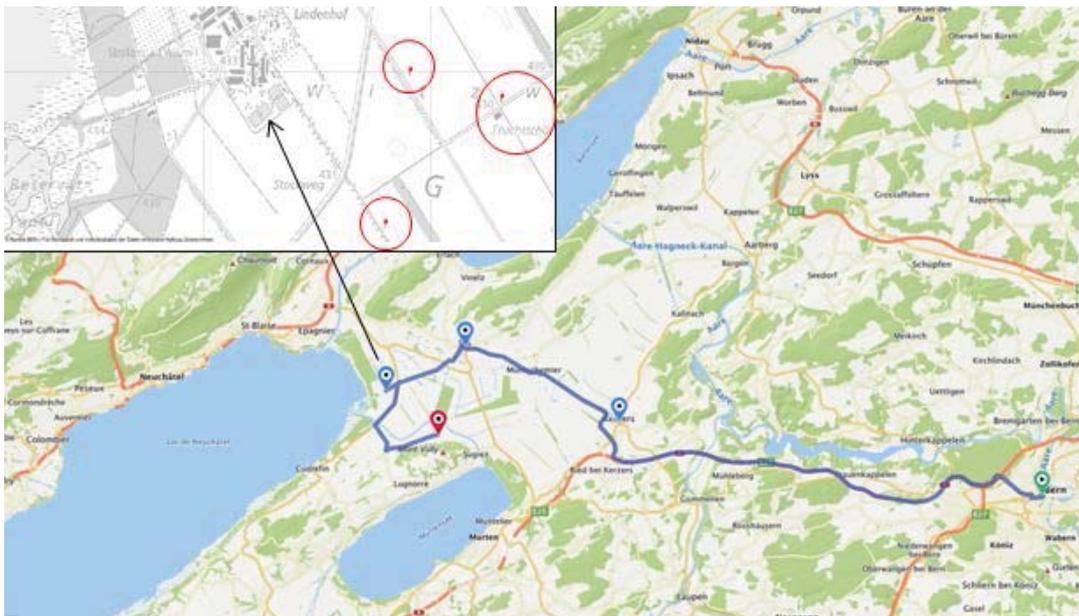


Abb. 2: Kartenausschnitt von Bern West mit den Exkursionszielen in Witzwil und auf dem Mont Vully.

### Ausgangslage

Mit der ersten Juragewässerkorrektur (1863-85) wurde das bis dahin kaum produktive Sumpfland im Grossen Moos entwässert (Abb. 2) und landwirtschaftlich nutzbar gemacht (Presler et al. 1989). Auf den drainierten Flächen entstand der bedeutendste «Gemüsegarten» der Schweiz. Jedoch führte die Entwässerung auch dazu, dass die ursprünglich sehr locker gelagerten, im Wasser liegenden Torfschichten ihre Stütze verloren

und in sich zusammensackten (= Torfsetzung). Gleichzeitig drang Luft in die entwässerten Poren ein und Abbauprozesse begannen, den Torf zu zersetzen und CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abzugeben (= Torfschwund). Die zurückbleibenden mineralischen Beimengungen im Torf erhöhten das Gewicht des Oberbodens, so dass tieferliegende Torfschichten zusammengedrückt wurden und sich die Bodenoberfläche weiter absenkte. Häu-

fige Lockerung durch Bodenbearbeitung intensiviert sowohl die Sauerstoffzufuhr und damit den Abbau des organischen Materials als auch Quellungs- und Schrumpfungsprozesse. Setzung, Torfschwund und Schrumpfung lassen sich unter dem Begriff Torfsackung zusammenfassen. Im Grossen Moos summierten sie sich zu deutlichen Boden- und Niveauverlusten (Abb. 3). Der Flurabstand zum Grundwasser wurde jährlich um bis zu 1.5 cm geringer, der Wasserabfluss zusehends schlechter. Das machte eine zweite Juragewässerkorrektion notwendig.

Diese von 1963-73 vorgenommene Korrektur der Erstentwässerung löste wiederum denselben Zyklus aus: Entwässerung, Setzung, Torfschwund und Schrumpfung. Mit der Zweitentwässerung wurde dieser Zyklus sogar beschleunigt (Kuntze 1983, Göttlich 1990). Obwohl das Gebiet seit den 1970er Jahren zusätzlich mit Pumpwer-

ken entwässert werden kann, behindert der Boden- und Niveauverlust – vor allem nach Starkniederschlägen in Senken – heute erneut Infiltration und Wasserabfluss (Kasten 1)



Abb. 3: Baumstämme auf entwässerter Moorfläche (nicht datierte Aufnahme, Archiv der Anstalten Witzwil).

#### **Kasten 1: Torfsackungsprozesse bedingen neue Bodeninformation**

Insbesondere auf tief- und flachtorfigen Böden können die anfangs der 1970er Jahre erstellten Bodenkarten von Frei et al. (1972) wegen der Torfsackungsprozesse weder die heutige landwirtschaftliche Nutzungseignung noch die aktuelle Bodenfruchtbarkeit beschreiben. Die damals verwendete pedologische Methodik beschrieb nur den obersten Meter des Bodens, womit auf den tieftorfigen Flächen der mineralische Untergrund nicht erfasst wurde. Bei einem Untergrund aus Lehm ist jedoch eine für die Landwirtschaft geeignete sekundäre Bodenbildung schwierig, bei Seekreide fast unmöglich. In Gebieten mit sandigem Untergrund ist diese Gefahr geringer, sofern die Entwässerung kein Problem bereitet (VOL 2009).

Hinzu kommt, dass Bodenverdichtungen, verursacht durch die zunehmend hohen Gewichte der Landmaschinen, den Setzungsprozess vor allem in tieftorfigen Bodeneinheiten verstärken und zusätzlich die Wasserversickerung hemmen. Die Erhöhung der Pumpleistung würde diese Situation nicht entspannen, da der Wasserfluss durch zunehmende Niveauunterschiede im Gelände gestört wird; das Drainagesystem zeigt nach einer 50-jährigen Betriebszeit viele Schwächen und sollte an einigen Stellen erneuert werden (Abb. 4).

Auf dem Areal der Anstalten Witzwil wurde auf (ehemals) tieftorfigen Flächen ein maximaler Boden- und Niveauverlust von 2.3 m festgestellt (Jampen und Möri 2006, zit. in VOL 2009). Dies entspricht an einigen Stellen beinahe der bei der ersten Juragewässerkorrektur vorgenommenen Seespiegelabsenkung von 2.5 m. Heute unterliegen die entwässerten Torfböden in Witzwil einer



Abb. 4: Früher dienten getrocknete Briketts von Torfstichen als Heizmaterial. Im Grossen Moos trugen solche Torfstiche zu Niveauverlust und Heterogenität der ursprünglich tief-torfigen Flächen bei (nicht datierte Aufnahme, Archiv der Anstalten Witzwil).

jährlichen Sackungsrate von rund 0.5 cm (Fenner 2007).

Durch diesen fortschreitenden Boden- und Niveauverlust ist die Bodenfruchtbarkeit massiv beeinträchtigt und die Fruchtfolgeflächen (FFF)-Qualität gefährdet (Kasten 2). Die Niveauunter-

schiede zwischen den stabilen Strassen und den gesackten Ackerflächen führen zu steilen Feld-ein- und -ausfahrten.

**Kasten 2: Sachplan Fruchtfolgeflächen (ARE 2006): Qualitäts- und Zusatzkriterien für Sonderfälle und Neuausscheidungen von Fruchtfolgeflächen**

1. Qualitätskriterium	Klimazone	A / B / C / D1-4
2. Qualitätskriterium	Hangneigung	≤18%
3. Qualitätskriterium	Pflanzennutzbare Gründigkeit	≥50 cm
4. Zusatzkriterium	Effektive Lagerungsdichte	≤ Richtwert gemäss Vorschlag BGS
5. Zusatzkriterium	Schadstoffe gemäss VBBö	≤ Richtwert
6. Zusatzkriterium	Zusammenhängende Fläche	≥1 ha und geeignete Parzellenform

Mit der Entwässerung verändert sich auch der Stickstoffhaushalt der Torfböden (Presler et al. 1989). Es werden grosse Mengen von organisch gebundenem Stickstoff mineralisiert und als Nitrat ins Kanal- und Grundwasser verfrachtet oder – wie das CO<sub>2</sub> – als klimawirksames Gas in Form von Lachgas (N<sub>2</sub>O) in die Atmosphäre freigesetzt.

**Kulturlandaufwertung**

Der durch die Torfsackung stark ansteigende Leidensdruck der Landwirte führte zum Verlangen nach Kulturlandaufwertungen (Abb. 5, 6 und Kasten 3). Damit Terrainveränderungsprojekte zur Boden- und Kulturlandaufwertung auch ökologisch beurteilt werden können, muss auf Grundlage der notwendigen Bodeninformation ein Konzeptplan mit entsprechendem Bodenschutzkonzept erarbeitet werden.



Abb. 5: Heterogenität der Böden im Grossen Moos aus der Vogelperspektive (Blick vom Mont Vully nach Norden): hell gefärbt sind Kuppenlagen nach Torfschwund, dunkel gefärbt torfhaltige Flächen und Senken. Diese an der Oberfläche deutlich sichtbare Kleinräumigkeit besteht auch in der Tiefe und erschwert Planung und Ausführung von Kulturlandaufwertungen (Bildaufnahme von Peter Trachsel am 21. April 2007)

**Kasten 3: Projekte zur Kulturlandaufwertung**

Gemäss geltender *Agrarpolitik* und *Strategie Strukturverbesserungen 2020* fördern Bund und Kanton Projekte zur Kulturlandaufwertung, sofern die Vorhaben ökonomisch und ökologisch sinnvoll sind und es sich um Aufwertungsprojekte von anthropogen beeinträchtigten Böden im Fruchtfolgeflächen-Inventar handelt. Im Merkblatt *Kriterien für die finanzielle Unterstützung von Massnahmen zur Boden- bzw. Kulturlandaufwertung in der Landwirtschaftszone* sind die Eckpfeiler zur Beurteilung von Beitragsgesuchen aus dem Kanton Bern zusammengefasst. Das Merkblatt der *Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion* des LANAT kann unter <https://www.vol.be.ch/vol/de/index/landwirtschaft/landwirtschaft/tiefbau/kulturlandverbesserung.html> heruntergeladen werden.

**Erfahrungen mit Kulturlandaufwertungen**

In der Vergangenheit kam es zu verschiedenen Versuchen, organische Schichten vor einer Torfsackung zu schützen (Tab. 1, zitiert in Presler et al. 1989). Die Wirkung dieser Massnahmen ist jedoch nie umfassend beurteilt worden. 2014

wurde im Rahmen einer Masterarbeit eine entsprechende Erfolgskontrolle bei drei unterschiedlich aufgewerteten Torfböden vorgenommen (König 2015):

- ein übersandeter Torfboden in der Gemeinde Gampelen,

- ein tiefgepflügter Torfboden auf dem Areal der Anstalten Witzwil,
- ein mit lehmigem Aushubmaterial überschütteter Torfboden in der Gemeinde Ins.

Die aufgewerteten Flächen wurden jeweils mit benachbarten, ursprünglichen Torfboden-Referenzen verglichen. Mit je drei Profilaufnahmen und Bodenanalysen einer horizontbezogenen Beprobung wurden die aufgewerteten mit den Referenzböden verglichen. Die Ergebnisse der Bodenanalysen wurden jeweils über die drei Profile gemittelt.

Tab. 1: Kulturlandaufwertungsmassnahmen bei entwässerten Torfböden (aus Presler et al. 1989).

Massnahme	Beschreibung	Ziel
Tiefpflügen	Umwenden der horizontalen Bodenschicht (mind. 0.6 m tief) und Planieren. Anteil organische Substanz in der neuen Bearbeitungsschicht maximal 15 gewichts% (Volumen mineralisch:organisch 1:1)	Konservieren der organischen Substanz durch obere Schicht mit geringem Anteil an organischem Material -> Schutz vor Austrocknung und Luftkontakt. Drainagewirkung durch schrägstehende mineralische Schichten.
Übersanden/Sanddeckkultur	Auftrag von Sand aus dem Untergrund (oder ortsfremd). Keine Vermischung mit den darunterliegenden Schichten, um effektive Schutzschicht zu erzeugen.	Austrocknung der obersten organischen Schicht verhindern und diese konservieren. Sackungsprozesse verzögern, Trittfestigkeit und Befahrbarkeit verbessern und Unkrautdruck vermindern.
Überschütten	Aufbringen und Einmischen von mineralischem Bodenmaterial (meist von Baustellen).	Niveau-Erhöhung. Besseres Substrat im Bearbeitungshorizont.

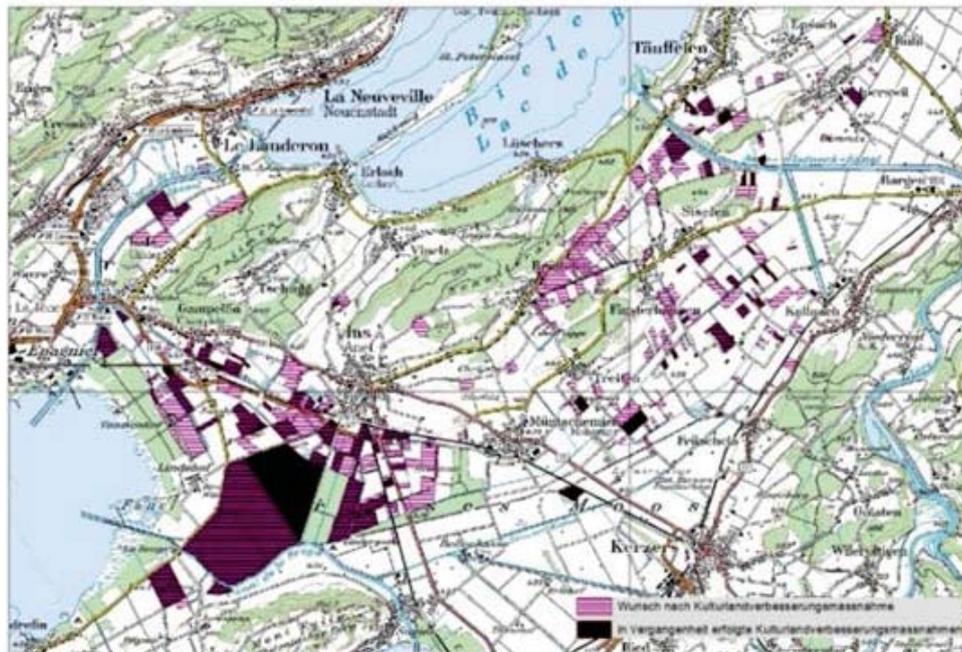


Abb. 6: Die von Landwirten im Grossen Moos eingegangenen Hinweise zu durchgeführten sowie gewünschten Kulturlandaufwertungsmassnahmen.

Wichtige Grössen bei der Bodenbeurteilung waren Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden ( $C_{org}$ ), Lagerungsdichte, Zusammensetzung der mineralischen Feinerde, pH-Wert, Kationentauschkapazität, Stickstofftotalgehalt ( $N_{tot}$ ) sowie Gehalt an weiteren Nährstoffen (Mg, K, P). Zusätzlich wurden die Bewirtschafter über Anlass, Ausführung inkl. Folgebewirtschaftung und Ergebnis der Aufwertungsmassnahmen befragt.

### **Übersanden**

Das 1971 realisierte Übersanden wurde mit Material einer nahegelegenen, 6 m hohen Sanddüne ausgeführt. Am Abtragsort kam es dadurch zu einer Geländeneivellierung. Am Auftragsort wurde der Torfboden mit einer ca. 35 cm mächtigen Sandschicht bedeckt. Der Sand wurde mit Schürfkübelraupen verteilt und grob planiert. Auf eine Durchmischung mit den darunterliegenden organischen Schichten wurde verzichtet. Ziel war es, den Torfboden zu konservieren, die Sackungsprozesse zu verzögern, die Befahrbarkeit zu verbessern und den Unkrautdruck zu vermindern.

Bis drei Jahre nach dem Übersanden war die fehlende Tragfähigkeit der aufgetragenen Sandschicht ein grosses Problem. Nicht zuletzt wegen der Zufuhr von Stallmist verbesserten sich Bodenstruktur und Tragfähigkeit jedoch relativ rasch. Grundsätzlich ist der Bewirtschafter mit dem Übersanden zufrieden. Da der Sand nicht für die ganze Parzelle reichte, ist der übersandete Teil bezüglich Pflanzenschutz und Bewässerung anders zu bewirtschaften als die verbliebene Torfboden-Referenz. Ersterer trocknet rasch ab und kann nach Niederschlägen schnell wieder bearbeitet und befahren werden, muss aber in Trockenperioden intensiver bewässert werden als der Torfboden.

An Bodenprofilen sind die ausgeführten Massnahmen noch heute gut erkennbar (Abb. 7 und Kasten 4). Die Torfboden-Referenz weist einen locker gelagerten Bearbeitungshorizont von 30 cm auf (Abb. 7A). Unterhalb der Sandschicht befindet sich der 20 cm mächtige, durch Raupenfahrzeuge und/oder vom Gewicht des aufgetragenen Sandes verdichtete, ehemalige Bearbeitungshorizont (Abb. 7B). Mit 85 cm tief reichenden Grubberzinken wurde versucht, die Verdichtung zu lockern.

### **Tiefpflügen**

Diese Parzelle war vor dem Tiefpflügen wegen einer mächtigen, schlecht durchlässigen Lehmschicht unterhalb des anmoorigen Oberbodens als Ackerland kaum mehr nutzbar (Abb. 8A). Die ungenügende Wasserinfiltration führte zu häufiger Staunässe und in der Folge zu schlechtem Pflanzenwachstum und Schäden an erntereifen Kulturen. Zudem schränkte die schlechte Tragfähigkeit die Bestell-, Pflege- und Erntearbeiten oft stark ein oder verunmöglichte sie ganz.

1982 wurde ein Teil der beprobten Parzelle 90 cm tiefgepflügt (Abb. 8 und Kasten 4). Dabei wurden die ursprünglich horizontal gelagerten Bodenschichten (Abb. 8A) mit einem eigens aus Nordrhein-Westfalen eingeführten Spezialpflug um ca. 120° überkippt. Weil im neu gemischten Bearbeitungshorizont (0-25 cm) ein Humusgehalt von 10-15% angestrebt wurde (Presler et al. 1989), musste die Pflugtiefe (max. 220 cm) laufend an die unterschiedliche Mächtigkeit der zu mischenden mineralischen und organischen Schichten angepasst werden (Abb. 9). Sehr tieftorfige Flächen, die kaum mineralisches Material enthielten, wurden nicht tiefgepflügt.

Die lehmige Schicht wurde bis knapp zur Drainage aufgebrochen (Abb. 8B), so dass sich bei Starkniederschlägen in Senken erneut Wasser sammelte und mehr oder weniger lang stehen blieb. Hingegen führte das Vermischen der an die Oberfläche gepflügten Materialien zu einem humusreichen, lehmig-schluffigen Bodensubstrat. Dieser neu geschaffene «Oberboden» eignet sich sehr gut für Futterbau und mässig gut für Ackerbau. Ob die FFF-Qualität auch in den wassersammelnden Senken gewährleistet ist, müsste noch abgeklärt werden (Abb. 2).

Tiefpflügen führt nur zu einer verbesserten Wasserinfiltration, wenn die Lehmschicht bis zum darunterliegenden sandigen Material oder bis zur Drainage aufgebrochen und gewendet wird.

### **Überschütten**

Eine weitere Massnahme zur Aufwertung von entwässerten Torfböden ist das Überschütten. Um den Flurabstand zu vergrössern, wurde die untersuchte Parzelle mit lehmigem Material überschüttet. Diese Fläche war nicht drainiert und liegt an einer der tiefsten Stellen im Seeland. Da hier

**Tiefforfiges Halbmoor**  
 Profiltiefe 130 cm; Bohrtiefe: 210 cm

**Übersandetes tiefforfiges Halbmoor**  
 Profiltiefe 120 cm; Bohrtiefe: 190 cm

A) Torfboden-Referenz



Tiefforfiger Boden; geschätzter Niveauverlust inkl. Restbackung aufgrund eines im obersten Horizont 5,8 mal höheren Humusgehalts bei A) und einer 1,8 mal höheren Lagerungsdichte bei B).

7.0	pH	7.8
26.5	H (%)	4.6
0.73	LD (g/cm <sup>3</sup> )	1.3
76, 7, 17	S, O, T (%)	84, 9, 8
6.8	pH	7.1
59.5	H (%)	33.4
0.32	LD (g/cm <sup>3</sup> )	
	pH	6.8
	H (%)	72.4
	pH	6.9
	H (%)	38.7
	LD (g/cm <sup>3</sup> )	0.28
7.1	pH	6.6
0.5	H (%)	78.8

- 0-30 cm:** Aa,p – humusreicher Bearbeitungshorizont; Krümel- und Subpolyedergefüge; 55 % Ton, 23 % Schluff, 22 % Sand – 27 % Humus – pH 6.9
- 30-55 cm:** Th – stark zersetzter Torfhorizont; 18 % Ton, 73 % Schluff, 9 % Sand – 70 % Humus – pH 6.8
- 55-70 cm:** Tm(g) – mässig zersetzter Torfhorizont mit Holzzeinschlüssen (Eiche?); 30 % Ton, 63 % Schluff, 7 % Sand – 67 % Humus – pH 6.6
- 70-85 cm:** CgTf – mässig zersetzter Torfhorizont mit schluffreichen Beimengungen, Holzzeinschlüsse (Eiche?); 37 % Ton, 43 % Schluff, 20 % Sand – 69 % Humus – pH 6.8
- 85-100 cm:** (Cg)Tf – mässig bis kaum zersetzter Torfhorizont mit wenig schluffreichen Beimengungen und Holzzeinschlüssen (Eiche); 16 % Ton, 36 % Schluff, 48 % Sand – 48 % Humus – pH 6.8
- 100-120 cm:** Tf – kaum zersetzter Torfhorizont; 12 % Ton, 37 % Schluff, 51 % Sand – 45 % Humus – pH 7.0
- 120-130 cm:** CggTf – kaum zersetzter Torfhorizont mit schluffreichen Beimengungen; Körnung nicht beprobt

**Grundwasser-Stand am 09.10.2014: 120 cm**

unterhalb 130 cm: Cgg – feinsandige bis schluffreiche

B) Kulturlandaufwertung Übersandung



- 0-35 cm:** yAtp – humusarmer bis schwach humoser Bearbeitungshorizont (= Sanddeckschicht); Einzelkom- und z.T. Krümelgefüge; 8 % Ton, 9 % Schluff, 84 % Sand – 4.6 % Humus – pH 7.8
- 35-40 cm:** yAc – humusarme Sanddeckschicht; Einzelkomgefüge; 3 % Ton, 4 % Schluff, 93 % Sand – 3.6 % Humus – pH 8.5
- 40-55 cm:** Aa,p,b,x – verdichteter, humusreicher, begrabener (= ehemaliger Bearbeitungshorizont; Polyedergefüge; 61 % Ton, 31 % Schluff, 8 % Sand – 33.4 % Humus – pH 7.1
- 55-80 cm:** Tm(x) – stark bis mässig zersetzter, dichter Torfhorizont (senkrechte, intensiv durchwurzelte Hohlräume durch Trielenlockerung, Abstand ca. 50 cm); 43 % Ton, 48 % Schluff, 9 % Sand – 72.4 % Humus – pH 6.8
- 80-95 cm:** Tm(g,x) – mässig bis stark zersetzter, ziemlich dichter Torfhorizont (senkrechte, intensiv durchwurzelte Hohlräume durch Trielenlockerung, Abstand ca. 50 cm); 44 % Ton, 36 % Schluff, 20 % Sand – 38.7 % Humus – pH 6.9
- 95-140 cm:** Tm(g) – stark bis mässig zersetzter Torfhorizont; 29 % Ton, 41 % Schluff, 30 % Sand – 78.8 % Humus – pH 6.6

**Grundwasser-Stand am 09.10.2014: 120 cm**

unterhalb 140 cm: Cg – fein- und mittelsandige Schichten; Körnung nicht beprobt

Abb. 7: Bodenprofilbeispiele von A) Torfboden-Referenz und B) Kulturlandaufwertung Übersandung. Dargestellt sind der für die Zeitperiode 1971 bis 2014 geschätzte Niveauverlust inkl. Restsackungspotential (Kasten 4) sowie horizontspezifische Bodenkenwerte (Bilder D. König).

**anmooriger Fluvisol**  
 Profiltiefe 125 cm; Bohrtiefe: 200 cm

**tiefgeflügter, ursprünglich anmooriger Fluvisol**  
 Profiltiefe 125 cm; Bohrtiefe: 200 cm

**A) Torfboden-Referenz**



- 0-25 cm: A<sub>1</sub>p – humusreicher Bearbeitungshorizont; Krümel- und Subpolyedergelüge; 23 % Ton, 68 % Schluff, 9 % Sand – 42 % Humus – pH 6.5
- 25-40 cm: [A<sub>h</sub>](B)<sub>1</sub>C<sub>g</sub>x – verdichteter, z.T. humushaltiger Horizont, Polyedergelüge; 24 % Ton, 66 % Schluff, 10 % Sand – 3.6 % Humus – pH 7.5
- 40-70 cm: (B)<sub>2</sub>C<sub>g</sub> – schluffreicher Horizont mit feinen Tonzweischichten; Kohärent- und Polyedergelüge; 14 % Ton, 71 % Schluff, 15 % Sand – 3.3 % Humus – pH 8.2
- 70-110 cm: C<sub>g</sub> – fein- und mittelsandige und schluffige Schichten mit feinen Tonzweischichten; 3 % Ton, 21 % Schluff, 76 % Sand – 4.4 % Humus – pH 8.5
- unterhalb 110 cm: C<sub>g</sub>(g) – fein- und mittelsandige und schluffige Schichten mit feinen Tonzweischichten; 3 % Ton, 19 % Schluff, 78 % Sand – 2.0 % Humus – pH 8.5

Grundwasser-Stand am 13.10.2014: 135 cm

**B) Kulturlandaufwertung Tiefpflügen**



Anmooriger Boden: geschätzter Niveaupercentage inkl. Restsackung aufgrund eines im obersten Horizont 8.4 mal höheren Humusgehalts bei A) und einer 1.8 mal höheren Lagerungsdichte bei B).

6.5	pH	7.6
42.1	H (%)	5.0
0.7	LD (g/cm <sup>3</sup> )	
9, 68, 23	S, U, T (%)	19, 61, 20
7.5	pH	7.8
3.6	H (%)	11.2
1.3	LD (g/cm <sup>3</sup> )	1.2
8.2	pH	7.2
3.3	H (%)	41.5
1.4	LD (g/cm <sup>3</sup> )	0.5
	tonreich:	7.9
	pH	5.2
	H (%)	5.2
	schluffreich:	8.1
	pH	7.6
	LD (g/cm <sup>3</sup> )	1.3
8.5	pH	9.0
4.3	H (%)	6.2

- 0-10 cm: A<sub>1</sub>p1 – humoser Bearbeitungshorizont (Milchsaatsystem); Krümel- und Subpolyedergelüge; 19 % Ton, 61 % Schluff, 20 % Sand – 4.9 % Humus – pH 7.6
- 10-25 cm: A<sub>1</sub>p2 – humoser Bearbeitungshorizont, mit Subpolyedergelüge; 20 % Ton, 63 % Schluff, 17 % Sand – 11.2 % Humus – pH 7.8
- 25-30 cm: A<sub>1</sub>(B)<sub>1</sub>(p) – humushaltiger Übergangshorizont mit Polyedergelüge; 1 % Ton, 70 % Schluff, 29 % Sand – 11 % Humus – pH 7.6
- 30-90 cm: A<sub>2</sub>/A<sub>1</sub>(B)<sub>1</sub>C<sub>g</sub>/g(B)<sub>1</sub>C<sub>g</sub> – Komplexhorizont infolge Tiefpflügens aus:
  - ca. 36% humusreichen Bereichen mit Subpolyedergelüge; 26 % Ton, 44 % Schluff, 30 % Sand – 41.5 % Humus – pH 7.2
  - ca. 8% tonreichen, dichten Bereichen mit Polyedergelüge; 23 % Ton, 63 % Schluff, 14 % Sand – 5.2 % Humus – pH 7.9
  - ca. 56% schluffreichen Bereichen mit Kohärent- und Polyedergelüge; 6 % Ton, 61 % Schluff, 33 % Sand – 7.7 % Humus – pH 8.1
- 90-120 cm: C<sub>g</sub>(g)1 – fein- und mittelsandige Schichten; 4 % Ton, 5 % Schluff, 91 % Sand – 6.1 % Humus – pH 9.0
- Grundwasser-Stand am 13.10.2014: 135 cm
- unterhalb 120 cm: C<sub>g</sub>(g)2 – fein- und mittelsandige und schluffige Schichten; 6 % Ton, 39 % Schluff, 55 % Sand – 7.9 % Humus – pH 8.3

Abb. 8: Bodenprofilbeispiele von A) Torfboden-Referenz und B) Kulturlandaufwertung Tiefpflügen. Dargestellt sind der für die Zeitperiode 1982 bis 2014 geschätzte Niveaupercentage inkl. zukünftige Restsackung (Kasten 4) sowie horizontspezifische Bodenparameter (Bilder D. König).



Abb. 9: Tiefpflug: Der Fahrer im hintersten Raupenfahrzeug reguliert während dem Einsatz die Arbeitstiefe des Pflugs (Mischverhältnis: ein Volumenteil organischer Torf und ein Volumenteil mineralischer Untergrund) (Bildaufnahme von Hans Paul Käser).



Abb. 10: Vogelblick vom Mont Vully nach Nordosten: ein lehmiger Untergrund bzw. hydrophobe Torfschichten behindern die Wassereinsickerung. Nach Starkniederschlägen führt dies in Senken zu Staunässe (Bildaufnahme von Peter Trachsel am 7. Mai 2015).

der Haupt- in den Broyé-Kanal mündet, ist sie daher besonders von Hochwasser betroffen (Abb. 10).

#### Kasten 4: Lesebeispiel zu Abbildungen 7, 8 und 11

Beträgt die jährliche Sackungsrate auf den Torfboden-Referenzen (jeweils linkes Bild = A) rund 0.5 cm (Fenner et al. 2007), ergibt sich in der Zeitperiode 1982 bis 2014 (= Beispiel *Tiefpflügen*) ein Niveauverlust von rund 16 cm. Die geschätzten Bodenverluste der Kulturlandaufwertungen (jeweils rechtes Bild = B) während derselben Zeitperiode sind allesamt geringer. Ihre Quantifizierung ist jedoch schwierig: einerseits reduziert sich durch die entsprechende Aufwertungsmaßnahme der Kontakt zwischen Torf und Sauerstoff, was die Abbauprozesse reduziert; andererseits erhöht sich das Eigengewicht der oberflächennahen Bodenschichten, was die Last auf die tiefer gelegenen torfigen Horizonte erhöht und vorübergehend zu höherer Setzung führt.

pH = Säuregrad nach H<sub>2</sub>O-Methode: 3.9-5.2 = stark sauer, 5.3-5.8 = sauer, 5.9-6.7 = schwach sauer, 6.8-7.2 = neutral, 7.3-7.6 = schwach alkalisch, 7.7-8.2 = alkalisch, >8.2 stark alkalisch;

H = Humus oder organische Substanz: 2-5 Gew.% = schwach humos, 5-10 Gew.% = humos, 10-20 Gew.% = humusreich, 20-30 Gew.% = sehr humusreich, >30 Gew.% = organisch;

LD = Lagerungsdichte: 0.8-1.2 g/cm<sup>3</sup> = sehr porös, 1.2-1.4 g/cm<sup>3</sup> = leicht verdichtet, 1.4-1.6 g/cm<sup>3</sup> = ziemlich stark verdichtet;

S = Sand, U = Schluff, T = Ton;

Zusammensetzung der Feinerde: IS = lehmiger Sand (0-50% Schluff, 5-10% Ton), L = Lehm (0-50 % Schluff, 20-30 % Ton), tL = toniger Lehm (0-50 % Schluff, 30-40 % Ton), IU = lehmiger Schluff (50-90 % Schluff, 10-30 % Ton), tU = toniger Schluff (50-70 % Schluff, 30-50 % Ton).

Die untersuchte Parzelle wurde in zwei Etappen 1994 und 2000 mit abgetragenem Boden sowie unverwittertem, meist lehmigem und tonigem Material von Baustellen überschüttet (Abb. 11). Dieses wurde verteilt und mit dem vorhandenen Oberboden vermischt, so dass ein rund 70 cm mächtiger «Komplexhorizont» entstand. Nachbessernd wurden 2008 entstandene Senken aufgefüllt.

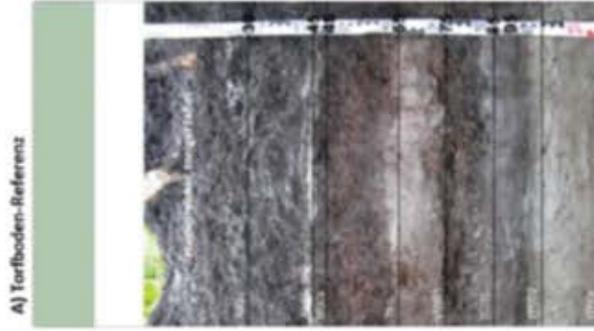
Der eingemischte anmoorige Oberboden sowie grosse Mengen Stallmist und Kompost ermöglichen auf der überschütteten Parzelle schon nach wenigen Jahren wieder eine normale landwirtschaftliche Nutzung. Abb. 10 zeigt die Profile der Torfboden-Referenz (Abb. 11A) und der Überschüttung (Abb. 11B und Kasten 4). Der

Flurabstand ist jedoch immer noch (zu) tief. Größere Hochwasserereignisse können nach wie vor zu Bewirtschaftungerschwernissen führen. Darüber hinaus sind die ehemals als Lehme eingestuftten Böden durch das Überschütten tonreicher geworden und damit schwieriger zu bearbeiten. Demgegenüber wird mit pflugloser Bewirtschaftung und reichlich organischem Dünger die Strukturbildung gefördert.

#### Wirkungsbeurteilung der Kulturlandaufwertungen (Zusammenfassung von König 2015)

Massnahmen zur Aufwertung von organischen Böden haben zum Ziel, die Torfsackung und den Abbau der organischen Substanz zu bremsen und damit den Flurabstand durch Tiefpflügen zu

**anmooriger Buntgley**  
 Profiltiefe 125 cm; Bohrtiefe: 220 cm



- A) Torfboden-Referenz**
- 0-30 cm: Aa(p) – humusreicher Bearbeitungshorizont; Körnel- und Subpolyedergelüge; 26 % Ton, 26 % Schluff, 48 % Sand – 16 % Humus – pH 7.1
  - 30-45 cm: Aa(i) – ziemlich verdichteter, humusreicher Horizont; Polyedergelüge; 19 % Ton, 28 % Schluff, 53 % Sand – 34 % Humus – pH 7.0
  - 45-48 cm: B(C)x – stark verdichteter Horizont; Kohärenzgelüge; Körnung nicht beprobt
  - 48-65 cm: T1 – mäßig zersetzer Torfhorizont; 1 % Ton, 83 % Schluff, 16 % Sand – 90 % Humus – pH 5.4
  - 65-75 cm: T(T)C1 – tonig-schluffiger Horizont mit Beimengungen von mäßig zersetztem Torf; 60 % Ton, 31 % Schluff, 9 % Sand – 25 % Humus – pH 4.9
  - 75-85 cm: C(T)1 – mäßig zersetzer Torfhorizont mit tonig-schluffigen Beimengungen; Körnung nicht beprobt
  - 85-95 cm: T(T)C2 – tonig-schluffiger Horizont mit Beimengungen von mäßig zersetztem Torf; Körnung nicht beprobt
  - 95-120 cm: T(T)Cr – tonig-schluffiger Horizont mit Beimengungen von mäßig zersetztem Torf; 20 % Ton, 57 % Schluff, 23 % Sand – 6.2 % umsetzH – pH 7.5

**überschütteter Buntgley mit Torfzweischicht**  
 Profiltiefe 120 cm; Bohrtiefe: 205 cm



- B) Kulturlandaufwertung Überschüttung**
- 0-23 cm: yA(Np)Y(C)x – Komplexer Bearbeitungshorizont aus humushaltigen und ton-schluffreichen, dichten Bereichen mit Polyedergelüge; Überschüttung aus mineralischem (v.a. C-Material) und organischem Material (v.a. Kompost); 36 % Ton, 42 % Schluff, 22 % Sand – 11 % Humus – pH 7.3
  - 23-60 cm: y(Aa)Y(B)C(Y)x – Komplethorizont aus humusreichen und ton-schluffreichen, dichten sowie sandig-lehmigen Bereichen mit Polyedergelüge, überschüttelees mineralisches (BC- und C-Material) und organisches Material (v.a. Kompost) vermischt mit dem humusreichen erstmals obersten Bodenhorizont;
  - Aa-Material: 54 % Ton, 40 % Schluff, 6 % Sand – 24 % Humus – pH 6.7
  - BC-Material: 65 % Ton, 26 % Schluff, 10 % Sand – 2.3 % Humus – pH 7.6
  - 60-64 cm: Cgg(T)1 – mäßig zersetzer Torfhorizont mit tonig-schluffigen Beimengungen; Körnung nicht beprobt
  - 64-67 cm: Cgg(x) – tonig-schluffiger dichter Horizont; Körnung nicht beprobt
  - 67-70 cm: Cgg(T)1 – mäßig zersetzer Torfhorizont mit tonig-schluffigen Beimengungen; Körnung nicht beprobt
  - 70-75 cm: Cgg(i) – tonig-schluffiger ziemlich dichter Horizont; Körnung nicht beprobt
  - 75-130 cm: Cgg – tonig-schluffiger Horizont; 24 % Ton, 70 % Schluff, 6 % Sand – 5.9 % Humus – pH 7.9
  - Grundwasser-Stand am 28.10.2014: 125 cm
  - 130-165 cm: T(T)1 – mäßig zersetzer Torfhorizont mit Holzrestschläusen; Körnung nicht beprobt

Abb. 11: Bodenprofilbeispiele von A) Torfboden-Referenz und B) Kulturlandaufwertung Überschüttung. Dargestellt sind der für die Zeitperiode 1994 bis 2014 geschätzte Niveauverlust inkl. zukünftige Restsackung (Kasten 4) sowie horizontspezifische Bodenkenwerte (Bilder D. König).

halten oder durch Übersanden bzw. Überschütten zu erhöhen. Darüber hinaus sind günstige physikalische und chemische Bodeneigenschaften anzustreben. Dies gewährleistet auf lange Sicht eine uneingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung (Abb. 12).

### **Bodenparameter**

Da organisches Material eine viel geringere Lagerungsdichte besitzt als mineralisches, wird im neu hergestellten Oberboden der Aufwertungsfläche eine annähernd doppelt so hohe Lagerungsdichte gemessen wie im entsprechenden Referenz-Torfboden (Tab. 2).



Abb. 12: Spatenproben von fünf entwässerten Torfböden mit derselben Entstehungsgeschichte aber unterschiedlicher Nutzung bzw. menschlicher Beeinflussung (von links nach rechts): kaum humifizierter Torf einer Windschutzhecke (ca. 95 % Humus); ackerbaulich genutzter Boden mit einem 30 cm mächtigen anmoorigen, stark humifizierten Bearbeitungshorizont (ca. 40 % Humus); tiefgepflügter, ackerbaulich genutzter Boden mit 33 cm humusreichem, neu hergestelltem Bearbeitungshorizont (12 % Humus, >33 cm 45 % Humus); übersandeter, ackerbaulich genutzter Boden (unvollständig abhumusiert, 23 cm übersandet, aufhumusiert) mit ca. 20 cm mächtigem, sehr humusreichem Bearbeitungshorizont (ca. 40 % Humus); nach unsachgemäßer Überschüttung mit skeletthaltigem Bodenaushub (verunreinigt mit Bauschutt) ackerbaulich genutzter Boden (unvollständig abhumusiert, 28 cm überschüttet, aufhumusiert) mit 15 cm mächtigem gemischtem Bearbeitungshorizont (ca. 40 % Humus) (Bildaufnahme von Rainer Schulin).

Mit  $\leq 1.3 \text{ g/cm}^3$  liegen die Werte in einem für die landwirtschaftliche Nutzung günstigen Bereich und sind mit den Lagerungsdichten mineralischer Böden vergleichbar. In den unteren organischen Horizonten der überschütteten Flächen nimmt die Lagerungsdichte geringfügig zu, weil das organische Material durch die erhöhte Auflast zusammengedrückt wird und sackt. Die geringen Lagerungsdichten in den am tiefsten und oft noch im Grundwasser liegenden organischen Schichten weisen darauf hin, dass hier noch Sackungspotential besteht.

Die Wasserleitfähigkeit in Torfböden ist witterungsabhängig: Bei Trockenheit entstehen schnell Schrumpfrisse, die zu einer hohen Wasserleitfähigkeit führen. Bei Regenwetter ist der Boden rasch gesättigt und leitet demzufolge das Wasser schlecht, was zu Staunässe führt. Da die Bodenproben am Ende einer Trockenperiode entnommen wurden, leiteten die organischen Horizonte und allgemein die Torfböden (Ausnahme: oberer Horizont der tiefgepflügten Fläche) das Wasser schneller ab als die mineralischen und diejenigen der Aufwertungsflächen (Tab. 2). Es ist anzunehmen, dass in einer Regenphase die

	Tiefe	Gampelen <sup>1</sup>			Witzwil <sup>2</sup>			Ins <sup>3</sup>					
		TR	ÜS	V (TR = 100 %)	TR	TP	V (TR = 100 %)	TR	ÜT	V (TR = 100 %)			
pH-Wert [H <sub>2</sub> O]	0-30 cm	6.9	7.6	10	↑	6.9	7.6	10	↑	7.1	7.6	7	↑
	30-50 cm	6.8	7.1	4	↑	7.5	h: 7.2 t: 8 s: 8.1			6.9	6.7	-3	↓
Humusgehalt [%]	0-30 cm	15.4	2.7	-82	↓	22.9	6.3	-72	↓	12.4	6.4	-48	↓
	30-50 cm	40.7	19.4	-52	↓	2.0	h: 24.1 t: 3 s: 3.3			19.7	13.7	-30	↓
Kalkgehalt [%]	0-30 cm	0.0	1.0		↑	0.0	1.2		↑	0.1	0.3	200	↑
	30-50 cm	0.0	0.0			1.7	h: 0.1 t: 0.5 s: 1.4			0.0	0.1		↑
Lagerungsdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	0-30 cm	0.7	1.3	86	↑	0.7	1.3	84	↑	0.8	1.2	45	↑
	30-50 cm	0.3	0.6	100	↑	1.3	h: 0.5 t: s: 1.3			0.8	0.9	15	↑
Gesättigte Wasserleitfähigkeit [pK <sub>sat</sub> ] [cm/d]	0-30 cm	351.8	38.0	-89	↓	137.1	622.7	354	↑	557.9	237.4	-57	↓
	30-50 cm	939.4	544.3	-42	↓	94.5	h: 198.1 t: s: 110.1			429.5	291.6	-32	↓
Sand %	0-30 cm	49.0 <sup>4</sup>	79.6 <sup>4</sup>	62	↑	20.4 <sup>4</sup>	26.3	29	↑	32.8	36.7	12	↑
Schluff %		15.0 <sup>4</sup>	9.5 <sup>4</sup>	-37	↓	51.2 <sup>4</sup>	58.2	14	↑	36.1	36.3	1	↑
Ton %		36.0 <sup>4</sup>	10.9 <sup>4</sup>	-70	↓	28.4 <sup>4</sup>	15.5	-45	↓	31.1	27.0	-13	↓
Sand %	30-50 cm	26.5 <sup>4</sup>	12.7 <sup>4</sup>	-52	↓	18.3 <sup>4</sup>	h: 30.6 t: 28.7 s: 38.7			32.0	12.7	-60	↓
Schluff %		63.5 <sup>4</sup>	36.0 <sup>4</sup>	-43	↓	61.5 <sup>4</sup>	h:			34.7	46.7	35	↑
Ton %		10.0 <sup>4</sup>	51.3 <sup>4</sup>	413	↑	20.3 <sup>4</sup>	h: 21.3 t: 16.7 s: 6.0			33.3	40.7	22	↑

<sup>1</sup> bei Profil a und c wurde ein dünner Zwischenhorizont (yAC) zwischen erstem und drittem Horizont nicht beachtet, bei Profil b sind die Werte im Unterboden der beiden Horizonte Aa.p.b.x und Thf(x) gemittelt

<sup>2</sup> bei Profil a, b und e wurden die zwei Horizonte Ahp1 und Ahp2 (von Profil a und b) bzw. Ahp1, Ahp2 und A(B)C(p) (von Profil c) für den Oberbodenwert gemittelt (Ausnahmen: LD und ksat), bei Profil d, e und f wurden zwei Horizonte [Ah]/(B)Cg.x (von Profil d und f) Aa.p/[(B)Cg.x] (von Profil e) und (B)Cg für den Unterbodenwert gemittelt

<sup>3</sup> bei Profil a und b wurde der dünne Zwischenhorizont yAh/yCx zwischen erstem und drittem Horizont nicht beachtet

<sup>4</sup> Mittelwerte von zwei Profilen

Tab. 2: Medianwerte verschiedener Bodenparameter aus jeweils drei Profillbeprobungen an den Standorten Gampelen, Ins und Witzwil aus Ober- (0-30 cm) bzw. Unterboden (30-50 cm) für die drei Kulturlandaufwertungen ÜS = Übersandung, ÜT = Überschüttung, TP = Tiefpflügen und ihren Torfboden-Referenzen = TR. ↓ = Richtung der relativen Veränderung (V) zwischen Referenz (TR = 100 %) und Kulturlandaufwertung. h = humusreicher, t = tonreicher, s = schluffreicher Bereich des tiefgepflügten Unterbodens am Standort Witzwil

Wasserleitfähigkeit in den mineralischen Horizonten langsamer abnimmt als in den organischen.

Während in der Bearbeitungsschicht der Torfböden-Referenzen sehr hohe N-Gehalte festzustellen sind (1.2 % bzw. 1.4 %), hat sich durch das zugeführte bzw. hochgepflügte mineralische Material der N<sub>tot</sub>-Gehalt im Oberboden der Aufwertungsflächen massiv auf 0.2-0.4 % verringert

(Tab. 3). Trotzdem sind in Witzwil und Ins die N-Gehalte im Oberboden noch immer deutlich höher als in den mineralischen Böden. Entsprechend ist auch die N-Mineralisation im neu hergestellten Bearbeitungshorizont der Aufwertungsflächen deutlich geringer als in den N-reichen Referenz-Torfböden. Dies führt zu weniger Torfschwund (CO<sub>2</sub>) und einer berechenbaren, verlustärmeren N-Versorgung der Kulturen.

Tab. 3: Medianwerte verschiedener Bodenparameter aus jeweils drei Profilbeprobungen an den Standorten Gampelen, Ins und Witzwil aus den beiden obersten Horizonten für die drei Kulturlandaufwertungen ÜS = Übersandung, ÜT = Überschüttung, TP = Tiefpflügen und ihren Torfböden-Referenzen = TR. ↓ = Richtung der relativen Veränderung (V) zwischen Referenz (SK = 100 %) und Aufwertung. h = humusreicher, t = tonreicher, s = schluffreicher Bereich des tiefgepflügten Unterbodens am Standort Witzwil.

	Horizont	Gampelen			Witzwil			Ins		
		TR	ÜS	V (TR = 100 %)	TR	TP	V (TR = 100 %)	TR	ÜT	V (TR = 100 %)
Stickstofftotal-gehalt	1	1.2	0.2	-84 ↓	1.4	0.4	-71 ↓	1.2	0.4	-66 ↓
N <sub>tot</sub> [%]	2	2.2	0.1	-95 ↓	0.2	0.3	50 ↑	1.4	0.7	-50 ↓
Kohlenstoff/Stickstoff-verhältnis C/N	1	13.0	12.0	-8 ↓	17.0	13.0	-24 ↓	14.0	16.0	14 ↑
	2	16.0	1.0	-94 ↓	11.0	21.0	91 ↑	15.0	14.0	-7 ↓
Magnesiumtotalgehalt	1	0.95	0.73	-23 ↓	0.67	1.10	64 ↑	0.96	1.28	33 ↑
N <sub>tot</sub> [%]	2	0.22	0.79	259 ↑	1.39	1.17	-16 ↓	0.86	1.16	35 ↑
Phosphortotalgehalt	1	0.12	0.10	-17 ↓	0.15	0.10	-33 ↓	0.15	0.09	-40 ↓
P <sub>tot</sub> [%]	2	0.06	0.08	33 ↑	0.08	0.09	13 ↑	0.15	0.10	-33 ↓
Kaliumtotalgehalt	1	0.98	1.34	37 ↑	1.00	1.12	12 ↑	1.47	1.76	20 ↑
K <sub>tot</sub> [%]	2	0.16	1.37	756 ↑	1.61	1.09	-32 ↓	1.33	1.64	23 ↑
Kationenaustauschkapazität KAK	1	34.8	3.6 <sup>1</sup>	-90 ↓	33.7	8.4 <sup>1</sup>	-75 ↓	31.3 <sup>1</sup>	9.8 <sup>1</sup>	-69 ↓
(KAK ohne H <sup>+</sup> ) <sup>2</sup>		(20.5)	(2.7)	(-87) ↓	(20.8)	(6.1)	(-71) ↓	(17.3)	(7.0)	(-60) ↓
[mmolc/100g]	2	62.1	20.8 <sup>1</sup>	-67 ↓	4.0	6.4 <sup>1</sup>	60 ↑	41.2 <sup>1</sup>	15.6 <sup>1</sup>	-62 ↓
		(32.6)	(2.0)	(-94) ↓	(4.0)	(5.4)	(35) ↑	(19.0)	(10.5)	(-45) ↓

<sup>1</sup> Mittelwert von zwei Profilen

<sup>2</sup> H<sup>+</sup> = Protonen

Der pH-Wert befindet sich an allen drei Standorten im neutralen bis alkalischen Bereich (Tab. 2). Er ist sowohl in den Ober- als auch in den Unterböden der Aufwertungsflächen leicht höher als in den Referenz-Torfböden. Die beim Abbau des organischen Materials freigesetzten organischen Säuren senken den pH-Wert. Der Anstieg des Kalkgehalts durch Zufuhr von eher basischem Material auf den Aufwertungsflächen hat zu einer Erhöhung des pH-Wertes um eine halbe bis eine

ganze Einheit geführt. Die Nährstoffanionen N und P dagegen finden sich im neu hergestellten Bearbeitungshorizont in geringerer Menge als in den Referenz-Torfböden (Tab. 3); analog zum Rückgang des Gehalts an organischem Material und höheren pH-Wert.

### Nutzungseignung

Zur Überprüfung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung der Aufwertungs- und Referenz-

Böden wurde das Beurteilungsschema für Landwirtschaftsböden (FAL 1997) weiterentwickelt. Dieses für mineralische Böden konzipierte Schema musste an organische Böden angepasst werden. Dabei wurden für verschiedene Bodeneigenschaften, je nach Fruchtbarkeitsstufe,

Punkte vergeben: Je höher die Gesamtpunktzahl für einen Boden ausfällt, desto mehr Bodeneigenschaften liegen in einem für die landwirtschaftliche Nutzung günstigen Bereich (Tab. 4).

Tab. 4: Bewertung (B) der Nutzungseignung (modifiziert nach FAL 24, 1997) der drei Kulturlandaufwertungen ÜS = Übersandung, ÜT = Überschüttung, TP = Tiefpflügen und ihren Torfboden-Referenzen = SK. Die Notenspanne der Bewertung reicht von 1 bis 3.

	Gampelen				Witzwil				Ins			
	TR	B	ÜS	B	TR	B	TP	B	TR	B	ÜT	B
Wasserhaushalt <sup>1</sup>	G2	3	G1	3	G3	2	G3	2	G2	3	G2	3
Pflanzennutzbare Gründigkeit <sup>2</sup>	mtg	1	mtg	1	mtg	1	mtg	1	mtg	1	mtg	1
Skelettgehalt <sup>3</sup> [Vol. %]	<10	3	<10	3	<10	3	<10	3	<10	3	<10	3
Gefüge <sup>4</sup>	Kr, Sp	3	Ek,(Kr)	2	Kr, Sp	3	Kr, Sp	3	Kr, Sp	3	Po	2
Feinerde <sup>5</sup>	L-tL	2	IS	2	tU	1	IU	2	L	3	L-tL	2
Humusgehalt <sup>6</sup> [Gew. %]	27.4	1	5.0	3	40.0	0	10.3	2	25.6	1	12.0	1
pH-Wert <sup>7</sup>	6.9	3	7.7	3	7.0	3	7.6	3	7.1	3	7.6	3
Punkttotal		16		17		13		16		17		15

<sup>1</sup> Wasserhaushalt: G1 = grundfeucht (schwache Grundwasserzufuhr), G2 = schwach gleyig (Grundwassereinfluss ab 60 cm unter Terrain deutlich sichtbar), G3 = gleyig, (Grundwassereinfluss zeitweise bis Oberfläche vorhanden)

<sup>2</sup> Pflanzennutzbare Gründigkeit: mtg = mässig tiefgründig (50-70 cm)

<sup>3</sup> Skelettgehalt: <10 Vol.% = skelettfrei bis schwach skeletthaltig

<sup>4</sup> Gefüge: Kr = Krümelgefüge, Sp = Subpolyederggefüge, Ek = Einzelkorngefüge, Po = Polyederggefüge

<sup>5</sup> Zusammensetzung der Feinerde: IS = lehmiger Sand (0-50 % Schluff, 5-10 % Ton), L = Lehm (0-50 % Schluff, 20-30 % Ton), tL = toniger Lehm (0-50 % Schluff, 30-40 % Ton), IU = lehmiger Schluff (50-90 % Schluff, 10-30 % Ton), tU = toniger Schluff (50-70 % Schluff, 30-50 % Ton)

<sup>6</sup> Humus oder organische Substanz: 2-5 Gew.% = schwach humos, 5-10 Gew.% = humos, 10-20 Gew.% = humusreich, 20-30 Gew.% = sehr humusreich, >30 Gew.% = organisch

<sup>7</sup> pH = Säuregrad nach H<sub>2</sub>O-Methode: 6.8-7.2 = neutral, 7.3-7.6 = schwach alkalisch, 7.7-8.2 = alkalisch, >8.2 stark alkalisch

Die meisten Bodeneigenschaften der verschiedenen Parzellen werden für die landwirtschaftliche Nutzung als gut befunden. Eine Ausnahme stellt der Humusgehalt der Torfböden dar: Dieser ist allgemein zu hoch und wird am Standort Witzwil sogar mit 0 bewertet. Der optimale Humusgehalt liegt laut Bewertungsschema bei 2-10% (FAL 1997). Diese schlechte Bewertung hängt mit den damit verbundenen negativen physikalischen Eigenschaften zusammen (Feinerdezusammensetzung und -gefüge). Im Fall Witzwil stellt die Gesamtheit der Massnahmen dennoch eine Verbesserung dar. Auf allen Parzellen ist die Pflanzennutzbare Gründigkeit klein; die durchgeführten Massnahmen haben in Bezug auf den Wasserhaushalt zu keiner Verbesserung geführt.

### Schlussfolgerungen

Bei den beurteilten Bodenaufwertungen in Gampelen und Witzwil hat sich die landwirtschaftliche Nutzungseignung verbessert und diese können als erfolgreich betrachtet werden. Demgegen-

über nahm bei der Überschüttung in Ins die landwirtschaftliche Nutzungseignung aufgrund des Gefügebraus und der Zusammensetzung der Feinerde eher ab. Damit sich die finanziell hohen Aufwendungen lohnen, muss bei dieser Aufwertungsart die Mindestqualität des zugeführten Bodenaushubs von einer bodenkundlichen Baubegleitung kontrolliert werden. Neben einer ausgewogenen, dem Verwertungsort angepassten Körnung muss der Bodenaushub frei sein von Schadstoffen oder Schadorganismen wie Erdmandelgras, Rübenkopfähchen oder Kohlhernie.

Das Durchmischen von organischem mit mineralischem Bodenmaterial ermöglicht eine Verbesserung der Eigenschaften im neu hergestellten Bearbeitungshorizont und hilft, den Torf vor schnellem Abbau zu schützen. Anzustreben ist ein günstiges Verhältnis von mineralischen und rund 10 % organischen Komponenten. Die Heterogenität der Flächen bezüglich Relief und Bodenzusammensetzung bleibt weiterhin bestehen und stellt ein Problem dar. Ebenso konnte der

Wasserhaushalt nicht grundlegend verbessert werden.

### Ausblick

Anforderungen und Vorgehen für künftige Kulturlandaufwertungen auf entwässerten Torfböden sind komplex und bedürfen entsprechenden Vor-

abklärungen. Die Grundlage sämtlicher Entscheidungen zu Bodenaufwertungen ist die exakt erhobene Bodeninformation: Mächtigkeit der Torfschicht, Abbaugrad des Torfes, Zusammensetzung des Untergrundmaterials sowie Flurabstand müssen für Eignungsabklärung, Planung und Durchführung bekannt sein.

Tab. 5: Die auf Basis von Tabelle 1 aktualisierte Zusammenstellung möglicher Kulturlandaufwertungsmaßnahmen bei entwässerten Torfböden (Stand: Januar 2017). Je nach Standort sind diese als Einzelmaßnahmen oder kombiniert in adäquater Reihenfolge umzusetzen. Im Falle einer Unterbodenverdichtung ist mit einem gezogenen Gerät eine Lockerung durchzuführen.

Massnahme	Beschreibung	Ziel	Einsatzprinzip, Probleme
Tiefpflügen oder Durchmischen	Durchmischung von mineralischem Untergrund mit organischem Oberbodenmaterial (sofern möglich Volumenregel: ein Teil mineralisch und ein Teil organisch)	Das Aufbrechen schlecht wasserdruchlässiger Schichten im Untergrund und der Schutz vor Torfabbau im Oberboden, indem im Bearbeitungshorizont ein Bodensubstrat mit deutlich weniger organischer Substanz aufgebaut wird	Einsatz den standörtlichen Gegebenheiten (v.a. Mächtigkeit, Zusammensetzung und Abfolge der organischen und mineralischen Schichten) anpassen; evtl. zu mächtige wasserstauende Schicht oder Zerstörung der Drainage oder Verdichtungsgefahr infolge Überlockerung
Übersanden oder Überschütten	Auftrag von ortsfremd abgetragenem Bodenmaterial oder Sand, evtl. mit anschliessender Durchmischung des vorhandenen Oberbodens (Torfs)	Niveau-Erhöhung (grösserer Flurabstand) Anpassung und Schutz vor Torfabbau, indem ein neuer Oberboden bzw. Bearbeitungshorizont mit deutlich weniger organischer Substanz aufgetragen bzw. aufgebaut wird.	Einsatz den standörtlichen Gegebenheiten anpassen; evtl. Verdichtung infolge Materialzufuhr/-verteilung oder Zerstörung der Drainage oder ungenügende Qualität des zugeführten Materials
Planieren	Ausnivellierung der Bodenoberfläche zur Vermeidung wassersammelnder Senken (Syphonbildung), dadurch verbesserte Entwässerung	Das Auffüllen von wassersammelnden Senken mit (torfhaltigem) Bodenmaterial von erhöhten Stellen	Einsatz als Einzelmaßnahme oft ungenügend, da Gefahr der Kumulierung von torfhaltigem Oberboden in aufgefüllten Senken, erst nach tiefem Durchmischen sinnvoll (aber Verdichtungsgefahr nach Überlockerung)
Drainieren	Neuanlage oder Erneuerung der Entwässerung	Verbesserung der Entwässerung durch Einlegen der "Sauger" in wasserführende Schicht und Aufheben der Syphonbildungen in Senken	Einsatz als Einzelmaßnahme oft ungenügend; am Ende von Bodenaufwertungen meist unumgänglich

Die heute empfohlenen Massnahmen zur Kulturlandaufwertung, inkl. deren Gefahren, sind in Tab. 5 beschrieben. Alle aufgeführten Massnahmen können, je nach standörtlichen Gegebenheiten, als Einzelmaßnahme oder kombiniert ausgeführt werden, und deren Ausführung ist nach Dringlichkeit zu priorisieren. Neben Bodenaufwertungsmaßnahmen ist auf einigen Flächen auch ein Umdenken bezüglich der Bewirtschaftungsintensität angebracht.

Das Konzept des Projekts Bodennutzung zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Verbesserung des Wasserhaushaltes (LANAT 2014) sieht planerisch vier Kategorien vor:

- Keine Massnahmen notwendig; die Bodenfruchtbarkeit kann unter den aktuellen Bedingungen (Bewirtschaftungsintensität, etc.) erhalten werden.
- Verbesserungsmaßnahmen sind gemäss Tab. 5 angebracht.
- Anpassung der Bewirtschaftung, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu fördern.
- Keine Massnahmen möglich; der Boden kann langfristig nicht für die intensive landwirtschaftliche Produktion genutzt werden.

Nach der Abklärung der Schutz- und Nutzungsbedürfnisse und einer allfälligen Priorisierung könnten in Planung befindliche Projekte zu Boden- bzw. Kulturlandaufwertung in absehbarer Zeit umgesetzt werden.

### **Video „Entwässerte Torfböden“**

Während einer Lehrveranstaltung mit einer Gruppe von Studentinnen und Studenten der Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich wurden diese Thematik sowie die erfolgversprechendsten Massnahmen zum Schutz der verbleibenden Torfschichten vor der weiteren Torfsackung präsentiert. Der Kurzfilm mit deutscher, französischer und englischer Untertitelung dient als Entscheidungshilfe für Landwirte und andere Entscheidungsträger, mit dem Ziel, dem Standort angepasste Massnahmen zur nachhaltigen Nutzung entwässerter Torfböden zu fördern. Das Video findet sich unter [www.be.ch/bodenschutz.be](http://www.be.ch/bodenschutz.be), Register „Bodenzustand“ oder auf YouTube.

### **Literature**

- ARE, Bundesamt für Raumentwicklung, 2006. Sachplan Fruchtfolgeflächen FFF, Vollzugshilfe 2006.
- Dubler, A., 2010. Historisches Lexikon der Schweiz. Grosses Moos. Abrufbar unter [www.hls-dhs-dss.ch](http://www.hls-dhs-dss.ch).
- FAL, Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 1997. Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Schriftenreihe FAL 24.
- Fenner, S., 2007. Torfeigenschaften und Moorsackungsraten von landwirtschaftlich genutzten Böden im Gebiet Witzwil. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich.
- Frei, E., Peyer, K., Jäggli, F., 1972. Verbesserungsmöglichkeiten der Moorböden des Berner Seelandes. Mitteilungen für die Schweizer Landwirtschaft 20 (11).
- Göttlich, K., 1990. Moor- und Torfkunde. 3. Auflage. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Nägele und Obermiller, Stuttgart.
- Jampen, M. und Möri, Th., 2006. Torfsackung im Seeland. Diplomarbeit an der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft (SHL).
- König, D., 2015. Erfolgskontrolle von Kulturlandverbesserungsmassnahmen im Grossen Moos, Kanton Bern. Masterarbeit am Departement für Umweltsystemwissenschaften der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich.
- Kuntze, H., 1983. Probleme bei der modernen landwirtschaftlichen Moornutzung. TELMA. Berichte der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde 13, 137-152.
- LANAT, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, 2014. Grosses Moos. Projektbeschreibung für die Ausarbeitung eines Konzeptes «Bodennutzung» zur

Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Verbesserung des Wasserhaushaltes (nicht publiziert).

Lüdi, W., 1935. Das Grosse Moos im westschweizerischen Seeland und die Geschichte seiner Entstehung. Verlag Huber, Bern.

Presler, J. und Gysi, C., 1989. Organische Böden des schweizerischen Mittellandes. Dokumentation über Ausdehnung, Nutzung, Bewirtschaftung und Melioration (Bd. 28). Nationales Forschungsprogramm 22 «Nutzung des Bodens in der Schweiz», Programme de Recherche 22 «Utilisation du Sol en Suisse». Liebefeld-Bern. ISBN: 978-3-907086-20-9.

VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2009. Bodenbericht 2009.

VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2017. Bodenbericht 2017.

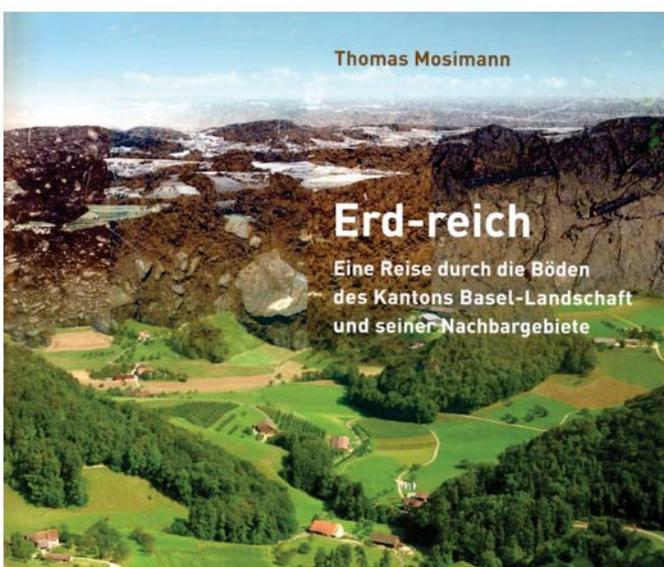
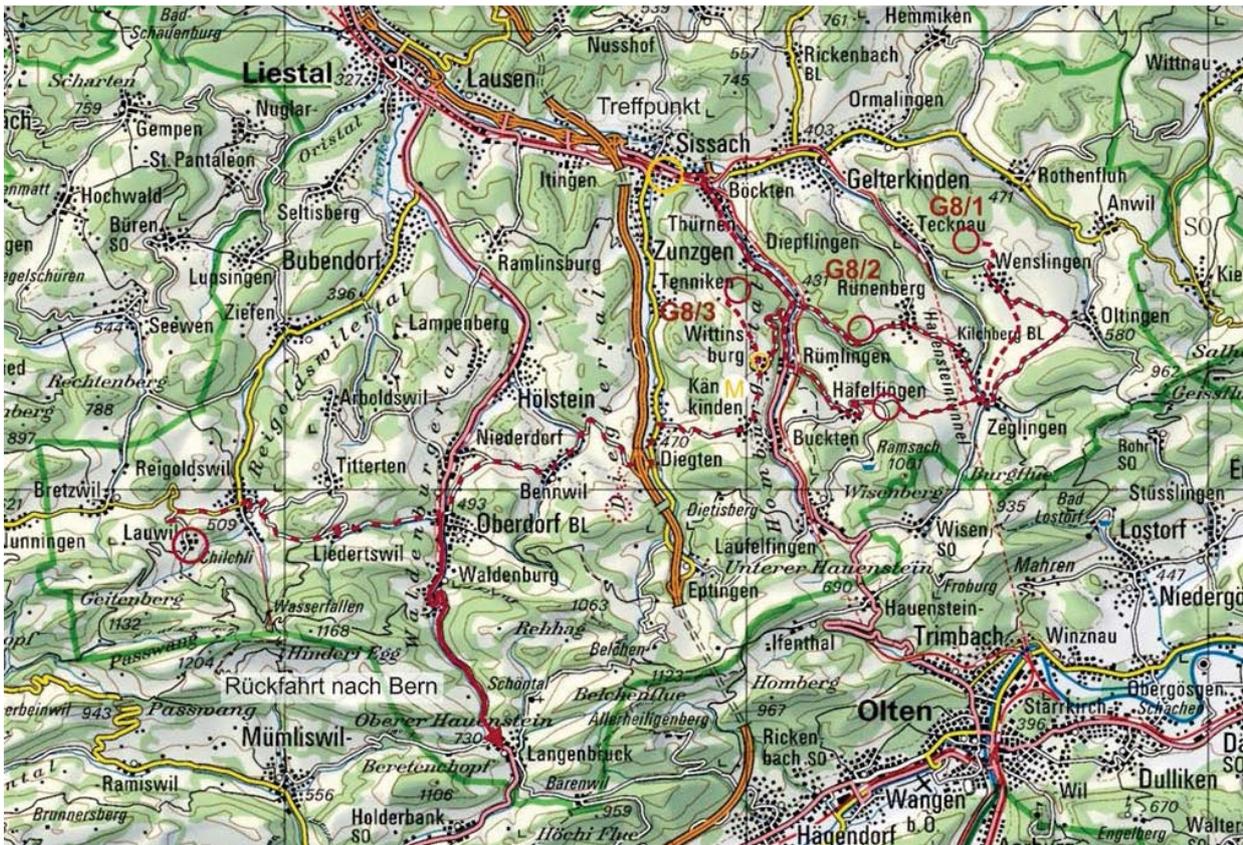
# G-12: Landschaften und Böden im Nordwestschweizer Jura mit einem Ausflug in die schweizerische Gemeindedemokratie

Thomas Mosimann<sup>1</sup>, Christine Alewell<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gemeindepräsident, Gemeindeverwaltung, CH - 4426 Lauwil, Emeritus Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Universität Hannover

<sup>2</sup>Departement Umweltwissenschaften – Umweltgeowissenschaften, Universität Basel, CH - 4056 Base

## Exkursionspunkte



Liestal 2015

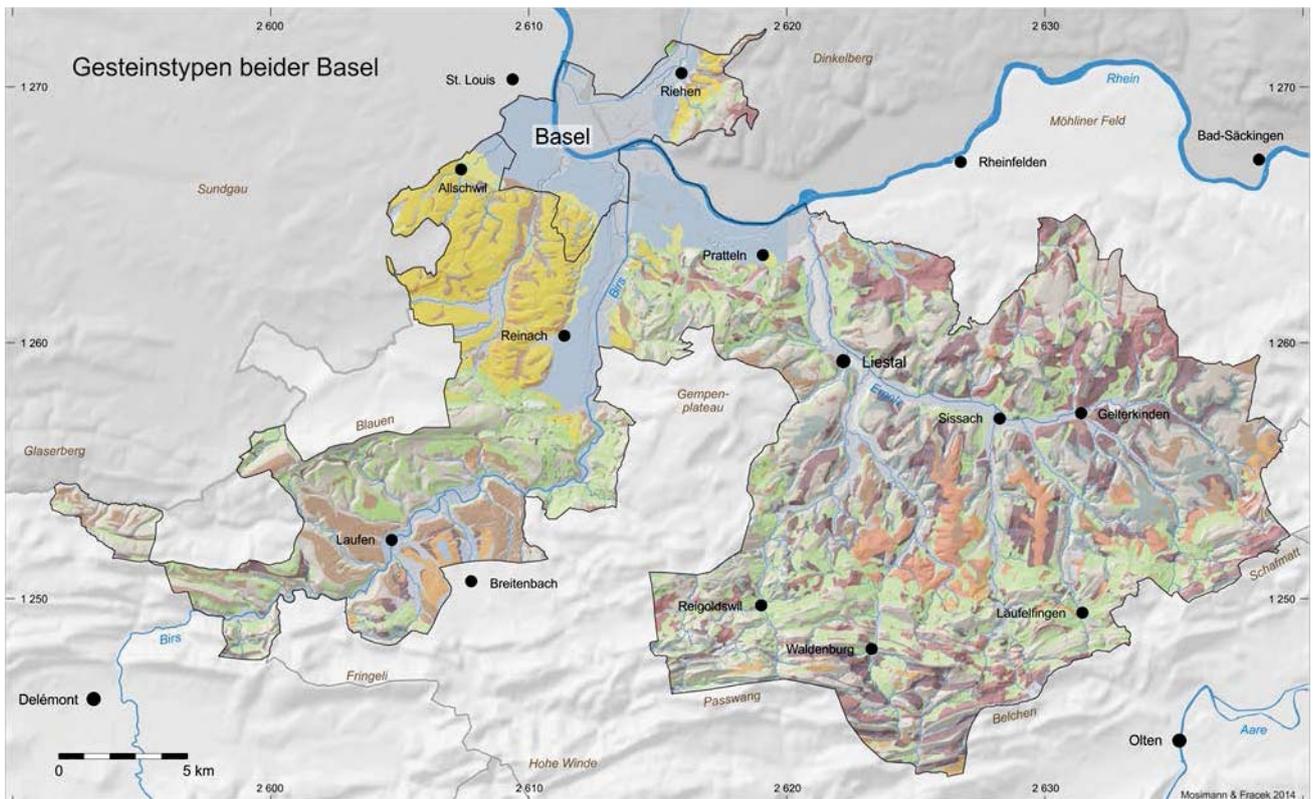
Die ExkursionsteilnehmerInnen erhalten das Buch „Erd-reich“. Diese umfassende Darstellung der Böden der Nordwestschweiz enthält alle Grundlagen zum Exkursionsraum und eine Vielzahl von Bodenprofilen. Der Exkursionsführer ist deshalb sehr kurz gehalten. Die Texte und Abbildungen sind Ausschnitte aus dem Buch. Der Führer enthält kein Literaturverzeichnis. Die gesamte relevante Literatur befindet sich im umfangreichen Literaturverzeichnis des Buches.

## Allgemeine Informationen

Die grosse Vielfalt der mesozoischen und tertiären Gesteinsserie, die Jurafaltung und Bruch-tektonik im Tafeljura sowie die komplexe quartäre Erdgeschichte haben in der Nordwest-schweiz eine riesige Vielfalt an Böden auf engem Raum entstehen lassen. Die Exkursion führt in grossen Zügen in die Zusammenhänge von Landschaftsgenese, Landschaftsstruktur und heutiger Nutzung ein. Vor diesem Hintergrund besucht sie drei Bodenprofile und diskutiert diese mit einem besonderen Fokus auf ihre Funktion der Böden

als Waldstandorte, insbesondere unter dem Aspekt der heutigen und zukünftigen potentiell limitierten Wasserversorgung.

Im kulturell-politischen Abschlussteil bietet die Exkursion einen Einblick in die schweizerische Gemeindedemokratie. Sie zeigt am Beispiel von Lauwil (Kanton Basel-Landschaft) auf, wie das politische Milizsystem auf Gemeindeebene funktioniert, und demonstriert die direkt-demokratische Entscheidungsfindung am Beispiel Trinkwasserversorgung und Strassenbau.



### Löss und Decklehme

- Löss des Oberrheintals (verlehmt)
- Schwemmlern über Schotter
- Löss des Laufener Beckens und Hochehrentals Decklehme (inkl. Grundmoräne)

Die Karte gibt die jeweils dominierenden Gesteinstypen an. Andere können auf den Flächen untergeordnet vorkommen.

Grundlage: Klassifizierte Einheiten der geologischen Karten im GIS BL. Decklehme unvollständig.

### Junge Lockergesteine

- Schotter und Sande der jungen Talaue
- Rhein- und Jura-Schotter (Würm und Riss)
- Alte Schotter (Deckenschotter)
- Mächtiger Gehängeschutt
- Verlehmtter Gehängeschutt
- Künstliche Aufschüttung

### Festgesteine des Tertiärs und Erdmittelalters

- Tertiäre Mergel, Kalke und Sandsteine
- Juranagelfluh (Konglomerat mit Mergellagen)
- Kalkstein
- Kalkmergel und Mergel
- Mergel und tonige Mergel (Malm und Dogger)
- Mergel und Tonmergel (Keuper)
- Buntsandstein

Abb. 1: Übersichtkarte der Gesteinstypen der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt

## **Die Lage der Nordwestschweiz im grossräumigen Landschaftsgefüge**

Aus dem Blickwinkel Westeuropas liegt die Nordwestschweiz im östlichen Teil des Juras und in der Südostecke der Oberrheinischen Tiefebene. Der Jura gehört zu den grossen europäischen Mittelgebirgen. Das rund 300 km lange und im mittleren Teil bis 60 km breite Faltengebirge wird nach Nordosten hin immer schmaler und taucht bei Baden unter die Sedimente des alpinen Vorlandbeckens ab. Im Bereich des Oberbaselbiets ist der in parallel verlaufende Kämmen und Längsmulden gegliederte Kettenjura nur noch 15 km (Linie Bretzwil-Oensingen) bis 5 km breit (Schafmatt, Linie Oltingen-Lostorf). Er trennt hier den nördlich anschliessenden Tafeljura vom etwa gleich hohen schweizerischen Mittelland (das alpine Vorlandbecken). Nördlich des Rheins befindet sich die Hauptlandschaftsgrenze zwischen dem aus Sedimenten aufgebauten Tafelland und dem aus kristallinem Grundgebirge bestehenden Schwarzwald.

Der Tafeljura zählt zwar geographisch zum Jura, ist jedoch vom Gebirgsbau her völlig eigenständig. Wie der Name sagt, wurden die Gesteinsschichten des Erdmittelalters nicht verfaltet, sondern liegen durch Brüche zergliedert mehr oder weniger waagrecht. Grossräumig gehört der Tafeljura zu der west- und mitteleuropäischen Tafelstruktur aus Sedimentgesteinen, die vom Pariser Becken bis in die fränkische Alb in Süddeutschland reicht. Das Tafelland erstreckt sich im Gebiet Oberbaselbiet-Fricktal-Südbaden über eine Breite von 12-30 km. Im südlichen Teil des Tafeljuras liegen die jüngeren Sedimente des Malms und nördlich die älteren Sedimente der Trias. Durch die Hebung des Schwarzwaldes im Zusammenhang mit der Entstehung der Alpen wurden die Sedimentplatten leicht schräg gestellt. Hebung verstärkte die Erosion und diese legte in der Folge im nördlichen Teil des Tafellandes die älteren Gesteine frei.

Die Oberrheinische Tiefebene gliedert sich klar in zwei Landschaftseinheiten: die Schotterebenen und das 70-150 m höhere Lösshügelland.

Die beiden Landschaften entstanden durch die schrittweise Eintiefung des Rheins im Quartär und die Verfrachtung des Lösses während der

Kaltzeiten aus der Flussebene auf die benachbarten Hügelländer. Der Löss greift randlich in den Tafeljura ein und Reste von schleierartigem Löss wurden in die Decklehme des Tafeljuras eingearbeitet.

Die Nordwestschweiz befindet sich also im Schnittpunkt von Kettenjura, Tafelland und Oberrheintal. Das Baselbiet erstreckt sich von den Schotterebenen bis zu den Juraketten über vier verschiedene naturräumliche Einheiten, die Teil grösserer geologischer Strukturen und Landschaften sind. Die Höhenunterschiede betragen dabei fast 1'000 m. Daraus resultiert ein vielfältiges Klima.

## Vom Rhein in den Kettenjura: Die Bodenlandschaften in der Übersicht

Die folgenden Eigenschaften der Erdhülle sind die Basis für die Entstehung eigenständiger Bodenlandschaften und ihre Abgrenzung:

1. Die Art, Mächtigkeit, Abfolge und räumliche Anordnung der Fest- und Lockergesteine.
2. Das in dieser Gesteinsstruktur entstandene typische Relief mit dem Muster verschiedener Oberflächenformen und charakteristischen relativen Höhenunterschieden zwischen den Kämmen, Kuppen, Rücken, Plateaus und den Mulden und Tälern.

Diese strukturellen Hauptmerkmale jeder Landschaft bestimmen in grossen Zügen Typen, Verbreitung und regelhafte Muster der vorkommenden Böden. Die grossen Landschaftseinheiten Oberrheingraben, Tafeljura und Kettenjura mit ihrer Gesteinsausstattung, erdgeschichtlichen Entwicklung und Reliefstruktur bilden also das Gerüst für die Bodenlandschaften, in denen die Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt als Teil der Nordwestschweiz liegen. Diese Hauptlandschaften sind aber in sich nicht homogen, sondern gliedern sich in Untereinheiten, in denen unterschiedliche Böden entstehen und dominieren.

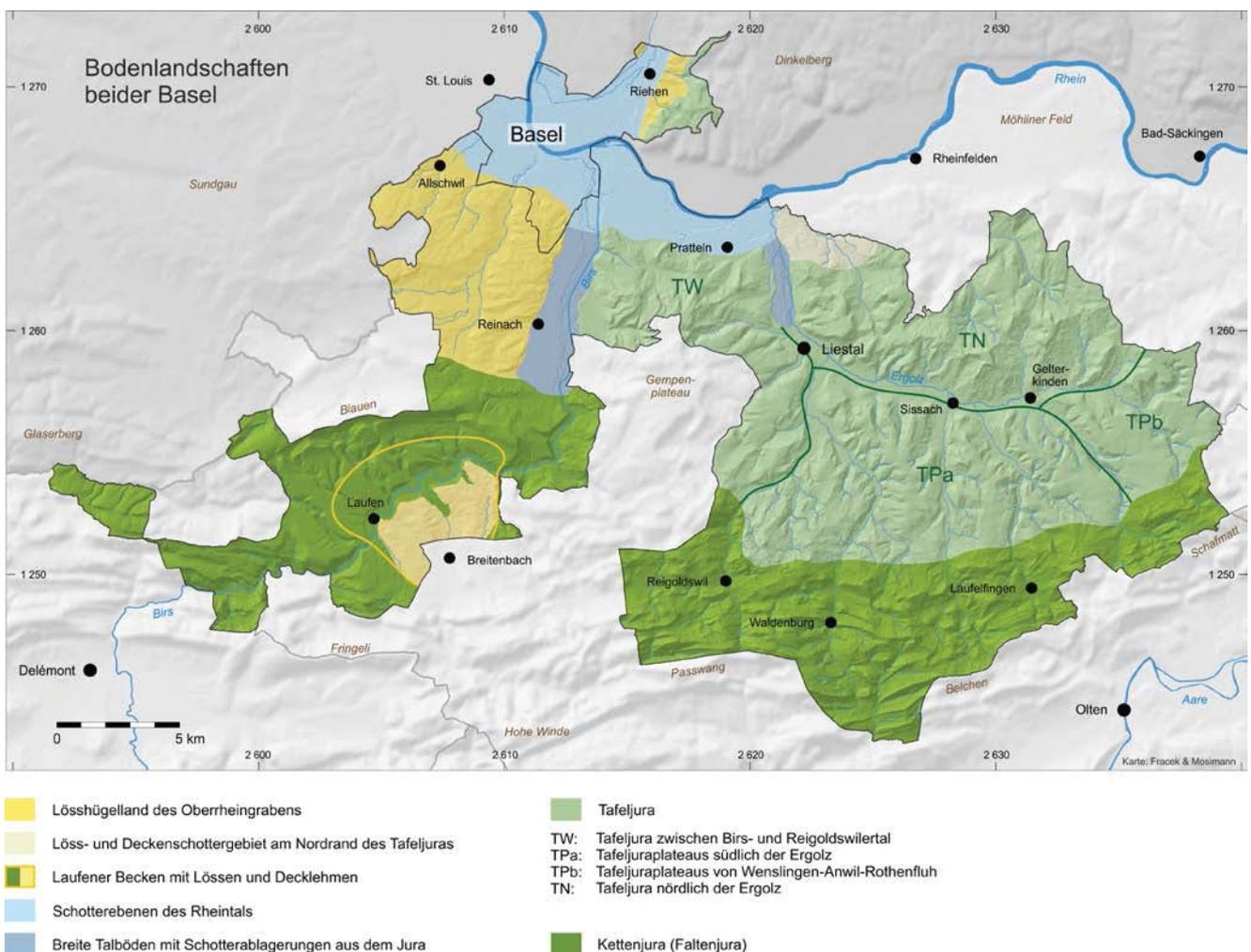


Abb. 2: Die Bodenlandschaften der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt

Der Tafeljura ist nicht so einheitlich, wie es auf den ersten Blick scheint. Der nördliche und südliche Tafeljura unterscheiden sich im Relief und dem Alter der Gesteine. Besonders die tertiären Ausgangsgesteine und eiszeitlichen Decklehme kommen mit ihren typischen Böden nur in Teilbe-

reichen vor. Die Bodenlandschaft „Tafeljura“ gliedert sich deshalb in vier Teilgebiete (Abb. 2). Als Charakteristika der Bodenausstattung gelten: Böden auf sehr verschiedenen Festgesteinen und auf Hangdeckschichten mit sehr unterschiedlichen Steingehalten. Tiefgründige Böden auf Grundmoränen der grössten Vergletscherung

und feinmaterialreichen Decklehmen auf den Plateaus. Böden auf Juranagelfluh als regionale Besonderheit.

Der Tafeljura ist in der Region Nordwestschweiz die Landschaft mit der grössten Vielfalt an Böden.

Der Kettenjura ist ein vom Gebirgsbau und dem zugehörigen Relief klar abgegrenzter Raum mit charakteristischer Anordnung der Gesteine, typischen Deckschichten und einer davon abhängigen Bodenausstattung. Die Merkmale seiner Bodenausstattung lassen sich wie folgt zusammenfassen: Böden im anstehenden Kalk auf Kämmen, Scheiteln, Kanten, Rücken und Hangbuckeln. Auf den Hängen überwiegend Böden in Deckschichten mit sehr unterschiedlichen Steingehalten. Örtlich in Längsmulden und auf Schwellen Böden, die unter wenig Hanglehm bis in die Tonmergel reichen. An Steilhängen Hangschutt mit wenig Feinerde.

### **Modell der Bodenverbreitung im Tafeljura von Rünenberg bis Rothenfluh**

Abb. 3 zeigt die prinzipielle Anordnung der verschiedenen Böden im südlichen Tafeljura in einem vereinfachten Querschnitt vom Plateau bis in ein benachbartes Tal (ohne die Situation an Bruchlinien). Das Modell gibt die Situation der Tafeln von Rünenberg und Wenslingen in verallgemeinerter Form wieder. Die dargestellten Bodenprofile sind charakteristische Vertreter für die Böden in den entsprechenden Positionen im Relief. Es handelt sich also nicht um die Abfolge eines einzelnen Hangquerschnittes.

Grundmoränen und Decklehme liegen auf verschiedenen älteren Gesteinen, am häufigsten jedoch auf Hauptrogensteinkalk und Juranagelfluh. Der Querschnitt in Abb. 3 stellt für das Tertiär die Situation von Rünenberg und Kilchberg dar, wo die Juranagelfluh inselartig erhalten geblieben ist. Decklehm über Hauptrogensteinkalk ist dagegen typisch für die Plateaus nördlich von Wenslingen und zwischen Anwil und Wegenstetten.

Grundmoränenreste und Decklehme sind meist nicht mehr als zwei Meter mächtig. Das Profil G8/1 (Pseudogley-Parabraunerde) ist ein typischer Vertreter der Böden im Gebiet von Wenslingen, wo der Decklehm besonders gut und mächtig erhalten ist. Zum Plateaurand hin wurden die Decklehme zunehmend erodiert. Die

Mächtigkeit nimmt bis auf Reste ab oder sie verschwinden ganz. Auf nur noch einige Dezimeter mächtigen Decklehmen entwickeln sich Braunerden, die auch Reste von gekappten Parabraunerden sein können. Am Rand des Plateaus gibt es zum Teil nur noch 20-30 cm mächtige Decklehmreste, was jeweils die Versauerung in den obersten 20 cm des Bodens belegt. Dies sind die Standorte von Braunerde-Rendzinen. Gesamthaft gilt die dargestellte Situation für die breiteren und relativ ebenen Jura-tafeln. Auf flachen Rücken und auf den vorderen schmalen Plateaus fehlt der Decklehm weitgehend. Hier finden wir auf Kalkstein Rendzinen und verbrauchte Rendzinen.

In den Hängen zwischen Plateaurand und den benachbarten Seiten- und Haupttälern sind mit Ausnahme der sehr steilen Bereiche durch Abtrag und Umlagerung Hangdeckschichten entstanden. Die Böden entwickeln sich hier in den meistens geschichteten wenige Dezimeter bis mehrere Meter mächtigen Hanglehmen und Hangschutten. Die Variation im Detail ist gross. Der Querschnitt kann deshalb nur ausgewählte Beispiele darstellen. Das Spektrum der Böden bewegt sich zwischen den Braunerde-Rendzinen und basenreichen Braunerden. Die nährstoffreiche Braunerde im Oberhang ist ein typischer Vertreter der Böden auf flacheren Hängen ohne obenliegende Steilstufen, die Kalkschutt liefern. Hier bildeten sich eher Hanglehme mit wenig Kalksteinen, die bis in einige Dezimeter Tiefe mässig versauern. Auch die basenreiche Braunerde über dem mergeligen Dogger entwickelte sich oben im Hanglehm. Der Kalkmergel steht hier jedoch nahe an der Oberfläche an und bildet bei der Verwitterung mehr feinen, tonreichen Lehm als Kalkstein. Der Boden enthält 50-55 % Ton und ist nur bis 30 cm Tiefe versauert. Aus der begrenzten Gründigkeit von 60 cm und den hohen Tonanteilen resultiert eine nur bescheidene Wasserspeicherung von 70 mm nFK. Im untersten Hang am Rand des Muldentals erreicht die Deckschicht wie üblich grosse Mächtigkeit. Das Profilbeispiel stammt aus dem Tal beim „Stucklenberg“ in Ormalingen. Hier gibt es stark geschichtete Gehängeschutte mit bis zu 60 % Steinanteil. Der Boden zeigt deshalb die Gestalt einer bis in 35 cm Tiefe verbrauchten Rendzina.

Das Modell verdeutlicht die grosse Vielfalt der Böden im Tafeljura. Diese schaffen ganz unterschiedliche Standortbedingungen für die Pflanzen und Bodentiere. Die Wasserspeicherung variiert zwischen 30 bis 250 mm nFK. Es kommen

stark saure bis basische Böden vor. Diese grossen Unterschiede treten in Räumen von wenigen 100 m Ausdehnung auf. Deshalb ist der Tafeljura ein so vielfältiger Lebensraum.

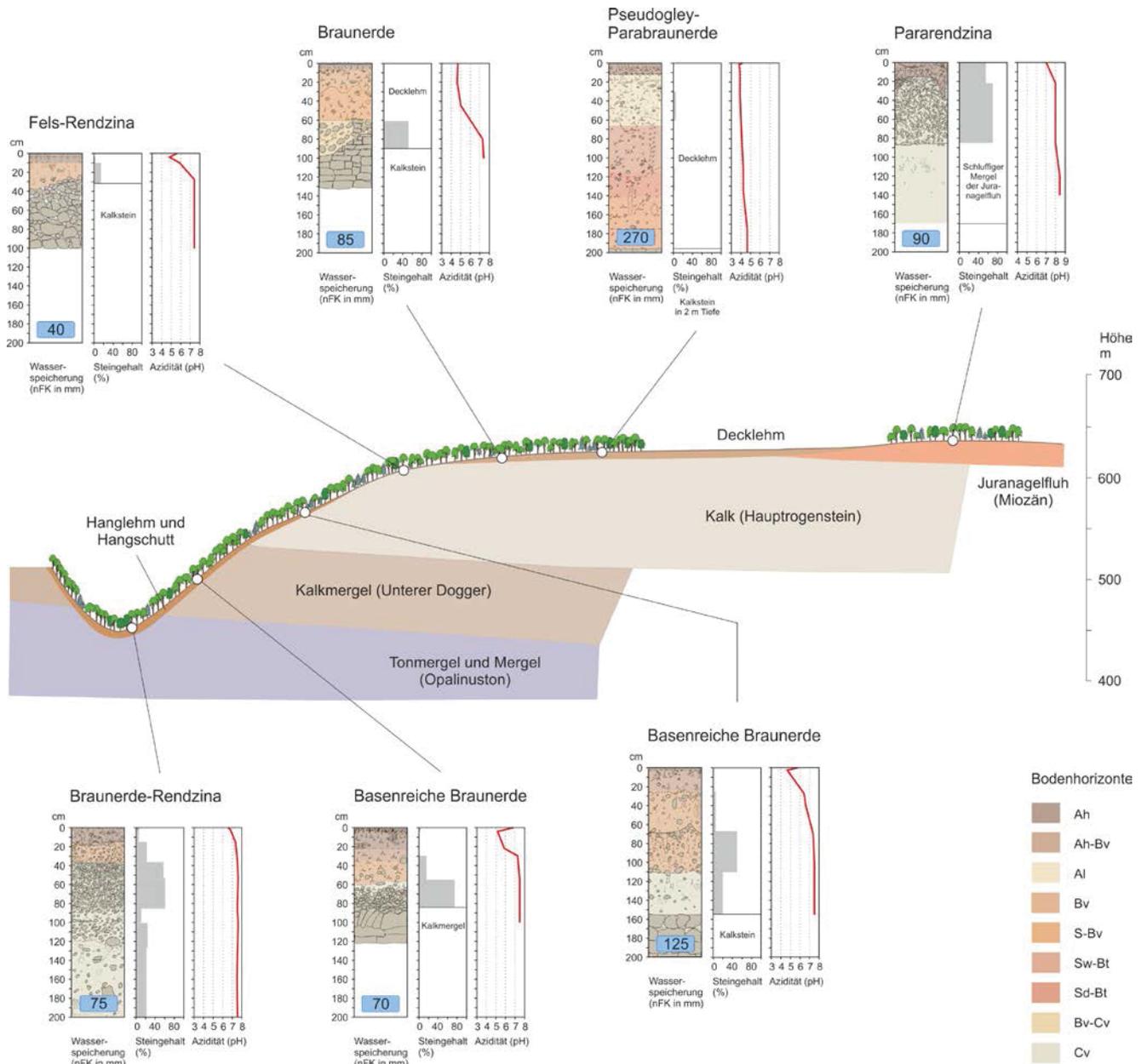


Abb. 3: Musterabfolge für die räumliche Verbreitung der Böden im südlichen Tafeljura

Aufgrund des warmen Klimas während des Tertiärs setzte eine starke Verwitterung der permischen Rhyolithe ein, die zur Ausbildung mächtiger Kaolinitkrusten führte. Nördlich von Halle entstanden Kaolinlagerstätten, die teilweise bis heute im Tagebaubetrieb abgebaut werden (z. B. bei Morl).

Von geringerer lokaler Bedeutung war die Förderung von Steinkohle. Der Quarzporphyr wurde primär als Schotter, aber auch als Baustein zur

Verkleidung von Bauwerken abgebaut. Momentan ist nur noch ein Steinbruch am Petersberg, 12 km nördlich von Halle, in Betrieb.

## Eigenschaften der Böden auf Grundmoränen und Decklehmen

Böden auf alten Grundmoränen und Decklehmen sind eine Besonderheit im Jura. Ihre Eigenschaften variieren in Abhängigkeit der Mächtigkeit der Decklehme, der Art des unten liegenden Gesteins und der Stärke und Oberflächennähe von Vernässungen. Die folgende Übersicht zeigt jedoch viele Gemeinsamkeiten:

- Die Böden enthalten wenig bis fast keine Steine (Steingehalte unter 1 bis 5 %).
- In den mächtigen Decklehmen gibt es fast immer Tonverlagerung. Die Oberböden enthalten meist 60-70 % Schluff und 20-25 % Ton. In den Tonanreicherungshorizonten im Unterboden variieren die Schluffgehalte zwischen 40-55 % und die Tongehalte von 35-45 %. Die wenig mächtigen Decklehme sind zum Teil gekappte Parabraunerden. Der ganze heutige Boden befindet sich in diesem Fall im Tonanreicherungshorizont. Solche Böden sind im Oberboden viel tonreicher.
- Alle Böden in Grundmoränen und Decklehmen sind in unterschiedlicher Tiefe mehr oder weniger stark vernässt.
- Die Gründigkeit variiert wegen der unterschiedlich mächtigen Decklehmschichten zwischen 70-150 cm. In den mächtigen Decklehmen begrenzen die Vernässungen im Unterboden die Gründigkeit auf maximal 150 cm.
- Die Wasserspeicherkapazität im gesamten Wurzelraum liegt in den tiefgründigen, pseudovergleyten Parabraunerden je nach Tiefe der Stauvernässung und Dichte des Unterbodens bei 170-250 mm nFK und in den weniger tiefgründigen Braunerden bei 80-100 mm nFK.
- Die Böden sind mässig bis sehr stark versauert. Die stärkste Versauerung erreichen pseudovergleyte Parabraunerden in mächtigen Decklehmen über Kalkstein (potenzieller pH 3.8-4.5). Weniger versauert sind Parabraunerden in Grundmoränen mit Kalkgeröllen unterhalb 1 m Tiefe (pH 4-5.2), Braunerden in geringmächtigen Decklehmen (pH 4.7-5) und die bis in

Oberflächennähe vernässen Pseudogleye (pH 4.5-5.5).

Die Böden auf Grundmoränen und Decklehmen sind also überdurchschnittlich tiefgründige und saure Böden mit meist guter Wasserspeicherefähigkeit und teilweise starken Vernässungen im Unterboden. Es handelt sich um wüchsige Waldstandorte und - nach Kalkung und allfälliger Entwässerung - ertragreiche Ackerböden.

Das Profil G8/1 zeigt eine Pseudogley-Parabraunerde in einem zwei Meter mächtigen Decklehm mit kleinen Quarzitgeschieben aus der ursprünglichen Moräne im „Grossholz“ nördlich von Wenslingen. Die Tonverlagerung ist sehr ausgeprägt: Die Tongehalte steigen vom Ober- in den Unterboden um 20 % an. Der hohe Schluffanteil im Oberboden lässt vermuten, dass in diesem umgelagerten Decklehm auch schleierartige Ablagerungen von Löss mit enthalten sind. Der Decklehm baut sich zudem aus zwei Schichten auf. Die rötlich-braune Schicht unterhalb 130 cm entstammt einem Lehm aus früherer tertiärer Verwitterung. Dies zeigen die leicht rötliche Färbung durch Hämatit und der sehr hohe Tongehalt von 57 %. Solch hohe Tongehalte werden durch Toneinlagerung aus dem Oberboden nicht erreicht. Diese pseudovergleyte Parabraunerde gehört zu den besten Wasserspeichern im Tafeljura. Sie ist sehr stark und tiefgründig versauert. Die Basensättigung liegt im oberen Teil zwischen 8-30 % und unterhalb 80 cm bei 50-70 %. Damit ist die Nährstoffversorgung für die Bäume nur noch im Unterboden ausreichend.

Das Profil G8/2 ist ein Vertreter der Böden in den umgelagerten, geschichteten Hanglehmen. Solche Böden enthalten mehr Steine und sind nur bis max. 50 cm Tiefe und weniger stark versauert.

Bodenprofil G8/1: Pseudogley-Parabraunerde im Decklehm

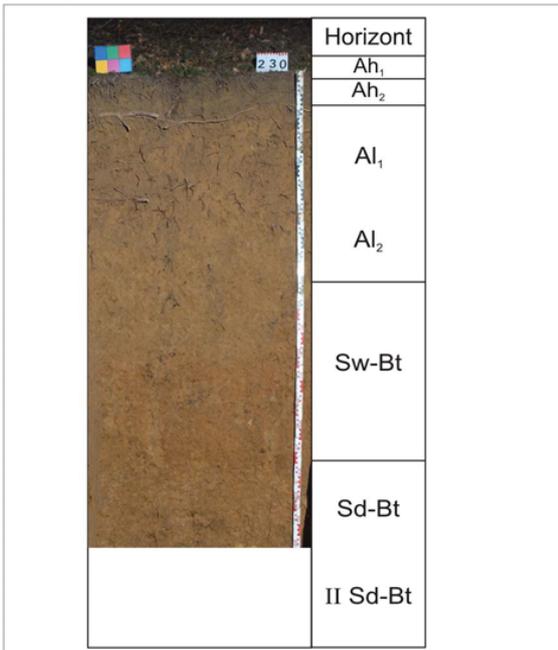
Nr.	6 8 0 8 2 3 0	BearbeiterIn	Herbst, Paul, Schauer	Datum	21.08.2008
LK Nr.	1068	Koord.	6 3 4 5 0 1 / 2 5 5 6 5 8		
Naturraumbezeichnung	Tafeljurahochfläche	Gemeinde	Wenslingen	Flurbezeichnung	Grossholz
Jahresmitteltemperatur	7,8 °C	Jahresniederschlag	1 0 5 0 mm		
Höhe	6 1 0 m	Hangneigung	1 °	Hangneigungsrichtung	3 2 0 °
Lage im Relief (Position)	Scheiteltbereich Ebener Scheiteltbereich <input checked="" type="checkbox"/> Schwach geneigter Scheiteltbereich <input type="checkbox"/> Hangbereich Hangverflachung <input type="checkbox"/> Hangversteilung <input type="checkbox"/> Hangmulde <input type="checkbox"/> muldenförmige Hangrinne <input type="checkbox"/> kerbförmige Hangrinne <input type="checkbox"/> Senkenbereich Ebener Senkenbereich <input type="checkbox"/> Geneigter Senkenbereich <input type="checkbox"/> Geschlossene Hohlform <input type="checkbox"/> Ebene <input type="checkbox"/> Sonstige..... <input type="checkbox"/>	Reliefformtyp	Kartenausschnitt 		
		Horizontalwölbung konvex gestreckt konkav Vertikalwölbung konvex gestreckt konkav	Relative Höhe <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> m Bezug der relativen Höhe auf Hangkante nördlich ..... Distanz zu Hangoberkante, <u>Kuppe</u> , Kamm <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> m		
Waldgesellschaft	<input type="text"/> <input type="text"/> 9 b	Bodenbedeckungsgrad			
Typischer Lungenkraut-Buchenwald mit Hexenkraut		Baumschicht	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %		
Dominierende Baumart	Abies alba	Strauchschicht	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %		
Humusform	Mullartiger Moder	Krautschicht	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %		
Bodentyp nach deutscher Klassifikation	Pseudogley-Parabraunerde	Moosschicht	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %		
Bodentyp nach schweizerischer Klassifikation	Pseudogley-Parabraunerde	Mittlerer Grundwasserstand	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> cm u. GOF		
Substrattyp / Ausgangsgestein	Decklehm	Stauwassereinfluss	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> cm u. GOF		
Festgesteinstyp / Gesteinsuntergrund	Hauptrogenstein	Ungehinderte Sickerung	<input type="checkbox"/>		
		Haftnässe	<input type="checkbox"/>		
		Stauwasser	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Grundwasser	<input type="checkbox"/>		
		Überflutungsbereich	<input type="checkbox"/>		
		Anstehender Fels (unter dem Humus)	<input type="checkbox"/>		
		Undurchlässige Felsfläche	<input type="checkbox"/>		
		Oberfläche mit künstlichen Elementen	<input type="checkbox"/>		
		Zuflussbereich (Z) / Abflussbereich (A)	<input type="checkbox"/> Z <input checked="" type="checkbox"/> A		
		Pflanzenverfügbare Gründigkeit	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> cm		

Profilskizze	Tiefe (cm)	Horiz.	Farbe	Bodenart			Skelett (%)	Gefüge	pH-Wert (aktuell)	Kalk (%)	Probe Nr.
				Sand (%)	Schluff (%)	Ton (%)					
	0-12	Ah <sub>1</sub>	10YR 3/4	10	60	30	14	kru	4,5	< 0,5	230/001
	12-20	Ah <sub>2</sub>	10YR 4/4	10	65	25	< 1	kru	4,5	0	230/01
	20-30	Al <sub>1</sub>	10YR 5/6-4/6	10	65	25	< 1	kru(-sub)	4+	0	230/11a
	30-40		10YR 5/6-4/6	10	60	30	0	kru(-sub)	4+	0	230/11b
	40-60	Sw-Bt	10YR 5/6-4/6	5	65	30	< 5	sub	4,5	0	230/12a
	60-100		10YR 5/6-4/6	5	60	35	< 2	sub	5	0	230/12b
	100-120	Sd-Bt	10YR 5/8	10	45	45	< 2	grobes sub	5+	0	230/13a
	120-140		10 YR 5/6-4/6	10	35	55	< 3	sub	5,5	0	230/13b
140-180	II Sd-Bv	10 YR 5/6-4/6	15	30	55	< 1	sub	5,5	0	230/14	

### Signaturen für die Profilskizzen

	Blattstreu lose		Sesquioxid- (u. Huminstoff) Anreicherung		Wurmrohren
	Blattstreu verklebt		Sesquioxidanreicherung verkrustet (Ortstein)		Kottaschen
	Nadelstreu		Kalkanreicherung diffus		Gänge von Bodendühlern
	OF-Horizont		Pseudomycel		Wurzeln (nur im Grenzbereich einzeichnen)
	OH-Horizont		Kalkkonkretionen		Trockenrisse Klüfte
	Ah-Horizont		Salzanreicherung		Steine, Kristallin
	Ap-Horizont		Fe- u. Mn-Konkretionen		Steine, Kalk + Mergel
	Humuseinschlüsse im Mineralboden		Verfäulung (Pseudogley) Nassbleichung		stark angewitterte Steine
	Torf		Rostfleckung (Pseudogley)		völlig verwitterte Steine
	Lessivierung		Wasserstand (+ Datum)		Ziegelsteine
	Sesquioxidauswaschung		Wasseraustritt in der Profilwand		verkohltes Holz
	Verbraunung		— scharf		grosse Wurzeln
	Tonanreicherung		- - - deutlich		Feinstwurzeln
			..... diffus		vermoderte Wurzeln

Profilphoto



Beschreibung des Gesamtprofils/Bemerkungen zur Genese

Bodenentwicklung in der schluffreicheren und besonders steinarmen Variante der Decklehme. Die Decklehme zeigen nicht alle die Gestalt und den typischen Aufbau von Grundmoränen. Im Quartär kam es lokal auch zu Ablagerungen von Flugsand und Löss sowie zu oberflächlichen kleinräumigen Verspülungen auf den welligen Plateauflächen. Dies prägte die Grundmoränen mit und hat sie in der späteren Würm-Kaltzeit auch verändert. Der Decklehm im Grossholz zeigt bis in 140 cm Tiefe trotz der durch Verspülung eingelagerten Steine mehr die Struktur und Eigenschaften von ursprünglich durch den Wind abgelagertem Material. Unter diesen Substratvoraussetzungen hat sich durch die Tonverlagerung eine mächtige und gut differenzierte Parabraunerde mit Stauwassereffekt ab 60 cm Tiefe entwickelt. Der obere Bodenbereich ist jedoch ausgesprochen locker und sehr gut durchlässig. Wasserstau vom Untergrund her fehlt völlig, weil der Decklehm direkt auf dem sehr durchlässigen Haupttrogenstein liegt. Der Boden ist deshalb stark durchwaschen und gehört mit aktuellen pH-Werten von 4,3 und potenziellen pH-Werten von 3,8 zu den sauersten Standorten im Baselbiet. Bedingt durch Aufbau, Kontext der Entstehung und bodenchemischen Zustand ein seltener Boden im Baselbiet.

Detailbeurteilung Wasserhaushalt

Feldkapazität 0-100 cm	4 0 0	mm
nutzbare Feldkapazität 0-100 cm	2 5 0	mm
nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes	3 3 0	mm
Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden		cm/d

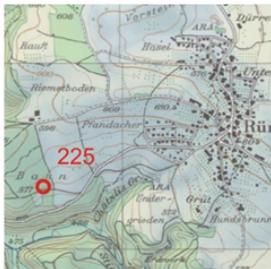
Auflagehumus

Horizontabfolge	Mächtigkeit (cm)	
L	2	1. Lage: grösstenteils Tannennadeln, grau bis schwarz, elastisch bis brüchig, lockere Lagerung; wenig Blattformen, Blattfragmente Grösse 1 cm, braun bis ausgebleicht, nicht verklebt, Blattadern; mit Aggregaten des Mineralbodens durchsetzt, Kotballen, kleine Äste. 2. Lage: Nadelkörner dunkelbraun bis schwarz mit Bodenaggregaten verklebt; Blattformen ausgebleicht, vereinzelt Blattfragmente Grösse 5 mm, braungrau, mit Mineralboden durchmischt. 3. Lage: Nadelresten, schwarz, klebrig, mit Mineralboden stark vermischt, vereinzelt Blattfragmente. 4. Lage: stark durchwurzelt, mattenartiges Wurzelgeflecht, schwarze Blatt- und Nadelfragmente, stark mit Mineralboden durchmischt.
Of	1	
Of	0,5	
Of-Oh	2	

Laboranalysen

									pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK (cmol <sub>c</sub> /kg)	Basensättigung (%)	Kalk	C org. (%)
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	Ton						
		0,63 - 2mm	0,2 - 0,63 mm	0,063 - 0,2 mm	20 - 63 µm	6,3 - 20 µm	2 - 6,3 µm	< 2 µm						
Ah <sub>1</sub>	0 - 1	1,8	2,5	5,8	23,6	25,7	10,6	30,0	4,9	4,1	-	-	0,1	10,3
Ah <sub>2</sub>	1 - 12	0,8	1,6	3,8	29,1	27,6	10,7	26,5	4,7	3,8	7,5	8	0,1	1,9
Al <sub>1</sub>	12 - 30	0,9	1,6	3,8	28,4	28,0	11,9	24,4	4,3	3,9	-	-	0,1	0,8
Al <sub>2</sub>	30 - 60	0,9	1,3	3,9	26,4	28,7	6,2	32,5	4,3	3,8	-	-	0,1	0,3
Sw-Bt	60 - 80	0,7	1,4	2,9	25,1	26,0	12,5	31,5	4,6	4,0	11,3	33	0,1	0,2
Sw-Bt	80 - 110	0,4	1,3	3,4	22,6	27,3	8,5	36,5	4,8	4,1	12,9	48	0,5	0,4
Sd-Bt	110 - 135	1,2	2,0	4,4	16,4	20,1	9,2	46,7	5,3	4,3	17,9	68	0,5	0,3
II Sd-Bt	135 - 175	0,2	1,8	4,0	14,8	13,6	8,3	56,7	5,4	4,3	-	-	0,5	0,8
II Sd-Bt	175 - 200	0,8	0,6	11,5	12,0	12,2	4,7	58,6	5,7	4,7	-	-	0,1	0,5

# Bodenprofil G8/2: Basenreiche Braunerde auf Gehängelehm

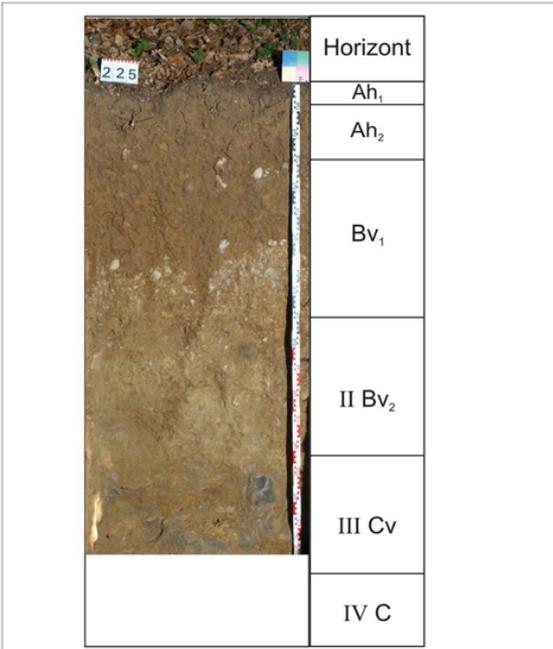
Nr. <input style="width:100%;" type="text" value="5808225"/>	BearbeiterIn <input style="width:100%;" type="text" value="P. Herbst, G. Paul"/>	Datum <input style="width:100%;" type="text" value="05.08.2008"/>
LK Nr. <input style="width:100%;" type="text" value="1088"/>	Koord. <input style="width:100%;" type="text" value="632586 / 253313"/>	
Naturraumbezeichnung <b>Tafeljurahochfläche</b>	Gemeinde <b>Rünenberg</b>	Flurbezeichnung <b>Bann</b>
Jahresmitteltemperatur <input style="width:100%;" type="text" value="8,4"/> °C	Jahresniederschlag <input style="width:100%;" type="text" value="1050"/> mm	
Höhe <input style="width:100%;" type="text" value="570"/> m	Hangneigung <input style="width:100%;" type="text" value="7"/> °	Hangneigungsrichtung <input style="width:100%;" type="text" value="115"/> °
Lage im Relief (Position)  Scheitelbereich <input type="checkbox"/> Ebener Scheitelbereich <input type="checkbox"/> Schwach geneigter Scheitelbereich <input type="checkbox"/> Hangbereich <input checked="" type="checkbox"/> Hangverflachung <input type="checkbox"/> Hangversteilung <input type="checkbox"/> Hangmulde <input type="checkbox"/> muldenförmige Hangrinne <input type="checkbox"/> kerbförmige Hangrinne <input type="checkbox"/> Senkenbereich <input type="checkbox"/> Ebener Senkenbereich <input type="checkbox"/> Geneigter Senkenbereich <input type="checkbox"/>  Geschlossene Hohlform <input type="checkbox"/>  Ebene <input type="checkbox"/>  Sonstige..... <input type="checkbox"/>	Reliefformtyp  Horizontalwölbung konvex <input type="checkbox"/> gestreckt <input type="checkbox"/> konkav <input checked="" type="checkbox"/> Vertikalwölbung konkav <input type="checkbox"/> gestreckt <input type="checkbox"/> konvex <input type="checkbox"/>	Kartenausschnitt 
		Relative Höhe <input style="width:100%;" type="text" value="85"/> m Bezug der relativen Höhe auf Chrintalbach Distanz zu Hangoberkante, <u>Kuppe</u> , Kamm <input style="width:100%;" type="text" value="350"/> m
Waldgesellschaft <input style="width:100%;" type="text" value="7j"/>  Typischer Waldmeister-Buchenwald mit Lungenkraut	Bodenbedeckungsgrad Baumschicht <input style="width:100%;" type="text" value="70"/> % Strauchschicht <input style="width:100%;" type="text" value="5"/> % Krautschicht <input style="width:100%;" type="text" value="50"/> % Mooschicht <input style="width:100%;" type="text" value="&lt;1"/> %	
Dominierende Baumart <input style="width:100%;" type="text" value="Fagus sylvatica"/>	Mittlerer Grundwasserstand <input style="width:100%;" type="text" value="- - -"/> cm u. GOF Stauwassereinfluss <input style="width:100%;" type="text" value="- - -"/> cm u. GOF	
Humusform <input style="width:100%;" type="text" value="F-Mull"/>	Ungehinderte Sickerung <input checked="" type="checkbox"/> Haftnässe <input type="checkbox"/> Stauwasser <input type="checkbox"/> Grundwasser <input type="checkbox"/> Überflutungsbereich <input type="checkbox"/> Anstehender Fels (unter dem Humus) <input type="checkbox"/> Undurchlässige Felsfläche <input type="checkbox"/> Oberfläche mit künstlichen Elementen <input type="checkbox"/> Zuflussbereich (Z) / Abflussbereich (A) <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Pflanzenverfügbare Gründigkeit <input style="width:100%;" type="text" value="130"/> cm	
Bodentyp nach deutscher Klassifikation <input style="width:100%;" type="text" value="basenreiche Braunerde"/>	Substrattyp / Ausgangsgestein <input style="width:100%;" type="text" value="Gehängelehm"/>	
Bodentyp nach schweizerischer Klassifikation <input style="width:100%;" type="text" value="basenreiche Braunerde"/>	Festgesteinstyp / Gesteinsuntergrund <input style="width:100%;" type="text" value="Hauptrogenstein, Spatkalk"/>	

Profilskizze	Tiefe (cm)	Horiz.	Farbe	Bodenart			Skelett (%)	Gefüge	pH-Wert (aktuell)	Kalk (%)	Probe Nr.
				Sand (%)	Schluff (%)	Ton (%)					
	0-20	Ah <sub>1</sub>	10YR 3/3	10	55	35	< 2	kru (-kot)	6,5	< 0,5	225/01
	20-25	(Ah) <sub>2</sub>	10YR 5/4	10	55	35	< 3	sub	6	< 0,5	225/11
	25-40	Bv <sub>1</sub>	10YR 4/4	10	45	45	< 2	grobes sub	7,0	< 0,5	225/12a
	40-60		10YR 4/4	10	35	55	< 5	sub	7,5	< 0,5	225/12b
	60-100	II Bv <sub>2</sub>	10YR 5/4-5/6	25	40	35	50	feines sub	8+	20	225/13
100-155	III Cv	2.5 Y 5/4-5/6	20 20 (in Taschen)	55 50	25 30	20	sub	8,5	25	225/14	
155-160		10 YR 5/6-4/6 (in Taschen)									
160-200	IV C	2.5 Y 5/3-5/4 10 YR 5/8 (rote Stellen)					Fest-gestein				

### Signaturen für die Profilskizzen

	Blattstreu lose		Sesquioxid- (u. Huminstoff) Anreicherung		Wurmrohren		
	Blattstreu verklebt		Sesquioxidanreicherung verkrustet (Ortstein)		Kottaschen		
	Nadelstreu		Kalkanreicherung diffus		Gänge von Bodenkünlern		
	OF-Horizont		Pseudomycel		Wurzeln (nur im Grenzbereich einzeichnen)		
	OH-Horizont		Kalkkonkretionen		Trockenrisse Klüfte		
	Ah-Horizont		Salzanreicherung		Steine, Kristallin		
	Ap-Horizont		Fe- u. Mn-Konkretionen		Steine, Kalk + Mergel		
	Humuseinschlüsse im Mineralboden		Verfahlung (Pseudogley) Nassbleichung		stark angewitterte Steine		
	Torf		Rostfleckung (Pseudogley)		völlig verwitterte Steine		
	Lessivierung		Wasserstand (+ Datum)		Ziegelsteine		
	Sesquioxidauswaschung		Wasseraustritt in der Profilwand		verkohltes Holz		
	Verbraunung				Mauseloch		
	Tonanreicherung				Sandstein		
Horizontgrenzen:			scharf		deutlich		diffus

Profilphoto



Beschreibung des Gesamtprofils/Bemerkungen zur Genese

Der Boden ist auf einem ausgeprägt und in typischer Weise geschichteten Gehängelehm entstanden. Der starke Wechsel im Steinanteil und der Eiskeil im skelettreichen Horizont von 70 -110 cm Tiefe deuten auf periglaziale Entstehung der Deckschicht in der letzten Kaltzeit. Es handelt sich um die lehmreiche Variante der Deckschichten im Jura. Ein sehr nährstoffreicher und wegen der guten Durchlässigkeit wasserhaushaltlich ausgeglichener Boden. Die hohen Tongehalte bis 60 cm schränken das pflanzenverfügbare Wasser ein. Die Mächtigkeit der Deckschicht von 150 cm und die Begrenzung hoher Skelettgehalte auf den Mittelbereich bedingen jedoch eine überdurchschnittlich gute Wasserversorgung.

Detailbeurteilung Wasserhaushalt

Feldkapazität 0-100 cm	<input type="text" value="2"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/>	mm
nutzbare Feldkapazität 0-100 cm	<input type="text" value="7"/> <input type="text" value="5"/>	mm
nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="5"/>	mm
Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden	<input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/>	cm/d

Auflagehumus

Horizont-abfolge	Mächtigkeit (cm)	
L	1	1. Lage: Rotbuchen- und Stieleichenblätter, dunkelbraun verfärbt, teilweise punktiert, Blattspreiten rissig, Blätter an den Rändern unregelmässig eingekerbt und rissig; lockere Lagerung; ausgebleichene Äste. 2. Lage: Blätter teilweise fragmentiert, teilweise nur Blattadern vorhanden, dunkelbraun, grau und ausgebleicht, stark punktiert, löchrig, verklebt; 3. Lage: Blattfragmente, starke Skelettierung, dunkelbraun bis grau, durch organische Substanz miteinander verklebt, mit Mineralboden durchmisch; Durchwurzelung mit Feinstwurzeln; Pilzfäsern.
Of	2	
Of	2,5-3	

Laboranalysen

									pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK (cmol <sub>c</sub> /kg)	Basensättigung (%)	Kalk	C org. (%)
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	Ton						
		0,63 - 2mm	0,2 - 0,63 mm	0,063 - 0,2 mm	20 - 63 µm	6,3 - 20 µm	2 - 6,3 µm	< 2 µm						
Ah <sub>1</sub>	0 - 2	1,0	2,5	5,3	21,9	22,2	11,8	35,3	6,4	5,8	28,3	94	0,2	8,8
Ah <sub>2</sub>	2 - 25	1,2	2,5	5,0	21,6	22,6	11,7	35,5	5,9	4,7	17,0	89	0,1	1,8
Bv <sub>1</sub>	25 - 40	0,7	1,5	3,7	16,3	19,3	11,6	47,0	7,0	6,4	25,1	99	0,1	0,9
Bv <sub>1</sub>	40 - 70	1,1	1,6	4,5	12,2	16,0	8,9	55,6	7,4	6,6	30,1	99	0,1	0,7
II Bv <sub>2</sub>	70 - 110	5,9	7,4	9,7	13,5	16,9	10,8	35,9	8,3	7,4	-	100	19,4	0,4
III Cv	110 - 155	4,3	6,4	9,8	13,7	26,8	14,9	24,0	8,4	7,5	-	100	25,3	0,3
IV C	155 - 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

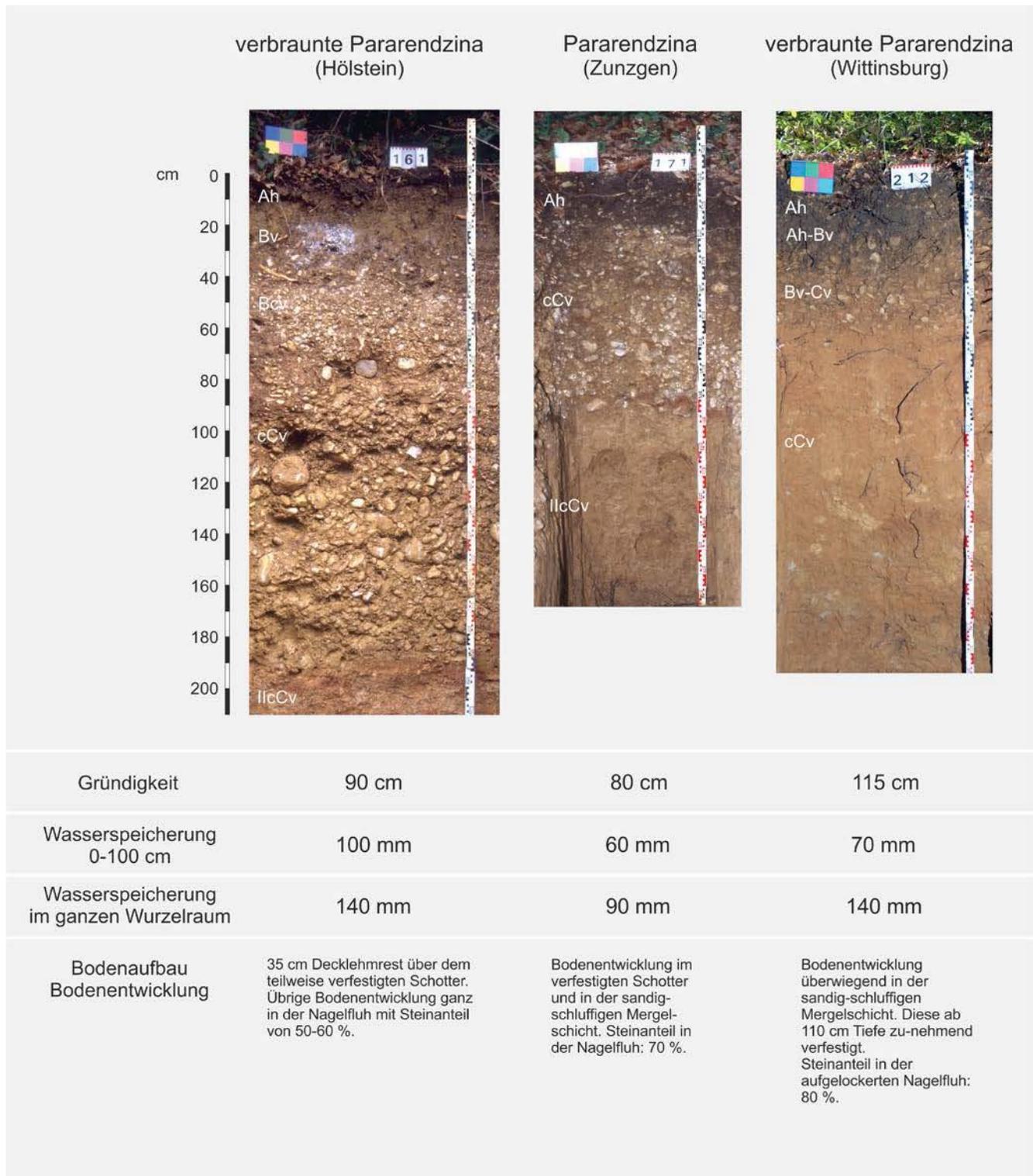
## Böden auf Juranagelfluh

Die Juranagelfluh ist eine nur teilweise verfestigte Schotterablagerung (Konglomerat) mit mergeligen Zwischenlagen. Das feine Material zwischen den Geröllen besteht häufig aus 35-60 % Sand, 20-30 % Schluff und 20-35 % Ton und enthält mindestens 40 % Kalk. Die Juranagelfluh kommt im Tafeljura in sehr unterschiedlichen Mächtigkeiten vor, von kaum einem Meter messenden Erosionsresten bis mehreren Zehnermetern. An der Oberfläche erscheint meistens zunächst eine Konglomeratschicht, weil diese widerstandsfähiger gegen die Erosion ist und deshalb als „Deckel“ über den weniger widerstandsfähigen Mergellagen erhalten geblieben ist. Diese oberste Schicht aus Geröllen zeigt jedoch sehr unterschiedliche Mächtigkeit. Deshalb sind die Böden auf Juranagelfluh auch verschieden aufgebaut (Abb. 4).

Über dem variierenden Aufbau stehen jedoch gemeinsame Eigenschaften:

- Es entwickeln sich stets Pararendzinen und verbraunte Pararendzinen, d.h. kalkhaltige A-C-Böden in nicht verfestigtem Gestein. Wenig mächtige Bv-Horizonte gibt es nur, wenn über der Juranagelfluh ein geringfügiger Hang- oder Decklehmrest liegt (linkes Profil auf Abb. 4).
- Der Bodenaufbau ist hauptsächlich durch die Schichtung im Gestein bestimmt (Geröllschichten und Mergellagen).
- Der Bodenkörper ist in diesem nur teilweise verfestigten Gestein im Allgemeinen gut durchwurzelbar.
- Der Steinanteil in der Konglomeratschicht liegt zwischen 50-80 %.
- Sandiger Lehm charakterisiert die Zusammensetzung des Feinbodens in den oberen Horizonten.
- Die Böden sind bis oder nahe an die Oberfläche kalkhaltig (ausser in geringfügigen Deck- oder Hanglehmresten).
- Der Ah-Horizont ist neutral oder ganz leicht versauert (ausser in Deck- oder Hanglehmresten), der Cv-Horizont schwach alkalisch.

Erhebliche Unterschiede gibt es bei der Gründigkeit und bei der Wasserspeicherung. Der Anteil des Bodens, der sich im Konglomerat aus Geröllen entwickelt hat, bestimmt beide Eigenschaften. Liegt der Bodenkörper überwiegend im sandig-schluffigen Mergel (rechtes Profil auf Abb. 4, Profil G8/3), ist die Wasserspeicherkapazität rund 50 % höher als in Pararendzinen mit Dominanz des Geröllkörpers. Hang- und Decklehmreste über der Juranagelfluh erhöhen natürlich die Wasserspeicherkapazität. Die Pararendzinen auf Juranagelfluh speichern zwei- bis viermal mehr Wasser als die Rendzinen auf Kalkfels. Als Waldstandorte neigen sie also deutlich weniger zu Trockenheit. Die ackerbauliche Qualität ist durch die Steingehalte eingeschränkt. Böden auf Juranagelfluh erreichen nur Bodenzahlen von etwa 55-60.



Gründigkeit: Durchwurzelbares Bodenvolumen  
 Wasserspeicherung:  
 Pflanzenverfügbares Wasser (nutzbare Feldkapazität)

Ah: Humushaltiger Horizont  
 Ah-Bv: Humushaltiger, lehmiger Übergangshorizont  
 Bv: Brauner, lehmiger Bodenhorizont  
 Bcv: Brauner, lehmiger Bodenhorizont mit nachträglicher Kalkanreicherung  
 Bv-Cv: Übergangshorizont zum verwitternden Gestein  
 cCv: kalkhaltiges, verwitterndes Gestein

Abb. 4: Bodenvarianten auf Juranagelfluh

Bodenprofil G8/3: Verbraunte Pararendzina auf Juranagelfluh

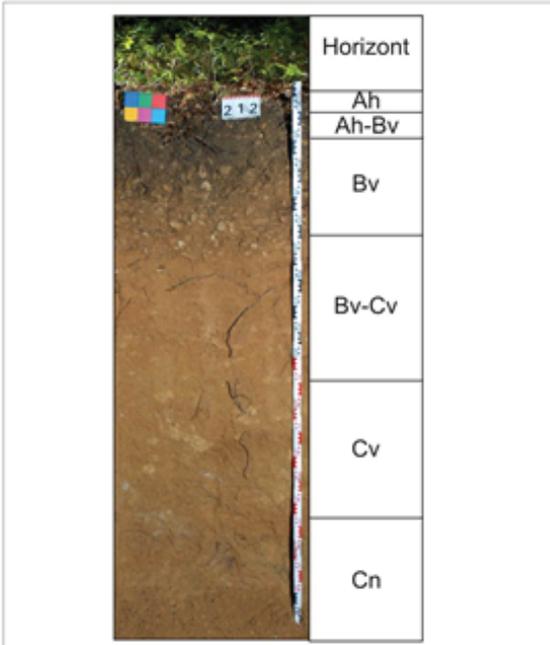
Nr.	7 0 0 7 2 1 2	BearbeiterIn	Fracek/Schutt	Datum	19.09.2007
LK Nr.	1068	Koord.	6 2 9 8 4 2 / 2 5 4 3 5 3		
Naturraumbezeichnung	Tafeljurahochfläche	Gemeinde	Wittinsburg	Flurbezeichnung	N Asp
Jahresmitteltemperatur	8,1 °C	Jahresniederschlag	1 0 5 0 mm		
Höhe	6 2 0 m	Hangneigung	6,5 °	Hangneigungsrichtung	3 2 5 °
Lage im Relief (Position)		Reliefformtyp		Kartenausschnitt	
Scheitelbereich Ebener Scheitelbereich Schwach geneigter Scheitelbereich <input checked="" type="checkbox"/>		Horizontalwölbung konvex gestreckt konkav Vertikalwölbung konvex gestreckt konkav			
Hangbereich Hangverflachung Hangversteilung Hangmulde muldenförmige Hangrinne kerbförmige Hangrinne		<input checked="" type="checkbox"/>			
Senkenbereich Ebener Senkenbereich Geneigter Senkenbereich					
Geschlossene Hohlform Ebene Sonstige.....				Relative Höhe <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> m Bezug der relativen Höhe auf Homburgerbach in nordöstlicher Richtung Distanz zu Hangoberkante, <u>Kuppe</u> , Kamm <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="0"/> m	
Waldgesellschaft <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="e"/> Waldmeister-Buchenwald mit Hornstrauch		Bodenbedeckungsgrad Baumschicht <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> % Strauchschicht <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> % Krautschicht <input type="text" value="2"/> % Moosschicht <input type="text" value="0"/> %			
Dominierende Baumart <input type="text" value="Fagus sylvatica"/>		Mittlerer Grundwasserstand <input type="text" value="-"/> <input type="text" value="-"/> <input type="text" value="-"/> cm u. GOF Stauwassereinfluss <input type="text" value="-"/> <input type="text" value="-"/> <input type="text" value="-"/> cm u. GOF			
Humusform <input type="text" value="F-Mull"/>		Ungehinderte Sickerung <input checked="" type="checkbox"/>			
Bodentyp nach deutscher Klassifikation <input type="text" value="Verbraunte Pararendzina"/>		Haftnässe <input type="checkbox"/> Stauwasser <input type="checkbox"/> Grundwasser <input type="checkbox"/> Überflutungsbereich <input type="checkbox"/> Anstehender Fels (unter dem Humus) <input type="checkbox"/> Undurchlässige Felsfläche <input type="checkbox"/> Oberfläche mit künstlichen Elementen <input type="checkbox"/> Zuflussbereich (Z) / Abflussbereich (A) <input type="text" value="Z"/> <input type="text" value="A"/> Pflanzenverfügbare Gründigkeit <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="5"/> cm			
Bodentyp nach schweizerischer Klassifikation <input type="text" value="karbonathaltiger, verbraunter"/>					
Substrattyp / Ausgangsgestein <input type="text" value="Kalksteinkonglomerat auf tertiärem Schluffmergel"/>					
Festgesteinstyp / Gesteinsuntergrund <input type="text" value="Juranagelfluh"/>					

Profilskizze	Tiefe (cm)	Horiz.	Farbe	Bodenart			Skelett (%)	Gefüge	pH-Wert (aktuell)	Kalk (%)	Probe Nr.
				Sand (%)	Schluff (%)	Ton (%)					
	7	Ah	10 YR 3/3	25	30	45	3	Kru	7,5	<1	212/1
	20	Ah-Bv	10 YR 4/3	25	30	45	80	Sub	8	1	212/2
	40										
	55-61	Bv	7.5 YR 4/4-4/6	30	35	35	80	Sub	8	10	212/3
	60										
	80	Bv-Cv	7.5 YR 5/6	35	40	25	5	Sub	8,5	45	212/4A
100											
109 - 117	Cv	7.5 YR 6/6-5/6	30	45	25	0	-	8,5	40	212/5	
120											
140	Cn	10 YR 5/6	-	-	-	-	-	-	-	-	
156 - 165											
160	Cn	10 YR 5/6	-	-	-	-	-	-	-	-	
180											
200	Cn	10 YR 5/6	-	-	-	-	-	-	-	-	
200											

Signaturen für die Profilskizzen

- |  |                                  |  |  |  |   |
|--|----------------------------------|--|--|--|---|
|  | Blattstreu lose                  |  | Sesquioxid- (u. Huminstoff) Anreicherung     |  | Wurmrohren                                |
|  | Blattstreu verklebt              |  | Sesquioxidanreicherung verkrustet (Ortstein) |  | Kottaschen                                |
|  | Nadelstreu                       |  | Kalkanreicherung diffus                      |  | Gänge von Bodendühlern                    |
|  | OF-Horizont                      |  | Pseudomycel                                  |  | Wurzeln (nur im Grenzbereich einzeichnen) |
|  | OH-Horizont                      |  | Kalkkonkretionen                             |  | Trockenrisse Klüfte                       |
|  | Ah-Horizont                      |  | Salzanreicherung                             |  | Steine, Kristallin                        |
|  | Ap-Horizont                      |  | Fe- u. Mn-Konkretionen                       |  | Steine, Kalk + Mergel                     |
|  | Humuseinschlüsse im Mineralboden |  | Verfahlung (Pseudogley) Nassbleichung        |  | stark angewitterte Steine                 |
|  | Torf                             |  | Rostfleckung (Pseudogley)                    |  | völlig verwitterte Steine                 |
|  | Lessivierung                     |  | Wasserstand (+ Datum)                        |  | Ziegelsteine                              |
|  | Sesquioxidauswaschung            |  | Wasseraustritt in der Profilwand             |  | verkohltes Holz                           |
|  | Verbraunung                      |  |  |  |   |
|  | Tonanreicherung                  |  |  |  |   |
- Horizontgrenzen: — scharf    - - - deutlich    ······ diffus

Profilphoto



Beschreibung des Gesamtprofils/Bemerkungen zur Genese

Bodenvariante in der Juranagelfluh bei der nur 50-60 cm des Bodenkörpers im Kalksteinkonglomerat liegt. Darunter folgt der tertiäre Schluffmergel, der durch die Verwitterung bis in ca. 130 cm Tiefe aufgelockert wurde und damit gut durchlässig und gut durchwurzelbar ist. In der Feinbodenmatrix der Konglomeratschicht ist der Boden bis 20 cm Tiefe nahezu entkalkt, darunter bis zum tertiärem Schluffmergel teilweise. Standortlich entspricht die Situation typischen Braunerde-Rendzinen auf Gehängeschutten. Der nah an die Oberfläche reichende tertiäre Schluffmergel führt jedoch zu einer wesentlich besseren Wasserspeicherung. Im Vergleich zu anderen Juranagelfluh-Standorten liegt die nutzbare Feldkapazität etwa 50% höher. Im untersuchten Bereich wechselt der Tiefenanteil des Konglomerates im Vergleich zum Schluffmergel stark. Zum Teil liegt der ganze Wurzelraum im Konglomerat.

Detailbeurteilung Wasserhaushalt

Feldkapazität 0-100 cm	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="5"/>	mm
nutzbare Feldkapazität 0-100 cm	<input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/>	mm
nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="0"/>	mm
Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	cm/d

Auflagehumus

Horizont-abfolge	Mächtigkeit (cm)	10 Kothaufen pro 1m <sup>2</sup>
L-Of	2	2-0,5 cm: - Mehrere Lagen von leicht bis stärker zerrütteten Buchenblättern - Vereinzelt Blattreste von Buchenblättern (1-3 cm Länge) - Vereinzelt schwärzlich verfärbte, leicht verweste Buheckernhülsen
Of		0,5-0 cm: - Stark zerrüttete Blattreste von Buchenblättern (bis 0,5 cm Länge) - Vereinzelt Samen, Buheckernhülsenreste und stark zersetzte Buheckern - Vereinzelt Nadelstreu Of-Horizont stark mit Ah-Horizont vermischt

Laboranalysen

									pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK (cmol <sub>c</sub> /kg)	Basensättigung (%)	Kalk	C org. (%)
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	Ton						
		0,63 - 2mm	0,2 - 0,63 mm	0,063 - 0,2 mm	20 - 63 µm	6,3 - 20 µm	2 - 6,3 µm	< 2 µm						
Ah	0 - 7	2,3	11,9	12,0	13,6	9,4	7,1	43,7	7,7	7,0	-	100	<0,5	4,8
Ah-Bv	7 - 20	3,3	12,4	11,4	12,5	8,6	7,4	44,4	8,0	7,3	-	100	0,8	4,0
Bv	30 - 50	4,7	13,6	12,0	18,6	8,8	6,7	35,6	8,3	7,6	-	100	9,8	2,0
Bv-Cv	70 - 80	0,2	9,7	23,3	16,7	13,3	12,3	24,6	8,6	7,7	-	100	44,0	0,3
Cv	90 - 100	0,1	7,3	21,4	17,9	13,7	11,0	28,7	8,7	7,8	-	100	40,4	0
Cn	130 - 140	0,2	3,8	24,8	21,6	11,7	10,8	27,1	8,7	7,8	-	100	39,8	0,6

## Wasserspeicherung in den Waldböden der Nordwestschweiz

Die Zusammensetzung des Feinbodens variiert in den Waldböden der Nordwestschweiz in einem weiten Bereich. Mit Ausnahme der Böden auf Schotter enthalten sie aber stets mindestens 30 % Schluff. Somit fehlen sandig-tonige und stark sandige Böden weitgehend. Im Wesentlichen lassen sich bezogen auf die Wasserspeicherfähigkeit im Feinboden drei Gruppen unterscheiden:

- Lehmbestimmte Böden: Volumenanteil der Mittelporen ca. 12-17 %.
- Schluffbestimmte Böden: Volumenanteil der Mittelporen ca. 22-26 %.
- Lehmig-sandige Böden: Volumenanteil der Mittelporen ca. 18-21 %.

Die an Mittelporen reichen schluffbestimmten Böden aus Löss und teilweise Decklehm mit einem Schluffanteil von 55 bis 75 % sind gleichzeitig die tiefgründigen und vollständig oder nahezu steinfreien Böden. Das Spektrum der Wasserspeicherfähigkeit ist deshalb sehr gross. Die besten Waldböden im Löss speichern 10 bis 15 mal mehr pflanzenverfügbares Wasser als die flachgründigsten Böden auf Kalkstein (Abb. 5). Dies wirkt sich fundamental auf die Wasserversorgung in Trockenperioden aus.

Im Jura ist der Feinboden fast immer lehmig. Aus der Bodenart alleine ergeben sich also keine grossen Unterschiede beim Wasserspeichervermögen. Die Speicherfähigkeit hängt hier primär vom Skelettgehalt und von der Gründigkeit ab. Die Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser nimmt von circa 20 mm bei sehr flachgründigen und sehr stark steinhaltigen Böden auf über 200 mm nFK bei tiefgründigen und skelettarmen Böden zu. Gründigkeit und Stein-gehalt hängen zudem zusammen. Flachgründige Böden sind häufig stark steinhaltig und nur ausnahmsweise zuoberst skelettarm. Tiefgründige Böden enthalten auch auf den Gehängeschutten im Jura im Durchschnitt nur selten mehr als 50 % Skelett. Deshalb steigt die Speicherfähigkeit mit zunehmender Gründigkeit im Allgemeinen stark an (Abb. 6).

Abb. 5 präsentiert die Übersicht zur Wasserversorgung der Waldböden im Baselbiet. Mit Ausnahme der Rendzinen und eingeschränkt auch

der tonreichen Pelosole sind die zu den einzelnen Typen gehörenden Böden vielfältig im Aufbau. Deshalb variiert die Wasserspeicherkapazität erheblich und lässt sich nur mit einem Wertebereich Minimum/Maximum gut charakterisieren.

Die flachgründigen Rendzinen auf der einen Seite und die Pararendzinen und Braunerden im Löss auf der andern Seite bilden die Extrema. Erstere haben nur minime Wasserreserven, Letztere können auch extreme, lange dauernde Trockenperioden überbrücken. In flachgründigen Fels-Rendzinen, die vor allem auf Kämmen, Kuppen und Hangrücken vorkommen, steht der Kalk schon in 15-20 cm Tiefe an und der direkt auf dem Fels liegende Humushorizont enthält stets Steine. Das wasserspeichernde Feinerdevolumen ist also sehr gering. Pararendzinen und Braunerden auf Löss finden sich nur auf einzelnen Hangabschnitten, wo der Boden unter früherer landwirtschaftlicher Nutzung stark abgetragen wurde. Die sehr hohen Wasserspeicherwerte resultieren aus der extremen Tiefgründigkeit und den hohen Schluffanteilen im Feinboden von bis zu 80 %.

In den „normalen“ Fels-Rendzinen liegt eine 30-50 cm mächtige Verwitterungsschicht über dem Kalkfels. Deshalb besitzen sie ein grösseres Feinmaterialvolumen und entsprechend höhere Speicherkapazität als die flachgründige Variante. Breit ist das Spektrum der gespeicherten Wassermengen von den Schutt-Rendzinen bis zu den Braunerden. Hier gibt es grosse Unterschiede bei den Mächtigkeiten und Steingehalten. Kalkbraunerden enthalten jedoch stets weniger Steine als die Schutt-Rendzinen und stark verbräunten Rendzinen. Deshalb speichern sie deutlich mehr Wasser. Bei den Braunerden ist die Situation ähnlich, das Wertespektrum jedoch noch grösser. Die tiefen Werte von 70 mm nutzbarer Feldkapazität stammen von den sauren Braunerden auf Rheinschottern mit ihrem hohen Kiesgehalt. Die hohen Werte beider Böden von 170-180 mm gelten für Standorte mit mächtigen Böden, wo die Wurzeln im tieferen Unterboden zusätzlich Wasser erschliessen können.

Pelosole liegen im mittleren Bereich der Wasserversorgung. Die Speicherkapazität überschreitet 150-160 mm prinzipiell nicht, weil bei Tonanteilen

von bis zu 50 % der Anteil des nicht pflanzenverfügbaren Bodenwassers (das sog. Totwasser) bis zu drei Viertel des gesamten gespeicherten Wassers ausmacht. Pseudogley-Parabraunerden speichern grundsätzlich viel Wasser. Da wegen

der Tonanreicherung im Unterboden der erschliessbare Wurzelraum unterschiedlich gross ist, variieren die Werte aber zwischen 160 und 250 mm nFK.

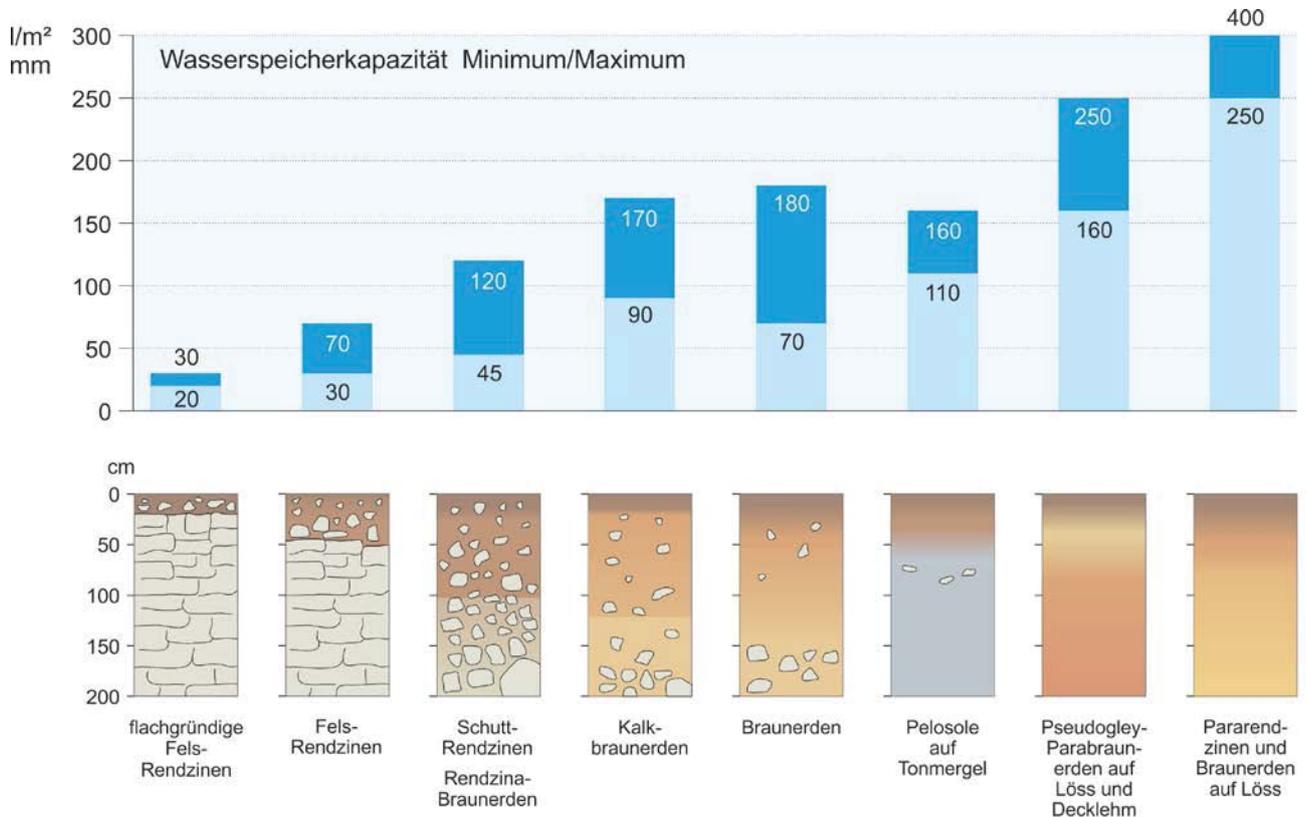


Abb. 5: Wasserspeicherkapazität der Waldböden in der Nordwestschweiz

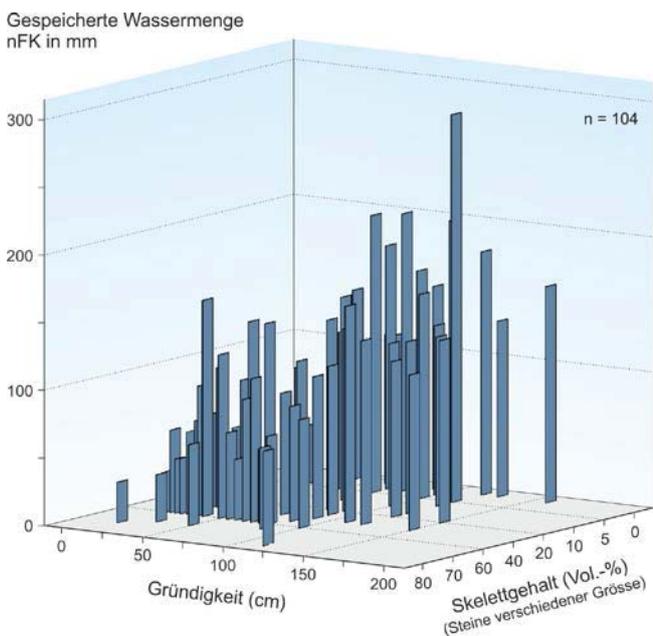


Abb. 6: Nutzbare Feldkapazität in Abhängigkeit von Gründigkeit und Skelettgehalt (104 Waldböden der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt).



Der Gemeinderat  
lädt ein

## Willkommen in Lauwil

Wie funktioniert die Gemeindedemokratie in der Schweiz? Wie bewältigen kleine Gemeinden die Vielfalt der heutigen Herausforderungen? Wie laufen die direktdemokratischen Entscheidungsprozesse ab und wo liegen die Chancen und Grenzen der vielfältigen demokratischen Partizipationsmöglichkeiten auf Gemeindeebene? Wir laden Sie im Rahmen Ihrer wissenschaftlichen Exkursion im Baselbieter Jura gerne zu einem kleinen Ausflug in unsere politische Kultur ein.

Der Kanton Basel-Landschaft ist politisch sehr kleinteilig organisiert. Er besteht auf einer Fläche von rund 500 km<sup>2</sup> aus 86 eigenständigen Gemeinden. Deren Grösse variiert gewaltig von 150 bis 20'000 Einwohnern. Alle Gemeinden haben grundsätzlich die gleichen vielfältigen Aufgaben. Die Bedingungen und Strategien zu deren Bewältigung sind in einer kleinen Gemeinde natürlich ganz anders als in einer Grossen.

Lauwil gehört mit rund 330 Einwohnerinnen und Einwohnern zu den sehr kleinen Gemeinden in der Schweiz. Von den landschaftlichen Bedingungen her ist es eine Berggemeinde und liegt in der Region Basel peripher. Einem kleinen Dorf steht eine grosse Gemeindefläche gegenüber. Die aktive Dorfbevölkerung legt grossen Wert auf Eigenständigkeit und will im Rahmen der heutigen Bedingungen und Möglichkeiten selbstbestimmt in die Zukunft gehen.

Wir stellen Ihnen gerne vor, wie unsere Gemeinde organisiert ist, wie der politische Alltag abläuft und wie die Entscheidungsfindung im Zusammenwirken von Gemeinderat und Gemeindeversammlung funktioniert. An den Beispielen Wasserversorgung und Strassenbau demonstrieren wir Ihnen die vielen Schritte des direktdemokratischen Entscheidungsprozesses.

Im Anschluss an die Vorstellung des schweizerischen Milizsystems mit seiner Philosophie und seinen Mechanismen der Gestaltung des Gemeinwesens laden wir Sie zu einem Empfang ein. Dabei bestehen Gesprächsmöglichkeiten mit Behördenmitgliedern.

Im Namen des Gemeinderates

Thomas Mosimann  
Gemeindepräsident



# Gemeinde Lauwil

## Kanton Basel-Landschaft

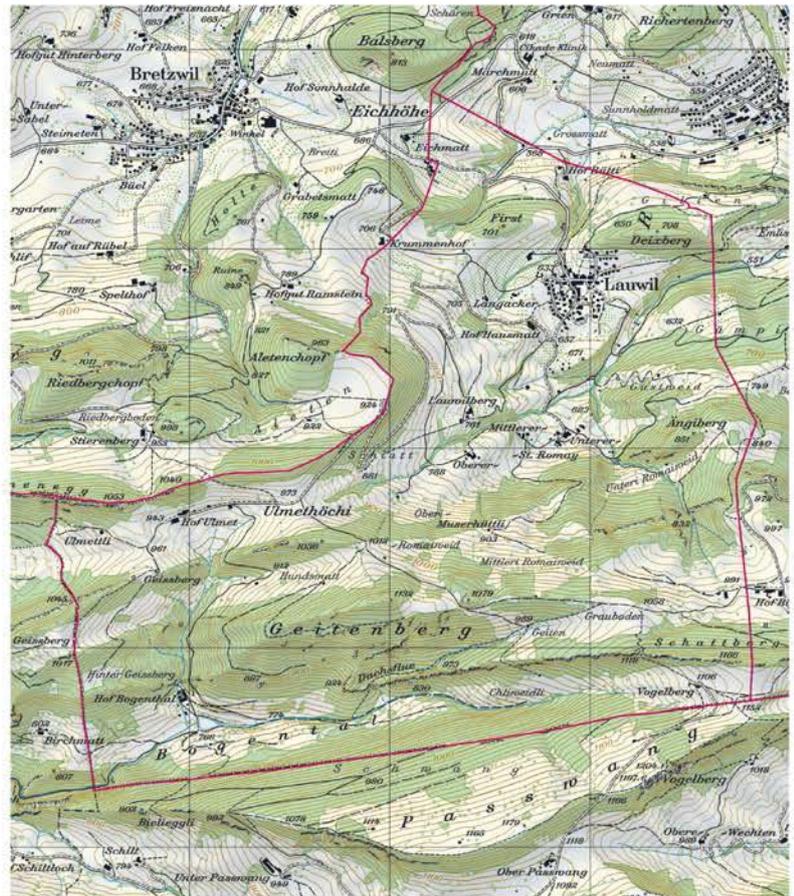
*Mir säage Louel*



Das Dorf Lauwil liegt zuhinterst im Tal der Hinteren Frenke auf 630-650 m Höhe. Die Gemeinde besteht aus dem Dorf selbst und zehn Aussenhöfen. Lauwil ist eine dünn besiedelte Berggemeinde und reicht bis auf die Kämme des Kettenjuras. Das gesamte Gemeindegebiet steht unter Landschafts- oder Naturschutz.

Fläche: 7.27 km<sup>2</sup> Einwohnerzahl: 325 (Dezember 2018)  
 Einwohner pro km<sup>2</sup>: 45 (zum Vergleich Kanton Basel-Stadt: 5'420)

Tiefster Punkt: 568 m (Marchschürli)  
 Höchster Punkt: 1'166 m (Schattbergkamm)  
 Aussichtspunkt: Hohwacht (1'060 m)  
 Wald: 360 ha (49.5 %)  
 Landwirtschaft: 346 ha (47.6 %)  
 Siedlungen: 19 ha (2.6 %)  
 Anzahl Landwirtschaftsbetriebe: 8  
 Milchwirtschaft, Aufzucht, Pferdehaltung,  
 Obstbau  
 Eigene Wasserversorgung mit ergiebigen  
 Quellwasserreserven



Bevölkerungsstruktur:  
 (2017) 0-19 Jahre: 22 %  
 20-64 Jahre: 57 %  
 65 Jahre und älter: 21 %  
 Ausländeranteil: 7.3 %

Eigene Primarschule (zur Zeit 32 Kinder)  
 Gemeindesteuerfuss: 60 % (BL: 42-68 %)  
 Anzahl Gemeindeangestellte: 1.7  
 Gewerbe: Holzbau, Hoch- und Tiefbau  
 Gastronomie/Treffpunkte: Restaurant Vogelberg  
 Kaffi Time out  
 Sieben aktive Dorfvereine

Gemeindeverwaltung, 4426 Lauwil; Tel. 061 941 21 21. [gemeinde@lauwil.ch](mailto:gemeinde@lauwil.ch)  
 Januar 2019

# G-13: Rückblick auf die Erfahrungen bei der Bewertung und Beanspruchung von Böden beim Infrastrukturbau

Petra Hellemann<sup>1</sup>, Peter Brügger<sup>2</sup>, Gaby von Rohr<sup>3</sup>, Matias Laustela<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), <sup>2</sup>Solothurner Bauernverband (SOBV), <sup>3</sup>Amt für Umwelt Kanton Solothurn, <sup>4</sup>Bodenkundlicher Baubegleiter BGS, Basler & Hofmann AG, Geschäftsstelle der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz BGS

---

## Einleitung

Der Bau der Neubaustrecke in einer von der Eisenbahn mehr oder weniger unberührten Landschaft des Wasseramts war eine regional- und umweltpolitisch heikle Aufgabe mit vielen technischen Herausforderungen. Ein beträchtlicher Teil der zwischen 1995 und 2004 erstellten Bahnstrecken verlaufen in Einschnitten und Tunneln, um so den Auflagen wie Landschaftschutz und Erhaltung der Bodenressourcen Rechnung zu tragen.

Der Bau von Infrastrukturprojekten führt zu veränderten Eigentumsverhältnissen und zu veränderten Bodeneigenschaften. Im Rahmen des Bauprojekts kam es deshalb zu umfangreichen Landumlegungen. Als Grundlage für den Landwerb wurden Bodenkarten erstellt, die Böden bewertet und in einem meliorationsrechtlichen Verfahren den Bewirtschaftern und Eigentümern neu zugeteilt.

Bei der Erstellung des Bahntrassees wurden grosse Landwirtschaftsflächen temporär von den Baustellen beansprucht und der Nutzung entzogen. Die Beanspruchung dieser Flächen als Installationsplätze, Lagerflächen, Baupisten oder Baugruben erforderte bodenschützerische Massnahmen während der Bauzeit und bei der Wiederherstellung und auch bei der Rückgabe an die Bewirtschafter. Für die Nachsorgephase der beanspruchten Landwirtschaftsflächen wurden projektspezifische und mit den Fachbehörden abgestimmte Richtlinien erarbeitet.

Anlässlich der Exkursion wird der Bereich des Tagbautunnels Aeschi-Bolken sowie Hersiwil besucht. In diesem Abschnitt erfolgten der Bau und die Rekultivierung zweier Tagbautunnel. Zusammen mit damals involvierten Personen blicken wir zurück auf die Landbewertungen, die

davon abgeleitete Um- und Neuzuteilung von Bewirtschaftungseinheiten sowie auf die Rekultivierungs- und Nachsorgephase im Bereich des Tagbautunnels.

## Das Wasseramt

Der Name des Bezirks Wasseramt rührt von ehemals zahlreich vorhandenen, fliessenden und stehenden Gewässern her, von denen mittlerweile etliche eingedolt und trockengelegt wurden. Ausserdem weist der Name auch auf das ausgedehnte Grundwasservorkommen in dieser Gegend hin, das vorab in den mächtigen Schotterablagerungen der Emme gespeichert ist. Die östlichen Teile des Wasseramtes (Exkursions-Region) sind grösstenteils von Molasse-Hochflächen bestimmt, die mit mehrheitlich würmeiszeitlicher Grundmoräne bedeckt sind [4].

Das Wasseramt ist trotz der Nähe zur Stadt Solothurn und den grossen Verkehrsachsen des Mittellandes sehr ländlich geprägt und besteht aus vielen kleinen Gemeinden und landwirtschaftlich geprägten Siedlungen.

## Bodenkartierung im Kanton Solothurn

Das Projekt "Bodenkartierung Kanton Solothurn" wurde 1996 gestartet mit dem langfristigen Ziel, die Eigenschaften aller landwirtschaftlich genutzten Böden und Waldböden des Kantons ausserhalb der Siedlungsflächen zu erfassen. Die Kartierung soll parzellengenaue Informationen liefern, welche für die Bodennutzung und den Vollzug des Bodenschutzes, aber auch für die Verwendung der Bodendaten durch weitere Vollzugsinstitutionen in den unterschiedlichen Fachbereichen nützlich sind. Aus diesem Grund erfolgt die Kartierung im Massstab 1:5000 [4].

Durch das systematische Kartieren der Böden werden ihre Vielfalt und ihre typischen Eigenschaften erfasst. Mit den Erkenntnissen daraus sind gezielte Massnahmen zum Schutz oder zur Wiederherstellung standorttypischer und fruchtbarer Böden erst möglich. Gleichzeitig können die gewonnenen Bodeninformationen für viele weitere Zwecke eingesetzt werden, sei dies in der Landwirtschaft, zum Beispiel zur Sicherung guter Landwirtschaftsböden, in der Forstwirtschaft, beispielsweise für eine standortgerechte Baumartenwahl und eine bodenschonende Holzernte, für Gewässer und Hochwasser-schutzanliegen oder für raumplanerische Entscheidungen [4].

Die Verantwortung für das Langzeitprojekt "Bodenkartierung Kanton Solothurn" liegt beim Amt

für Umwelt, Fachbereich Bodenschutz. Die eigentlichen Kartierarbeiten führen externe bodenkundliche Fachleute durch. Die fachlichen Anforderungen an diese Kartierfachleute sind in den Ausschreibungskriterien klar definiert und sind auch ein wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung innerhalb des Projekts. Die Kartierungen erfolgen in Jahresetappen. Pro Etappe werden zwischen 1300 und 1500 Hektaren Landwirtschafts- und Waldflächen kartiert, unterteilt in jeweils vier bis fünf Kartierlose [4].

Die dank der Bodenkartierung Kanton Solothurn vorliegenden Informationen über die Eigenschaften der Böden werden im Geoportal des Kantons Solothurn ([www.geo.so.ch/map](http://www.geo.so.ch/map)) einer breiten Bevölkerung erschlossen, in Form von funktionalen Karten [4].

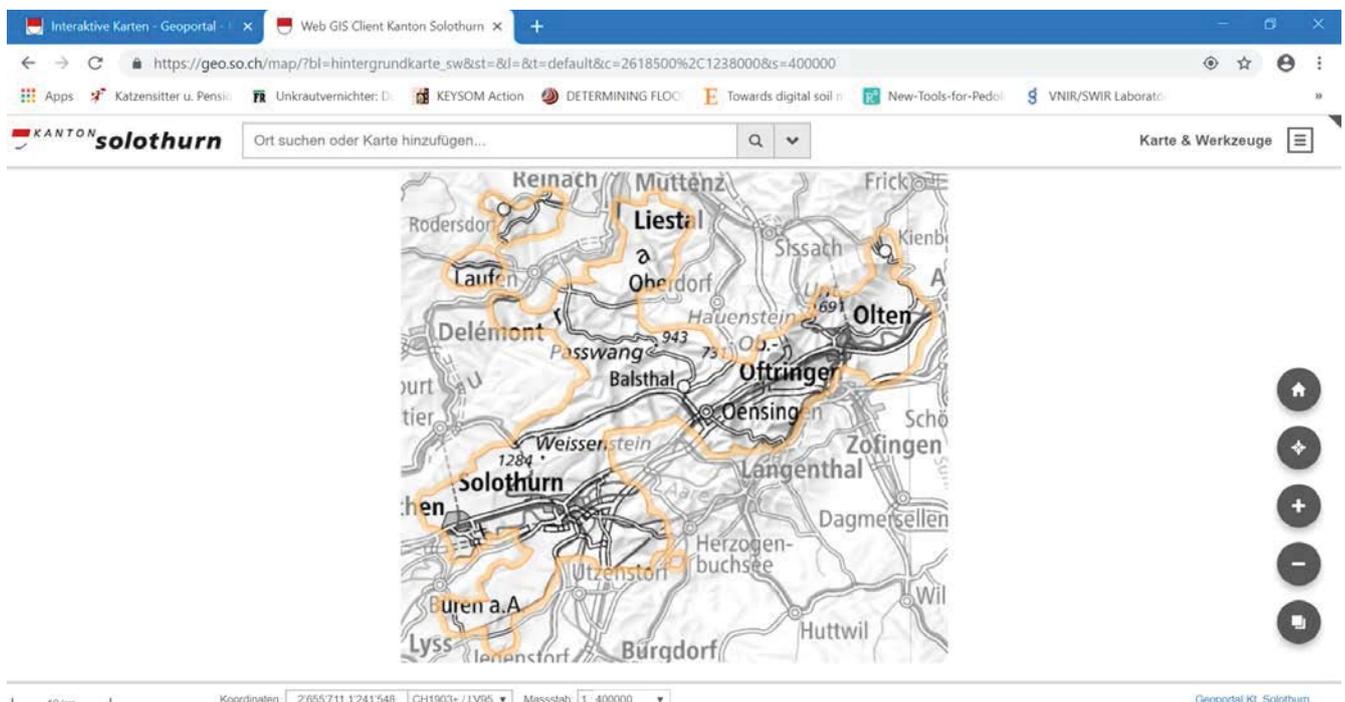


Abb. 1: Web GIS Client des Kantons Solothurn ([www.geo.so.ch/map](http://www.geo.so.ch/map))

### Böden im Wasseramt

Das Wasseramt macht seinem Namen auch hinsichtlich des Wasserhaushaltes der Böden alle Ehre, weisen doch fast die Hälfte der Böden mehr oder weniger starke Vernässungen auf. Bezüglich Vernässungsart ist kein Unterschied zwischen den Böden auf Emmeschotter und denjenigen auf der Moräne ersichtlich. Die Böden der höher gelegenen Gebiete auf würmeiszeitlichen Schottern und Moränen sind sehr in-

homogen. Im äusseren Wasseramt (Exkursions-Region) sind die Böden deutlich stärker durch Wasser beeinflusst: In Kuppenlagen und in eher flachen Bereichen finden sich stau-nasse Böden, in Geländemulden, besonders ausgeprägt im Gebiet des Inkwiler- und des Bur-gäschisees, sind die Böden stark grundnass [4].

Die meisten Böden im Wasseramt weisen weniger als 20 Prozent Tonanteil in der Feinerde auf, sind also leichte Böden. Der pH-Wert der Ober-

böden widerspiegelt weniger das Ausgangssubstrat, sondern vielmehr die Bodennutzung. Landwirtschaftlich genutzte Böden weisen einen pH-Wert im schwach sauren bis neutralen Bereich auf, unterstützt durch regelmässiges Aufkalken. Die Böden im Wald hingegen sind überwiegend sauer, unabhängig davon, ob sie auf den würmeiszeitlichen Schottern und Moränen oder in den Emmeschottern liegen. Die meisten Ackerböden im Wasseramt weisen im Oberboden einen Humusgehalt zwischen zwei und drei Prozent auf. Auf den würmeiszeitlichen Schottern und Moränen liegen die Humusgehalte gebietsweise auch unter zwei Prozent [4].

### **Meliorationen und Bodenbewertung**

Das flächenhafte Erfassen von Bodeneigenschaften in Form von Bodenkartierungen hat seinen Ursprung in landwirtschaftlichen Bodenbewertungsprojekten. Die landwirtschaftliche "Bodenbewertung" ist weiterhin ein häufiger Auslöser zur detaillierten Erfassung der Bodeneigenschaften. Im Kanton Solothurn wurden in verschiedenen Gemeinden Bodenkartierungen im Rahmen von Strukturverbesserungsprojekten oder Güterregulierungen durchgeführt [4].

Die vorgenommene Bewertung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung der kartierten Böden, die sogenannte Bonitierung, erfolgt in zwei Schritten (aus [4]):

#### *1. Bestimmung des Bodenprofilwerts:*

Grundlage für die Bestimmung des Bodenprofilwerts sind die Ergebnisse der Bodenkartierung. Jeder Bodeneinheit wird entsprechend ihrer Eigenschaften eine Punktzahl auf einer Skala zwischen 0 und 100 zugewiesen. Bewertet wird nicht allein der Oberboden, sondern der gesamte Boden. Der Bodenprofilwert wird abgeleitet von der pflanzennutzbaren Gründigkeit, das heisst dem für Pflanzen nutzbaren Wurzelraum, gemessen in Zentimeter. Von der Gesamtmächtigkeit eines Bodens werden Abzüge vorgenommen für die von Pflanzen nicht nutzbaren Anteile des Bodens. Diese ergeben sich aus einem gestörten Wasser- und Lufthaushalt, erhöhten Skelettgehalten, zu sandigen oder zu tonigen Feinerdekörnungen oder einem ungünstigen Säuregrad.

#### *2. Bonitierung:*

Nach der bodenkundlichen Bewertung der Böden erfolgt die Bonitierung. Dabei wird für jede Bewirtschaftungseinheit der Tauschwert, der sogenannte Bonitierungswert, festgelegt. Dieser errechnet sich, indem vom Bodenprofilwert Punkte für diejenigen äusseren Faktoren abgezogen werden, die den Tauschwert mindern. In den projektspezifischen Bonitierungsgrundsätzen wurden diese Faktoren definiert (Hangneigung, Schatten, Grundwasserschutzzone, etc.) und die Höhe der vorzunehmenden Abzüge bestimmt. Auf dieser Basis wurden für alle Bodeneinheiten die Bonitierungswerte errechnet.

Im Perimeter des Tagbautunnels Aeschi-Bolken basierte der "alte Bestand" auf einer projektspezifischen Bodenkarte, die von beratenden Agronomen erstellt wurde noch vor dem Start des Projekts Bodenkartierung im Kanton Solothurn. Die besten Böden zeigten Bodenpunktzahlen von 88 bis 96, die schlechtesten 56 – 72. Böden mit Punkten in diesem Bereich gelten als nur noch sehr eingeschränkt ackerfähig. Dieser sogenannte "alte Bestand" wird öffentlich aufgelegt [2].

Nach kantonalem Recht sollte jeder Grundeigentümer für die abgetretenen Grundstücke nach Möglichkeit Ersatz in ähnlicher Beschaffenheit, Lage und Güte erhalten. Nach diesem Grundsatz und unter Berücksichtigung von Wünschen der Grundeigentümer wird ein Neuzuteilungsentwurf erarbeitet, der wiederum öffentlich aufgelegt wird [2].

### **Bau von Infrastruktur: Neubaustrecke**

Die 45 km lange Neubaustrecke zwischen Mattstetten (Kanton Bern) und Rothrist (Kanton Aargau) gehört zum Kernstück der "Bahn 2000". Das Ziel der Neubaustrecke lag darin, die Reisezeit zwischen den Städten Zürich und Bern auf etwas unterhalb einer Stunde zu senken und damit die Grundlage für einen (integralen) Taktfahrplan zu bilden.

Der Bau der Neubaustrecke in einer von der Eisenbahn mehr oder weniger unberührten Landschaft war eine regional- und umweltpolitisch heikle Aufgabe mit vielen technischen Herausforderungen. Ein beträchtlicher Teil der neu erstellten Bahnstrecke verlaufen in Einschnitten

und Tunneln, um so den unterschiedlichen Anforderungen Rechnung zu tragen. Viele "Umweltmassnahmen" mussten ins Projekt aufgenommen werden: Wildquerungen, Lärmschutzmassnahmen, Renaturierungen von Bachläufen, Habitate für Amphibien und Kleinlebewesen sowie der sorgfältige Wiederaufbau des landwirtschaftliche genutzten Bodens [2].

### **Landumlegungsprojekt**

Die Neubaustrecke durchschneidet verschiedene Gemeinden, landwirtschaftliche Bewirtschaftungseinheiten und Grundstücke. Dies erforderte die Durchführung einer Landumlegung, die durch die Schweizerischen Bundesbahnen finanziell getragen wurde. Ziel des Landumlegungsprojekts war es, den Zerschneidungseffekt und die weiteren Einflüsse des Bauvorhabens auf Land- und Frostwirtschaft sowie Landschaft und Umwelt soweit möglich wie folgt zu mildern (aus [2]):

- Landbereitsstellung für die Neubaustrecke.
- Zusammenlegung des durch das Bauvorhaben zerschnittenen Besitzes und Verteilung nach Bodenqualität unter Berücksichtigung der Strukturen der landwirtschaftlichen Betriebe.
- Wiederherstellung der Erschliessung zur Gewährleistung einer optimalen Bewirtschaftung.
- Wiederherstellung der ökologischen Ausgleichsflächen, die zerstört oder beeinträchtigt wurden.

Unter der Leitung von Flurgenossenschaften (und deren Organen) wurden die Landumlegungen im Zeitraum von 1995 bis ca. 2010 vollständig abgewickelt und der alte Bestand in den neuen Bestand überführt. Gebaut wurden innerhalb der Landumlegungen Flurwege und -strassen, neue Bachdurchlässe, neue Bachgerinne, Drainagesysteme wurden ergänzt und neue Entwässerungsleitungen erstellt, die Linienführung von Werkleitungen wurde angepasst [2]. Die innerhalb des Kantons Solothurn für die Neubaustrecke erforderlichen Landumlegungsprojekte verursachten Gesamtkosten von ca. 11.2 Mio. Schweizer Franken.

### **Sachgerechter Umgang mit Boden bei Bauvorhaben**

Bis sich der sachgerechte Umgang mit Boden beim Bauen etablieren konnte, waren seit den ersten gesetzlichen Regelungen Jahr(zehnt)e notwendig. Grossflächige Eingriffe in Böden bei Infrastrukturbauten, die davon betroffenen Landwirtschaftsbetriebe und einzelne Bodenschutz-Pioniere standen am Beginn dieser Entwicklung. Seit 2002 führt die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (BGS) eine Liste der anerkannten Bodenkundlichen Baubegleiter, die den Titel 'BBB BGS' führen dürfen. Diese Liste ist seit der ersten Publikation auf mittlerweile rund 130 Bodenkundliche Baubegleiterinnen und Baubegleiter angewachsen, die ihre Dienstleistungen in allen Landesteilen anbieten [5].

Den ausführenden Bauunternehmungen – insbesondere im Tiefbau – sind die gängigen Bodenschutzmassnahmen heute mehrheitlich bekannt und es hat sich ein Standard entwickeln können, der die übliche Sorgfalt im Umgang mit Boden sicherstellen kann. Es sind dies insbesondere die Trennung von unterschiedlichen Bodenschichten (Ober-, Unterboden und Untergrund), die Zwischenlagerung des Bodens in wallförmigen, nicht zu hohen Depots sowie das Auftragen von Boden in mehreren Schichten und ohne flächiges Befahren und Verdichten bei Boden-Rekultivierungen [5].

### **Einbezug der Landwirte**

Bei der grossflächigen temporären Beanspruchung von Landwirtschaftsflächen durch ein Bauvorhaben kommt den bewirtschaftenden Landwirtinnen und Landwirten eine besondere Rolle zu. Sie stellen der Bauherrschaft Flächen zur Verfügung. Dafür werden sie durch die Bauherrschaft auf Basis privatrechtlicher Vereinbarungen entschädigt. Die Höhe der Entschädigung bemisst sich dabei hauptsächlich am Wert der entgangenen Ernte [5].

Trotz der finanziellen Entschädigungen bleiben für den Landwirt oftmals negative Auswirkungen, beispielsweise durch die Unterbrechung langfristig geplanter Fruchtfolgen, den Wegfall von Grünfutter oder das Zerschneiden von Bewirtschaftungseinheiten. Die bewirtschaftenden Landwirte müssen auch in Kauf nehmen, dass

der Boden auf den durch das Bauvorhaben beanspruchten Flächen überschüttet oder 'umgegraben' wird und, auch nach dem Abschluss der Bauarbeiten, für mehrere Jahre keine ertragsorientierte Bewirtschaftung möglich ist [5].

Beim Bau der Neubaustrecke wurden diese negativen Auswirkungen innerhalb der Landumlegungsprojekte behandelt und "aufgefangen". Als Grundlage für einen einheitlichen Umgang mit neu geschaffenen Böden und den Bewirtschaftenden wurden in diesem kantonsübergreifenden Infrastrukturbauvorhaben projektspezifische Richtlinien erarbeitet (durch die Bauherrschaft zusammen mit den kantonalen Behörden und den Fachpersonen, d.h. Bodenkundliche BaubegleiterInnen).

### **Nachsorgephase (Folgebewirtschaftung)**

An die Instandstellung von rekultivierten Böden und der Ansaat schliesst eine bodenschonende Nachsorgephase, die sogenannte Folgebewirtschaftung an. Eine Folgebewirtschaftung ist notwendig, da die neu aufgebrachten Bodenschichten u.a. nur eine geringe Tragfähigkeit und Stabilität und meist kein durchgängiges Porensystem aufweisen. Die Folgebewirtschaftung braucht Zeit, die Dauer wird meist aufgrund der stattgefundenen Beanspruchung und der beabsichtigten Zielnutzung definiert [5]. Bei der Neubaustrecke dauerte sie i.d.R. acht Jahre. Der Landwirt wurde während der Folgebewirtschaftung durch die Bauherrschaft für die Mindererträge sowie spezifische Bewirtschaftungsmassnahmen wie Unkrautbekämpfung oder das Auslesen von Steinen entschädigt. Die BBB hatte dabei die Aufgabe, zusammen mit den bewirtschaftenden Landwirten, geeignete Bodenbearbeitungs- und Bewirtschaftungsmassnahmen zu definieren und bei Bedarf kulturtechnische Massnahmen wie das Verlegen von Drainagen zu planen und zu veranlassen. Die BBB überprüfte zudem in regelmässigen Abständen den Bodenzustand. Ist der Zielzustand erreicht, wird die Folgebewirtschaftung abgeschlossen [5].

Dank der projektspezifischen Richtlinien konnte die Nachsorgephase verbindlich, umfassend und einheitlich geregelt werden [1].

### **Der rekultivierte Boden**

Ein fachgerecht rekultivierter Boden zeichnet sich durch einen korrekten, standorttypischen Bodenaufbau aus, bestehend aus Untergrundmaterial (häufig "Rohplanie"), Unterboden und Oberboden in genügender Mächtigkeit und Qualität. Der neu aufgebaute Boden hat bezüglich Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit mindestens das Niveau des natürlicherweise vorhandenen Bodens aufzuweisen. Damit diese Ziele erreicht werden können, muss während der gesamten Bauzeit (Bodenabtrag, Depotanlage und -bewirtschaftung, Rekultivierung, Folgebewirtschaftung) sehr sorgfältig mit der Ressource Boden umgegangen werden. Seit Anfang der 1990er-Jahre wird die Umsetzung des Bodenschutzes auf grösseren Baustellen durch professionelle bodenkundliche Baubegleiterinnen und Baubegleiter sichergestellt. Dadurch hat sich die Qualität der rekultivierten Böden stark verbessert [4].

Der rekultivierte Boden ist übrigens von der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz zum "Boden des Jahres 2019" ernannt worden. Weiterführende Informationen dazu finden sich unter [www.boden-des-jahres.ch](http://www.boden-des-jahres.ch).



Abb. 2: Beispiel eines rekultivierten Bodens (Schwach pseudogleyige, karbonathaltige, drainierte Auffüllung, locker geschüttet, tiefgründig; Standort Wurzenacker in Berg, Dägerlen (Kt. ZH), 465 m ü. M.)

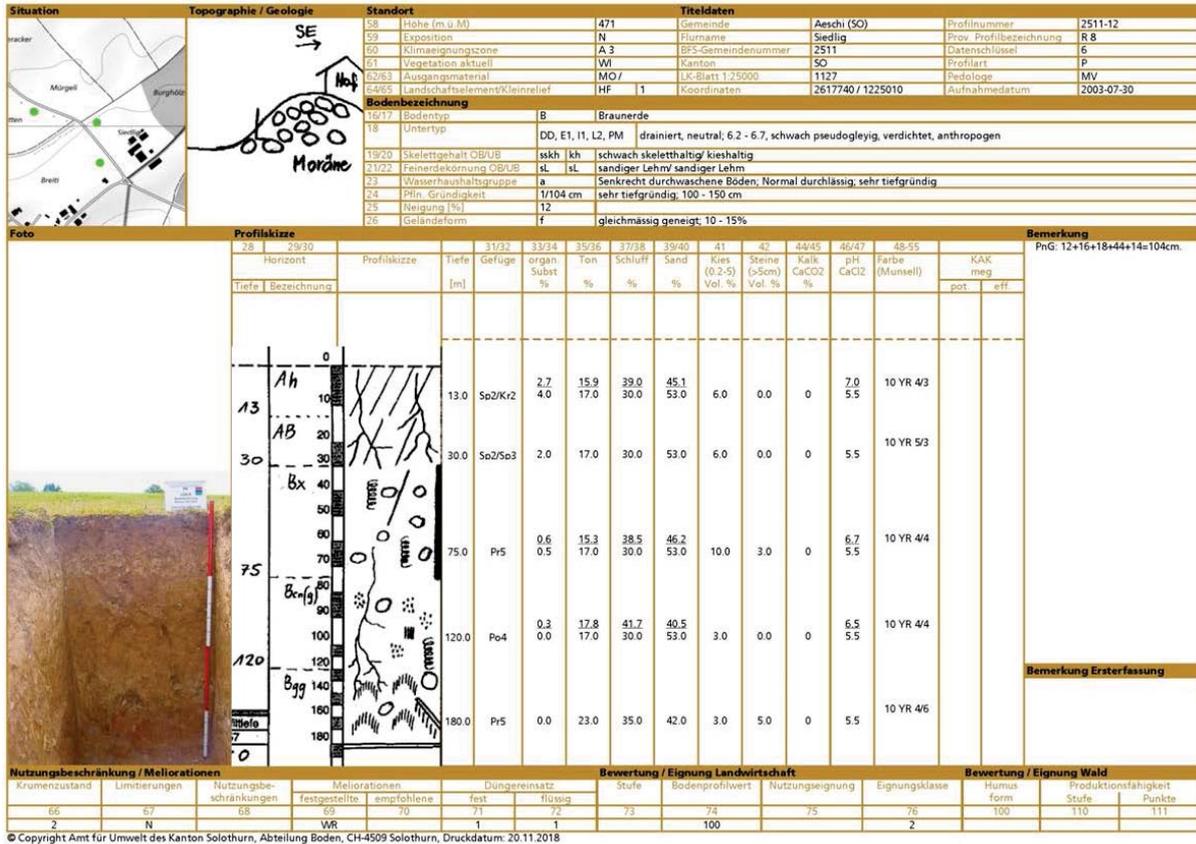


Abb. 3: Profil 2511-12 (Burghof); Quelle: Bodenkartierung Kanton Solothurn, Amt für Umwelt, Abteilung Boden, 4509 Solothurn.

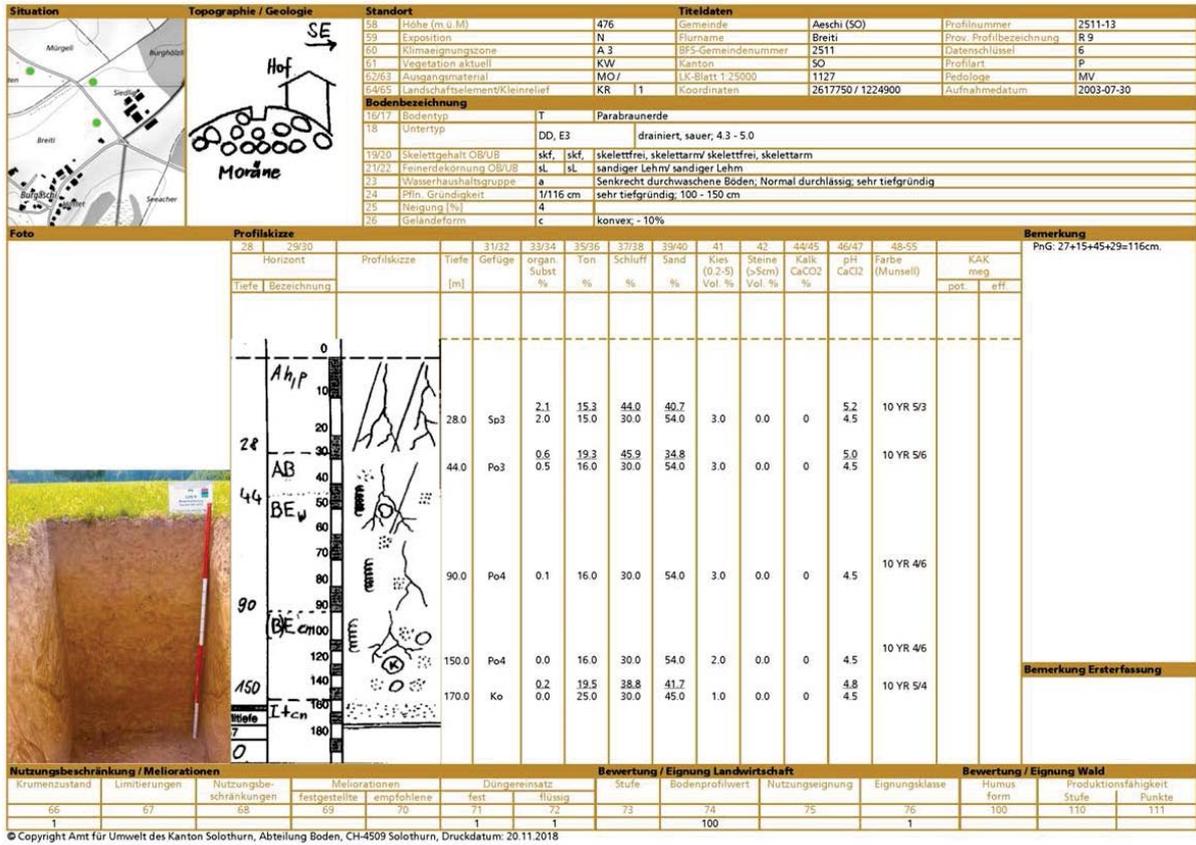


Abb. 4: Profil 2511-13 (Burghof); Quelle: Bodenkartierung Kanton Solothurn, Amt für Umwelt, Abteilung Boden, 4509 Solothurn.

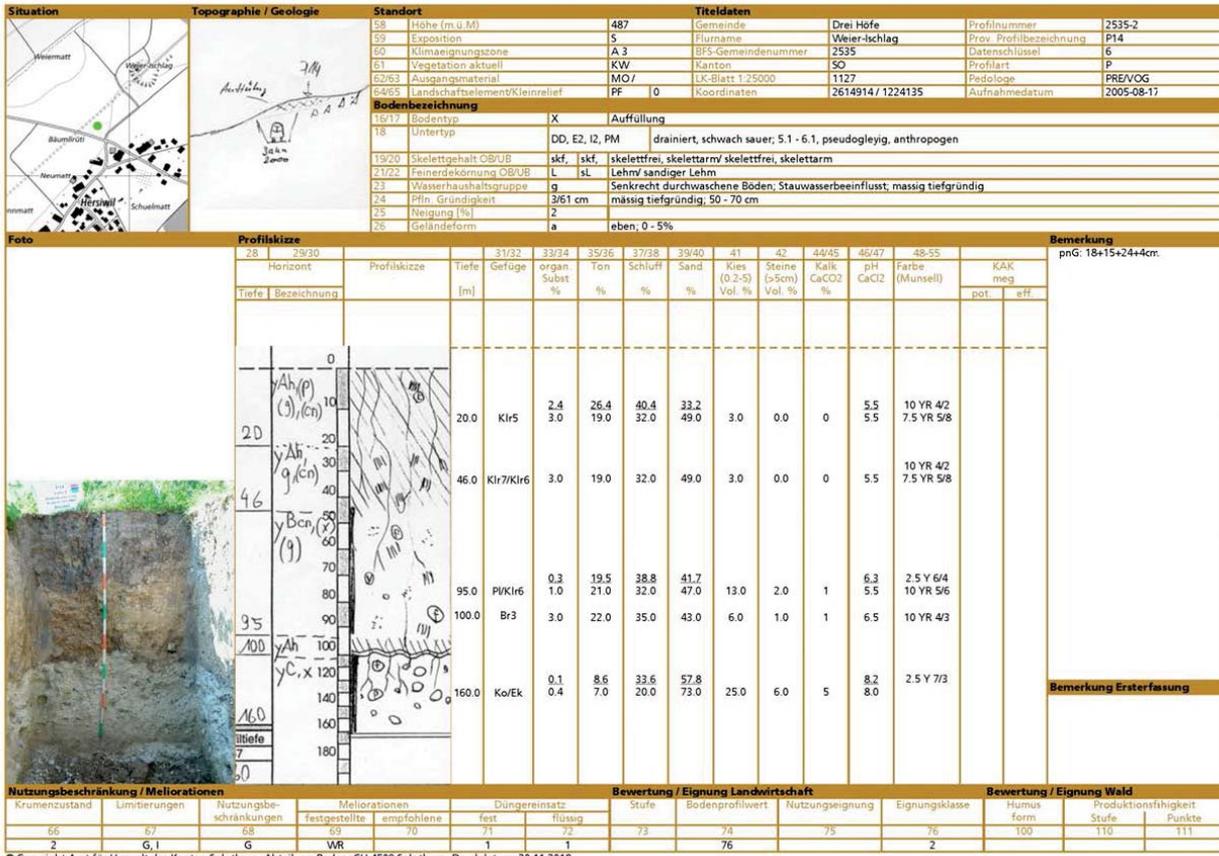


Abb. 5: Profil 2535-2 (Tagbautunnel); Quelle: Bodenkartierung Kanton Solothurn, Amt für Umwelt, Abteilung Boden, 4509 Solothurn

**Literatur**

- [1] Schlussbericht Landumlegung Bahn 2000, Perimeter 10, 3-Höfe, 1995 – 2011. Bericht W+H AG, 4562 Biberist, 15.04.2011.
- [2] Schlussbericht Landumlegung Bahn 2000, Perimeter 11 und 11 Süd Plus, Aeschi-Bolken 1995 – 2010. Bericht W+H AG, 4562 Biberist, 01.09.2010.
- [3] Erfahrungsbericht Pedologie. Neubaustrecke Mattstetten-Rothrist, Ausbaustrecke Derendingen - Inkwil. Bericht SBB Infrastruktur, 3000 Bern, 2007.
- [4] Böden im Kanton Solothurn, Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn, Mitteilungen 2017, Heft 43.
- [5] Bodenkundliche Baubegleitung in der Schweiz, Erfolge und Herausforderungen. Matias Laustela und

Bruno Grünenfelder. Zeitschrift Bodenschutz, 03.18. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin.

*Diese Exkursion wird einmalig für die DBG/BGS-Tagung 2019 organisiert und im Rahmen dieser angeboten. Das Programm und die Inhalte werden im Verlaufe des Frühjahrs 2019 detailliert. Der Exkursionsführer wird auf die Exkursion hin aktualisiert, mit Abbildungen ergänzt und den Teilnehmern in einer gedruckten Fassung anlässlich der Exkursion ausgehändigt. Die in den Beilagen vorhandenen Profilblätter sind nach der Klassifikation der Böden der Schweiz beschrieben. Für die Exkursion werden die Profilblätter ins System der World Reference Base for Soil Resources (WRB) übertragen.*

# H-01: Bern-entsorgt: Ein Rundgang durch den Stadtorganismus

<sup>1</sup>Armand Baeriswyl, <sup>2</sup>Nicole Mathys, <sup>2</sup>Regula Nussbaum

<sup>1</sup>Erziehungsdirektion des Kantons Bern, Amt für Kultur / Archäologischer Dienst

<sup>2</sup>StadtLand Bern, Sulgenbachstrasse 10, 3007 Bern

---

## Einleitung

Der Umgang mit Abfall und Reststoffen bleibt auch nach der Umsetzung effektiver Vermeidungsstrategien eine Herausforderung für Städte und Kommunen.

Vom Ehgraben zur Abwasserreinigungsanlage (ARA), vom Wochenmarkt zum Warenhaus: Dieser Rundgang erzählt Geschichten rund um Umwelt- und Ressourcenaspekte, den Konflikt zwischen Verbrennung und Recycling, Reststoffvermeidung, Abwasser und Trinkwasser, Klärschlamm, Nahrung, Sauberkeit und Licht aus der Geschichte und Gegenwart Berns. Ein Rundgang durch den Stadtorganismus, der mit den Klischees vom finsternen Mittelalter und von der sauberen City der Gegenwart aufräumt.

Wir berichten, warum der Stadtbach unter den Boden musste und wie die hygienische Revolution die Stadt eroberte. Was es auf dem Jahrmarkt zu sehen gibt und weshalb das Gaswerk an der Aare liegt.

## Entsorgung, Recycling und Abwasser Stadt Bern

Jedes Jahr sammelt die Stadt Bern über 33'000 Tonnen Abfälle aus Haushaltungen, Gewerbe und Industrie und führt über 25'000 Tonnen Material wie Altpapier und Grüngut in Separat- und Sondersammlungen ab. Auf den Entsorgungshöfen werden jährlich 12'000 Tonnen Abfallgüter aller Art entgegengenommen. An rund 45 Standorten werden Quartierentsorgungsstellen sowie Glas- und Büchsencontainer betrieben (*Quelle: <https://www.bern.ch/politik-und-verwaltung/stadtverwaltung>*).

Abwassertechnisch ist der Kanton Bern gut erschlossen. Rund 98% der Bevölkerung sind an die Kanalisation/ARA angeschlossen. Trotz diesem hohen Anschlussgrad gibt es jedoch im ländlichen Raum des Kantons Gebiete, die nicht er-

schlossen werden können (Topographie, Kosten). Dort sind Entwässerungsmöglichkeiten wie abflusslose Gruben oder mechanisch-biologische Kleinkläranlagen installiert (*Quelle: <https://www.bve.be.ch>*).

## Historisches Abwassermanagement

*(Entnommen aus: „Berns kluges Wassermanagement“ Barbara Büttner und Armand Baeriswyl, Mittelalterarchäologe beim Archäologischen Dienst des Kantons Bern und Privatdozent an der Universität Bern. Journal B, 14. März 2014)*

## Stadtbach und Brunnen zur Trinkwasserversorgung

Als die Zähringer vor über 800 Jahren die Stadt Bern gegründet haben, richteten sie ein besonderes Augenmerk auf die Wasserversorgung. Ihr durchdachtes System der Zu- und Abflüsse war für die Entwicklung der Stadt von grosser Bedeutung. Vieles davon ist heute noch in Gebrauch.

Das heutige Wasserversorgungs- und Kanalsystem in der unteren Altstadt von Bern ist die Weiterentwicklung des Wasserkonzepts der Stadtgründer und funktioniert vom Prinzip her noch wie vor über 800 Jahren.

Unter den Granitplatten der Altstadt fliesst der Stadtbach. Dieser Bach durchfliesst die Stadt schon seit ihrer Gründung, wie die Grabungen bei der Sanierung der Kram- und Gerechtigkeitsgasse 2004/5 gezeigt haben. Der Bach hat die Stadt über Jahrhunderte hinweg sauber gehalten hat, weil sein Brauchwasser auch die Ehgräben durchspült und Abfälle und Abwasser in die Aare schwemmt. Darüber hinaus liefert der Bach, das Löschwasser für die Stadtfeuerwehr.

Seit 800 Jahren ist der Stadtbach die Hauptader der bernischen Wasserversorgung. Die zähringischen Stadtgründer führen ihn von Anfang an ganz bewusst und mit grossem Aufwand in die Stadt: Hergeleitet in einer künstlichen Rinne aus dem Wangental im Westen weit vor der Stadt,

überwindet er über hölzerne Brücken und Aquädukte die drei natürlichen Gräben der Stadt beim ehemaligen Christoffelturm, beim Käfigturm und beim Zytglogge. Durch die Hauptgasse und die angrenzenden Längsgassen der Altstadt fliesst der Stadtbach abwärts. Die Zähringer hatten die Aarehalbinsel eben nicht nur aus strategischen und verteidigungstechnischen Gründen für ihre Stadtgründung gewählt, sondern auch erkannt, wie ideal das natürliche Gefälle für die Wasser- ver- und -entsorgung ist: Die Neigung vereinfacht den Zu- und Abfluss des Wassers.

Der Stadtbach hat nie die Brunnen gespeist, sondern nur ihr überschüssiges Wasser aufgenommen und abgeleitet. Der Bach liefert Brauchwasser, und fliesst noch bis ins späte 19. Jahrhundert in offenen Rinnen durch die Mitte der Altstadtgassen. Sein Wasser ist zum Trinken ungeeignet, darum wird das Trinkwasser separat geliefert. Diese frühe Trennung von Brauch- und Trinkwasser ist ein Schlüssel zum Erfolg des Berner Wasserversorgungssystems (Abb. 1).



Abb. 1: Die Granitplatten in der Brunngasse decken eine Entwässerungsrinne für Strassen- und Dachabwässer. Das städtische Tiefbauamt spült diese Rinne noch heute regelmässig mit Stadtbachwasser durch. (Foto aus: Berns kluges Wassermanagement, Journal B, 14. März 2014, Barbara Büttner)

Zunächst lieferten grundwassergespeiste Sodbrunnen das Trinkwasser für die Stadt. Der Stettbrunnen unterhalb der Brunngasse etwa oder der später in einen Keller umgewandelte Lenbrunnen in der Postgasse (Abb. 2). Doch weil die junge Stadt Bern immer mehr Zuwanderer anzieht, wird die Wasserversorgung schon bald prekär.

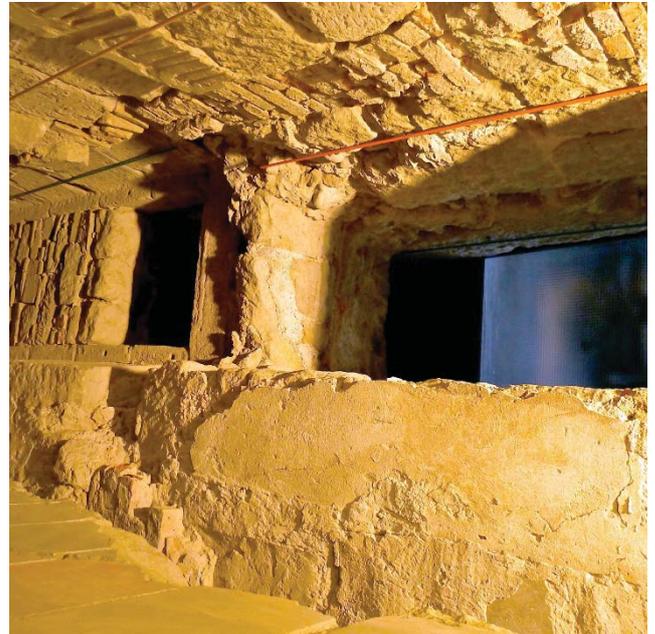


Abb. 2: Im Untergrund des Lenbrunnens unter der heutigen Staatskanzlei. Um 1252 als dreigeschossiger Turm erbaut war er einer der ältesten Sodbrunnen der Stadt. (Foto aus: Berns kluges Wassermanagement, Journal B, 14. März 2014, Barbara Büttner)

Nach dem Hitzesommer von 1395 reicht das Grundwasser definitiv nicht mehr aus. Die Berner müssen ihr Brunnensystem umstellen: Neue hölzerne Röhrenbrunnen, aus denen stetig Wasser fliesst, werden gebaut. Ihr Wasser kommt erstmals aus Quellen ausserhalb der Stadt, herangeführt wird es in geschlossenen Rohrleitungen, sogenannten Teuchelleitungen: Miteinander verbundene Holzstämme, die mit sogenannten Löffelbohrern nach dem Korkenzieherprinzip ausgehöhlt werden. 1585 gelingt es zum ersten Mal, Wasser aus einer tiefer gelegenen Quelle mittels eines mechanischen Pumpwerks in die Stadt zu leiten. Insgesamt fünf Frischwasserleitungen stellen jetzt die Trinkwasserversorgung bis ins 19. Jahrhundert sicher.

## Ehgraben

Im Stadtbach durften keine Abfälle entsorgt werden, denn der Stadtbach war ein Brauchwasser- und kein Abwasserkanal. Er diente zum Spülen des Ehgrabens. Nur in die offenen Ehgräben durften Abfälle geworfen werden. Und auch nur organische Abfälle, keine Gegenstände. Denn die hätten die Gräben verstopfen und das Wasserleitungssystem zum Erliegen bringen können. Die bewässerten Ehgräben sind, neben der getrennten Zufuhr von Trink- und Brauchwasser, der zweite Pfeiler der wohldurchdachten mittelalterlichen Wasserinfrastruktur Berns (Abb. 3). Gleichzeitig markieren die Ehgräben in Bern den Grundbesitz, also die Grenze zwischen Häusern und Parzellen. Der Ehgraben ist Eigentum der Hausbesitzer. Sie zahlen für Unterhalt und Reinigung. Nicht die Stadt. Für die Beschaffenheit dieser zunächst mit Holz, später dann mit Stein ausgekleideten Abwasser-Rinne gibt es im Prinzip nur eine Vorschrift: Ein einjähriges Schwein muss sich bequem im Ehgraben drehen können. Doch nicht nur Hof-, Haus- und Küchenabfälle landen im Ehgraben, sondern auch die Fäkalien. Damit der Dreck nicht aus den Ehgräben quillt, werden sie regelmässig mit Stadtbachwasser durchgespült.

Inzwischen ist der Ehgraben natürlich überall in der Altstadt – längst nicht mehr offen. Weniger der Gerüche wegen werden die Ehgräben bereits seit dem späten Mittelalter überwölbt, sondern um mehr Platz zu erhalten. Im 16./17. Jahrhundert werden auch die bis dahin offenen Zwischengässchen überdeckt, um mehr Wohnraum zu schaffen (Abb. 3).

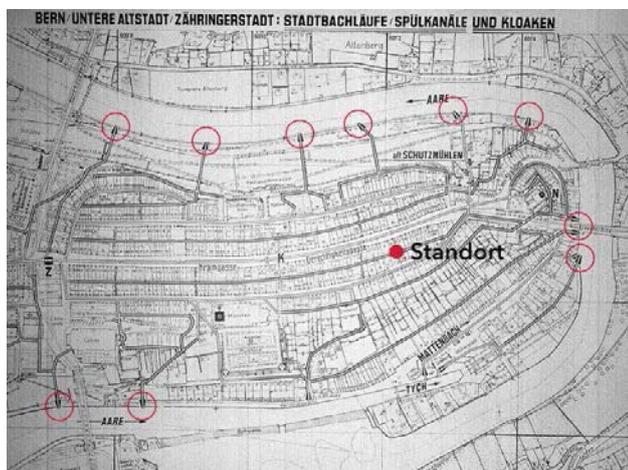


Abb. 3: Ehgrabenplan von 1942 (Quelle: <https://www.baer-nischeso.ch>)

## Schlamm- und Fäkalienrückhaltesystem

Bevor Stadtbach und Ehgräbeninhalte in die Aare münden, am heutigen Längmauerweg, stellte die Stadt bereits im Mittelalter einen grossen Schlammsammler auf. Er hielt organische Feststoffe zurück, damals allerdings noch nicht, um den Fluss vor Wasserverschmutzung zu bewahren. Die Fäkalien wurde aufgefangen, um Dünger für die Felder zu liefern. Der Verkauf brachte der Stadt gutes Geld ein.

## Modernes Abwassersystem der Stadt Bern

Mit dem Bau der Abwasserreinigungsanlage Neubrück, an die heute insgesamt zehn Gemeinden angeschlossen sind, wurde bis 1972 der erste Ausbau der modernen Abwasseranlagen der Gemeinde Bern vollendet. Zu diesen Abwasseranlagen gehören auch Spezialanlagen wie Abwasserpumpwerke, Regenbecken, Niveaumessstellen, Regenmessstationen, Regulier- und Entlastungsschützen und die Rechenanlagen. Die Gesamtlänge der öffentlichen Kanalisation auf dem Gebiet der Gemeinde Bern beträgt heute rund 320 km. Der Kanalnetzbetrieb unterhält eine Infrastruktur im Wert von 1 Milliarde Franken.

## Die ARA Region Bern AG

(Entnommen aus: [https://www.klimaplattform.ch/partnerunternehmen/alle/partner\\_detail/show/ara-region-bern-ag.html](https://www.klimaplattform.ch/partnerunternehmen/alle/partner_detail/show/ara-region-bern-ag.html))

Die ara region bern ag (arabern) entstand 1996 aus der Abwasserreinigungsanlage Bern-Neubrück. Sie reinigt heute das Abwasser von zehn Aktionärgemeinden sowie von zwei Dienstleistungsnehmergemeinden. In der arabern fliesst Abwasser aus über 240'000 Haushalten sowie aus den Industrie- und Gewerbebetrieben im Einzugsgebiet zusammen. Täglich werden rund 100 Millionen Liter Abwasser soweit gereinigt, dass sie ohne Vorbehalte in die Aare zurückfliessen können. Die Abwasserreinigungsanlage ist die grösste im Kanton Bern und gehört zu den bedeutendsten in der Schweiz.

In der arabern entsteht aus Industrie-, Speiseabfällen und Klärschlamm Biogas. Dieses wird auf der arabern mittels einer Biogasaufbereitungsanlage in Biomethan umgewandelt. Mit dem Biomethan werden 32 öffentliche Busse der BERNMOBIL betrieben, Gemeinden am regionalen Erd-



# H-02: Bern im Quartär: Eine Hauptstadt in ihrer Umwelt

Heinz Veit

Geographisches Institut, Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern

## Einleitung

Das Relief des Stadtgebietes und der oberflächennahe Untergrund im Raum Bern werden wesentlich durch zwei Einheiten geprägt: durch die tertiäre Molasse und die quartären, glazialen und fluvioglazialen Ablagerungen in Form von Moränen und Schotterfeldern. Die Molasse tritt einerseits markant in den beiden Berner «Hausbergen», dem Bantiger (947 m ü.M.) und dem Gurten (864 m ü.M.) in Erscheinung, andererseits kommt sie auch an vielen anderen Stellen der Stadt an die Oberfläche.

Die tertiäre Molasse wird grossflächig von quartären Lockersedimenten bedeckt, die Mächtigkeiten von einigen Metern bis zu mehreren hundert Metern erreichen können. Das Stadtgebiet von Bern wurde im Pleistozän mehrfach von Aare- und Rhônegletscher überfahren, wobei

das Eis Mächtigkeiten von bis zu einigen hundert Metern erreichte. Im letzten Glazial war der Gurten teilweise vollständig, der etwas höhere Bantiger nur teilweise, bis kurz unterhalb des Gipfels, mit Eis bedeckt. Im Hochglazial war der Aaregletscher der rechte Zufluss des Rhônegletschers. Die Vereinigung erfolgte genau im Stadtgebiet. Die Würm-Kaltzeit, die in der Schweiz als Birrfeld-Kaltzeit bezeichnet wird, bestand aus mehreren eigenständigen Gletschervorstössen, die auf ca. 105.000, 65.000 und 25.000 Jahre datiert werden (Preusser et al. 2011). Der Vorstoss vor ca. 25.000 Jahren wird als Hochglazial, „Last Glacial Maximum“ (LGM), oder als Hauptvorstoss bezeichnet. Der damals vereinigte Rhône-Aaregletscher reichte mit seiner Zunge bis in den Raum Niederbipp-Wangen an der Aare, ca. 45 km nordöstlich von Bern (Abb. 1).

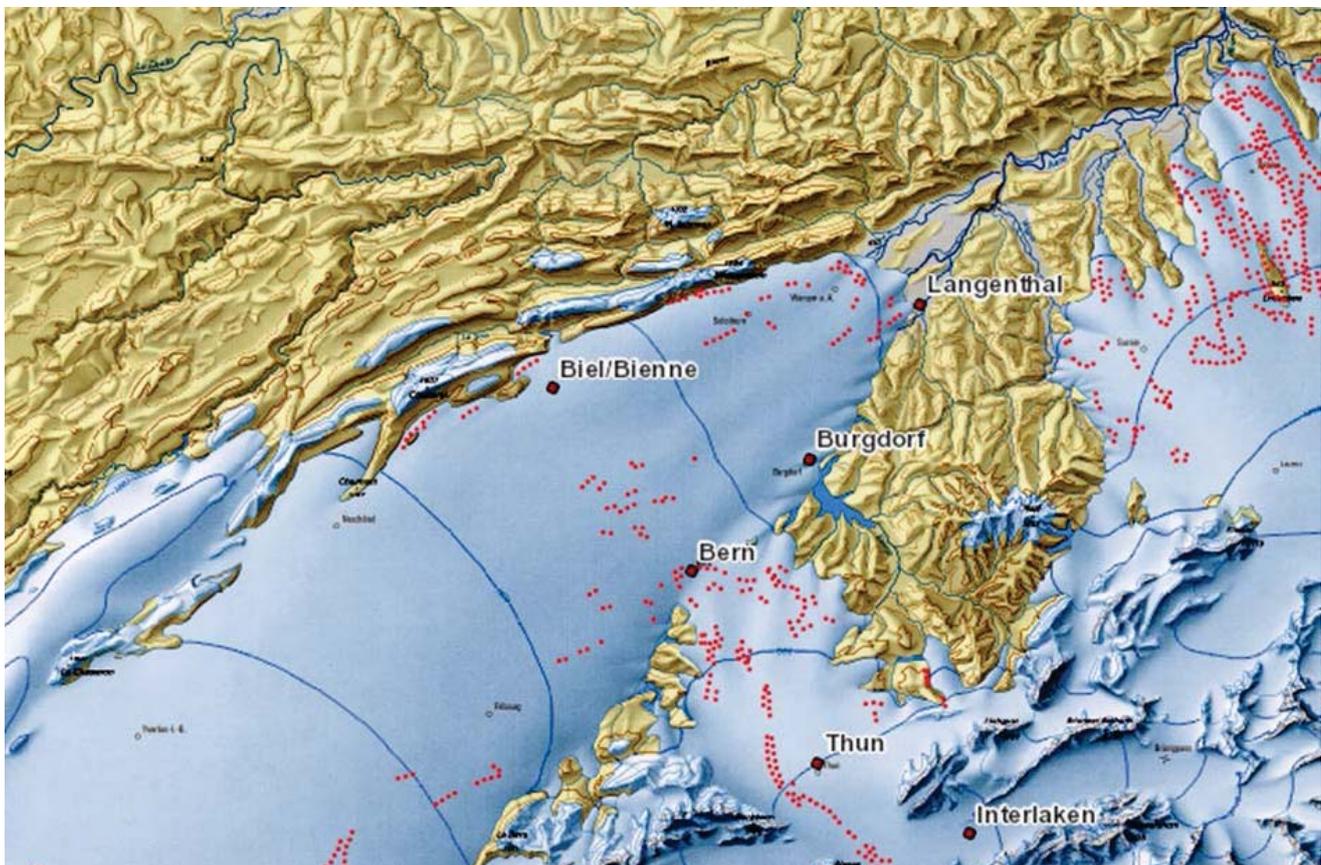


Abb. 1: Bern und Mittelland zur Zeit des letztglazialen Rhône-Aaregletschers (Bini 2009, [geo.apps.be.ch/de](http://geo.apps.be.ch/de))

Mit dem Rückschmelzen des Eises am Ende der Birrfeld-Kaltzeit sind im Stadtgebiet und in der Umgebung von Bern noch mehrere deutlich sichtbare Moränenwälle des Aaregletschers entstanden: Seftigschwand-, Gurten-, Bern-, Schosshalde-, Wittigkofen- und Muri-Stadium (Staeger 1988) (Abb. 2). Das in Bern sehr mar-

kante «Bern-Stadium» konnte mittels kosmogener Nuklide auf ca. 19.000 Jahre datiert werden (Wüthrich et al. 2018). Nach dem LGM erfuhr das Mittelland einen relativ schnellen Zerfall des Eisstromnetzes und war wahrscheinlich vor 17.500 Jahren bereits eisfrei bzw. nur von Tot-eismassen der rasch schmelzenden Gletscher bedeckt (Preusser et al. 2011).

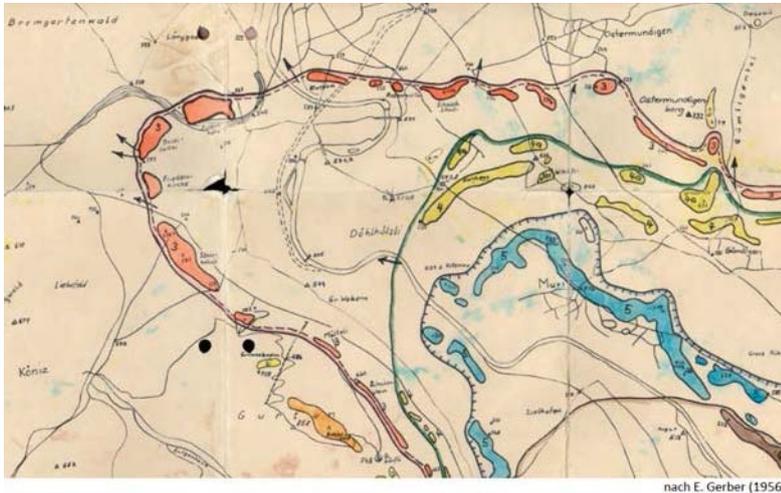


Abb. 2: Die spät-hochglazialen Gletscherstände des Aaregletschers (Gerber 1956); (rot: Bern-Stadium; gelb/grün: Wittigkofen-Stadium; blau: Muri1-Stadium; braun: Muri2-Stadium)

### Exkursionsroute und Haltepunkte

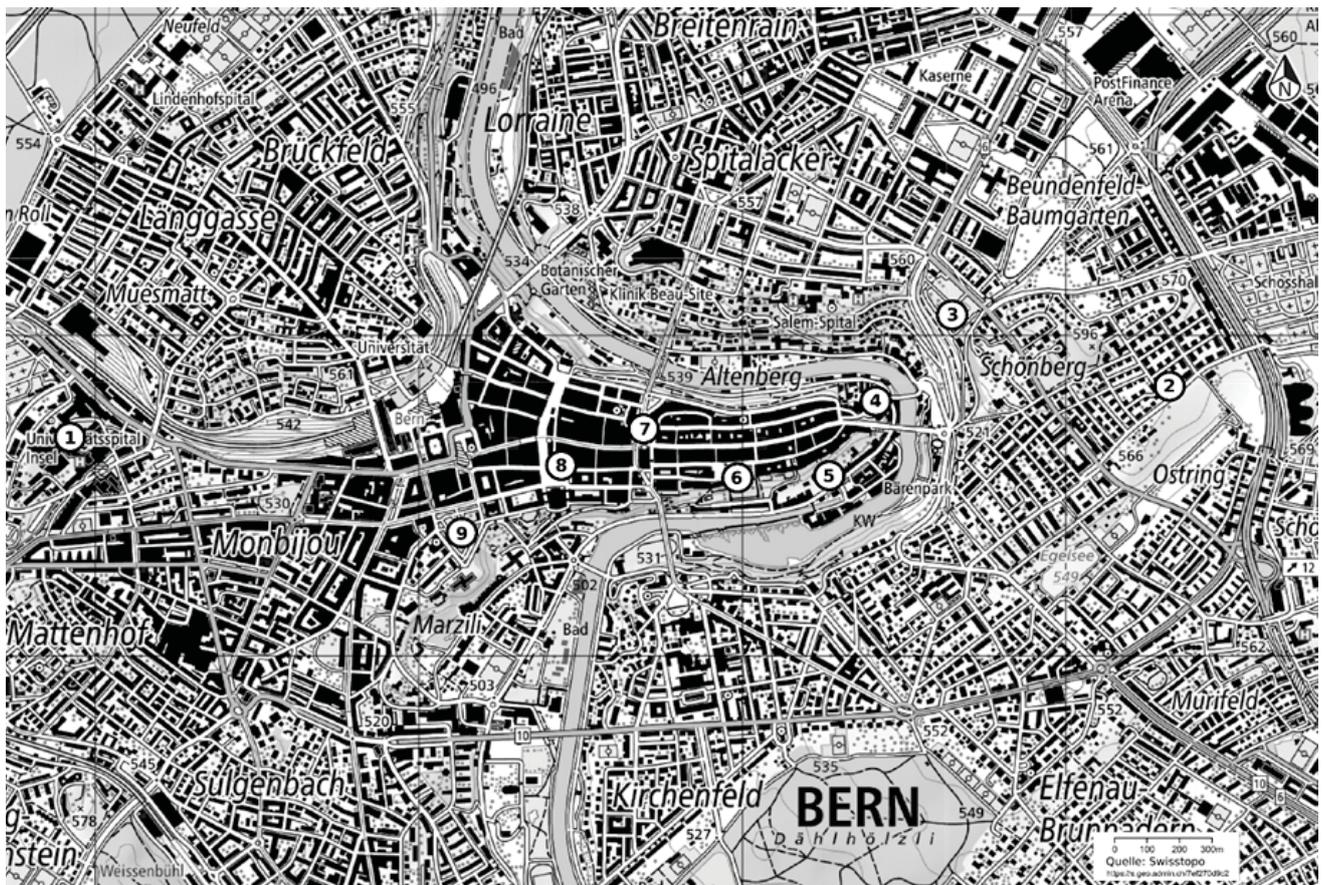


Abb. 3: Exkursionsroute mit Haltepunkten (Swisstopo, Link zur Karte: [s.geo.admin.ch/7ef270d9c2](https://s.geo.admin.ch/7ef270d9c2))

## **Inselspital, Dachterrasse**

Vom Standpunkt aus hat man einen schönen Überblick über das Stadtgebiet, das Mittelland, das Aaretal und die Alpen. Das Krankenhaus steht auf einer endmoränennahen Seitenmoräne des Aaregletschers zum Zeitpunkt des Bern-Stadiums. Nach Osten lässt sich der Verlauf der Moräne mit dem Hauptgebäude der Universität und dem Rosengarten weiterverfolgen. Nach Süden zu setzt sich die Moräne über das Loryspital, die Friedenskirche („Pastetenhubel“, „Vejelihubel“) über das Steinhölzli bis zu den deutlichen Moränen am Gurten fort. Die ebenen Stadtgebiete zwischen den Moränenhügeln stehen auf glazifluvialen Terrassen, die in Bern als „Felder“ bezeichnet werden (Neufeld, Murifeld, Kirchenfeld etc.). Der Gurten, und im Osten der Bantiger, überragen als Molassehügel das Stadtgebiet. Am Bantiger sind Steinbrüche erkennbar, aus denen der Bausandstein stammt, mit dem grosse Teile der Berner Altstadtgebäude errichtet sind.

## **Schönberg**

Die kleine Wanderung über den Schönberg zum Rosengarten erlaubt einerseits den Blick über Teile des Stadtgebietes bis zu den Alpen, andererseits laufen wir auf der Endmoräne des Bernstadiums entlang.

## **Rosengarten**

Von 1765 - 1877 diente der Rosengarten als Friedhof der unteren Stadt. Seit 1913 ist der Garten eine öffentliche Anlage. Von hier aus hat man einen schönen Überblick über die Aarelandschaft und die Altstadt von Bern, die 1983 ins UNESCO Weltkulturerbe aufgenommen wurde. Die Altstadt wird auf drei Seiten von der Aare umflossen und besteht in ihrem Kern aus Molasse-Sandstein. Darüber liegt Altmoräne in einer Mächtigkeit von ca. 30 m, überlagert von ca. 10 m glazifluvialen Kiesen, Sanden und verschwemmtem Moränenmaterial der letzten Kaltzeit. Die Aare hat sich in einem Mäander eingeschnitten, der beim Erreichen der Molasse bzw. der alten, dichten Moräne, nicht mehr verlagert wurde und seitdem stabil ist. Im Stadtgebiet von Bern treten oberhalb der Talaue maximal 7 Terrassenniveaus zwischen 10-70 m auf. Alle 7 Terrassen sind jungwürmzeitlich, der Flusslauf

der Aare also seit dem ausgehenden LGM in seiner heutigen Position fixiert.

Im Bereich der Nydegg- und Untertorbrücke ist der Molassesandstein am Fluss aufgeschlossen. Die Oberfläche der Molasse, und damit die Quartärmächtigkeiten, variieren aber im Stadtgebiet erheblich. Nur 100 m südlich der Altstadt, im Bereich des Schwimmbades Marzili, senkt sich der Molassefels bis auf 270 m Tiefe ab! Wiederum ca. 100 m weiter aareaufwärts, bei der Dalmazibrücke, ist die Molasse im Bereich des Flusspegels wieder sichtbar. Die Absenkung der Molasseoberfläche in diesem engen Bereich ist die Folge einer subglazialen Rinne des Aaregletschers, wo Schmelzwässer den Untergrund tief erodiert haben, ein typisches Phänomen des Schweizer Mittellandes.

Der Name der Stadt Bern ist erstmals in einer Urkunde vom 1. Dezember 1208 belegt. Die Cronica de Berna gibt als Gründungsjahr 1191 an. Wie auch die Städte Burgdorf, Freiburg im Breisgau, Fribourg, Offenburg, Murten, Neuenburg am Rhein, oder Thun ist Bern eine Zähringerstadt (Herzog Berchtold V.). Die Geschichte der Namensgebung der Stadt Bern ist unsicher. Nach der bekanntesten Legende soll der Stadtgründer beschlossen habe, die Stadt nach dem ersten in den umliegenden Wäldern erlegten Tier zu benennen, das ein Bär gewesen sein soll. Laut dem Lexikon der schweizerischen Gemeindenamen erfolgt die Herleitung des Namens vom keltischen Wort berna (Kluft, Schlitz). Jedenfalls ist der Bär das offizielle Wappentier der Stadt seit 1224 und wird im touristisch berühmten „Bärengaben“ gehalten. 1856 entstand der Bärengaben an seiner heutigen Stelle, mit einem zeitweisen Maximalbestand von 24 Tieren (1913). Der neue Bärenpark, mit mehr Auslauf am Aarehang, eröffnete im Oktober 2009. Zu Beginn gab es wegen der Jungbären bis zu 20.000 Besucher pro Tag. Kurz vor der Eröffnung geriet der Bärenpark in die Schlagzeilen, weil die tatsächlichen Baukosten von etwa 24 Millionen SFr. das ursprüngliche Budget von 9,7 Millionen SFr. erheblich überstiegen. Hier rächte sich die Einsparung von Sondierbohrungen im Vorfeld, die dann – wegen Rutschungen grosser Teile des Hanges – doch noch durchgeführt werden mussten.

## Nydegkirche, Schiffslände

Hier am Aareufer wurde Bern im frühen 12. Jhd. mit der Errichtung der Burg Nydegg gegründet. Die Nydegkirche (Nydegg = mittelhochdeutsch für «Unteres Eck») wurde 1341 bis 1346 an der Stelle der ehemaligen Burg errichtet. Sie ist die zweitälteste Kirche der Stadt Bern. Ein Sodbrunnen zeugt von der Wassergewinnung am Ende des 12. Jhd. Der Schacht ist ca. 20 m tief, durchteuft pleistozäne Sedimente, und erreicht ab 16,2 m den anstehenden Molasse-Sandstein. Bis ins 14. Jhd. genügten die Sodbrunnen in der Stadt. 1393 trockneten viele Sodbrunnen aus. Ab dann erfolgte wegen Wasserknappheit die Zuleitung von aussen. Die erste Leitung kam vom Fuss des Gurten, aus ca. 3,5 km Entfernung. Als Rohrleitungen wurden hohle Baumstämme (Teuchel) mit einem Leitungsdurchmesser von 10 cm und Stockbrunnen genutzt, aus denen unter Druck immer Wasser lief. Am Ende des 16. Jhd. waren rund 4000 Teuchel im Einsatz und es gab einen Teuchelweiher am Westende der Stadt. Hier schwamm ständig der gesamte Jahresvorrat an Baumstämmen! Die Leitungen selbst wurden aus Angst vor Sabotage und wegen des Frostes unterirdisch verlegt. Die dauernd laufenden Brunnen brauchten einen Ablauf, was durch den Stadtbach erfolgte. Der Stadtbach selbst diente nicht der Zufuhr von Trinkwasser, sondern der Abfuhr! Er bestand aber schon seit dem 13. Jhd. und wurde vor allem als Brauch- und Löschwasser genutzt.

Der alte Zugang zur Stadt erfolgte über die Untertorbrücke mit der Felsenburg. Sie wurde 1461-1487 als Ersatz für die alte Holzbrücke erbaut, die 1460 vom Hochwasser weggeschwemmt wurde, und diente bis ins 17. Jhd. als Stadttor. Die Untertorbrücke ist die älteste Brücke der Stadt Bern über die Aare und eine der ältesten Steinbrücken der Schweiz. Sie war bis zum 19. Jahrhundert die einzige Aarebrücke in Bern. 1844 wurde dann die Nydeggbücke, als erste Hochbrücke Berns, eröffnet (1840-1844). In unmittelbarer Nähe der Untertorbrücke befindet sich das Ländtotor aus dem 13. Jhd. Das Tor ist der freigelegte Rest der ehemaligen Nydegg-Befestigung. Das Ländtotor war einst der einzige direkte Zugang zur unteren Stadt. 1873

wurde es zugemauert. 1959 wurde es bei Renovationsarbeiten wieder freigelegt und zwei Jahre später restauriert.

Im Umkreis von Nydegkirche und Nydeggbücke lassen sich auch die bevorzugten Bausteine der Stadt Bern beobachten (Labhart & Zehnder 2018). Überall dominiert der Berner Sandstein mit seiner typischen grünlichen Farbe (Abb. 4). Er stammt aus der Oberen Meeresmolasse, die in Bern und Umgebung ansteht. Es handelt sich um Sedimente eines subtropischen Flachmeeres mit Palmwedeln, Haifischzähnen etc. Die grüne Farbe entsteht durch Glaukonit. Die Sandsteine sind schwach kalzitisch verbacken. Da nicht alle Poren davon betroffen sind, kann der Sandstein Wasser aufnehmen, wodurch es zum Quellen und Schrumpfen der Tonminerale kommt. Zusätzlich setzt der «Salpeterfrass», durch Verwitterung des enthaltenen Pyrites und der Frost dem Sandstein zu.



Abb. 4: Berner Sandstein im Gurtensteinbruch (<https://www.erlebnis-geologie.ch>)

Zum Schutz vor Feuchtigkeit bestehen deshalb viele Gebäudesockel in der Stadt aus Kalkstein, entweder aus dem Jura, wie im Fall der Nydegkirche, oder aus den Alpen. Auch bei der Nydeggbücke wurde trotz seiner Anfälligkeit auf den Berner Sandstein zurückgegriffen. Der ursprünglich geplante Granit war zu teuer und wurde nur an tragenden Teilen eingesetzt. Interessanterweise wurde der Granit nicht in Steinbrüchen gebrochen, sondern er stammt aus Findlingen des Aaregletschers zwischen Meiringen und Innterkirchen, da stadtnahe Findlinge zu der Zeit schon weitgehend verarbeitet waren. Der Transport nach Bern erfolgte per Schiff über die Seen und die Aare. Bei den 2520 m<sup>3</sup> Aaregranit für die Nydeggbücke handelt es sich um

die grösste Menge Findlingsgranit, die jemals in der Schweiz für ein einzelnes Bauwerk verwendet wurde.

Auch die Treppen hoch zur Nydegasse bestehen aus diesem Aaregranit. Der Brunnen in der Nische am Nydegghof besteht aus schwarzem alpinem Marmor, Wand und Decke sind aus holozänem Kalktuff, der ebenfalls verbreitet in der Region Bern vorkommt. Kalktuff wurde in Bern verbreitet für tragende Teile, z.B. auch bei den Bögen der Stadttore (Zytglogge, Käfigturm) eingesetzt.

### **Mattequartier**

Die Bewohner der Matte waren ursprünglich Tagelöhner, Fischer, Gerber etc. und gehörten damit der städtischen Unterschicht an. Um unter sich zu bleiben und abzugrenzen entwickelten sie eine eigene Sprache, das «Mattenänglisch», das heute versucht wird durch Wörterbücher, Sprachkurse etc. wiederzubeleben. Der Wasserkanal (Tych) in der Matte wird seit 1200 abgeleitet. Ehemals standen hier entlang Mühlen (Getreide, Sägewerke etc.) und auch Gerber gingen ihrem Handwerk nach. Heute bzw. seit 1891, treibt das Wasser des Kanals Turbinen an, mit einer Jahresproduktion von 7 Mio. kWh, was etwa zur Versorgung von 1800 Haushalten ausreicht. Das Flusskraftwerk Matte ist eines von vier solcher Kraftwerke in Bern mit einer Gesamtproduktion von 10 GWh Strom pro Jahr.

Durch die Lage im Auenbereich der Aare ist das Mattequartier immer hochwassergefährdet und auf der Naturgefahrenkarte von Bern in der roten Zone. Allein die beiden Hochwässer von 1999 und 2005 verursachten in den betroffenen Gebieten der Stadt Schäden im Umfang von rund 90 Mio. SFr. Mit zahlreichen Massnahmen wird versucht, das Risiko zu mindern. Dazu gehört etwa das Ausbaggern von Kies im Bereich des Schwellenmätteli, das bei Hochwässern immer wieder als Ablagerungsraum funktioniert. Geplant war auch einst ein Ableitungstollen oberhalb der Stadt. Die geplanten 128 Mio. SFr. schienen aber zu teuer und der Gemeinderat einigte sich auf eine Objektschutz-Lösung mit erhöhten Mauern entlang der gefährdeten Gebiete, wobei aber von Seiten der Anwohner auf eine niedrigere Höhe als geplant gedrängt

wurde. Zudem muss unterirdisch eine Dammwand gegen das Eindringen von Grundwasser angebracht werden. Auch Renaturierungen entlang der Aare sollen Entlastung bei Hochwässern bringen.

### **Münsterplattform**

Das Berner Münster ist der grösste Sakralbau der Schweiz und ein Hauptwerk der schweizerischen Spätgotik. Im Jahr 1421, 16 Jahre nach dem grossen Stadtbrand von 1405, wurde mit dem Bau begonnen. Dies war ein wesentlicher Impuls für die heimische Steinbruchindustrie. Der Turm endete um 1588 auf einer Höhe von ca. 55 m und wurde erst 1889-1893 vollendet. Heute liegt die Spitze bei 100.6 m. Im Unterschied zum alten Teil wurde bei dem oberen Teil des Turms der verwitterungsbeständigere Oberkirchener Sandstein aus Norddeutschland verwendet. Er ist eher kalkfrei und quarzitisches gebunden, und damit resistenter als der Berner Sandstein.

Die Münsterplattform, diente bis 1531 als Friedhof, danach als Promenade und Lustgarten, eine Funktion, die sie bis heute erfüllt. Ihre heutige Dimension erreichte sie erst im 16. Jahrhundert, nach Auffüllung mit 70.000 m<sup>3</sup> Material, hauptsächlich mit Findlingen und Kies. Bei Renovationsarbeiten wurden in dieser Füllung 1986 ca. 500 Sandsteinskulpturen gefunden, die dem Bildersturm der Reformationzeit 1528 zum Opfer gefallen waren.

Auf der anderen Seite der Aare liegt das Kirchenfeld auf hoch- bis spätglazialen Terrassen der Aare. Bis zur zweiten Hälfte des 19. Jhdts. war das Kirchenfeld weitgehend unbebaut. Dann wurde das Ziel formuliert, dieses Feld für eine betuchte Bürgerschaft vor den Toren der Stadt zu erschliessen. Der Auftrag zur Erschliessung mit einer Brücke wurde einer englischen Baufirma übergeben. Die «British Berne Land Company» erstellte die Eisenkonstruktion der Kirchenfeldbrücke und übergab sie Ende 1883 nach dreijähriger Bauzeit. Noch heute ist das Kirchenfeldquartier ein gehobenes Wohnquartier und Sitz vieler Botschaften.

### **Altstadt**

Die hochmittelalterliche Gründungsstadt war in drei Längsachsen gegliedert mit der heutigen

Kram- und Gerechtigkeitsgasse als Hauptachse. Sie diente nicht nur als Hauptverkehrsachse, sondern auch als Marktplatz und Gerichtsort. Daher hatte diese Gasse von Anfang an ihre heutige Breite. In der Gassenmitte verlief der offene Stadtbach. Die Strasse war früher breiter, da Lauben erst im 15. Jhdt. angefügt wurden. Am 14. Mai 1405 brach ein verheerendes Feuer aus, das in der untern Brunnengasse seinen Anfang nahm und sich rasch stadtaufwärts ausbreitete und den grössten Teil der Stadt in Schutt und Asche legte. Nach dem Stadtbrand wurden die zuvor meist aus Holz errichteten Häuser (3 Stockwerke) als Fachwerk- oder Steinhäuser (4-geschossig) mit den bis heute typischen Lauben gebaut. Die Lauben ersetzen die ehemaligen Marktbuden.

Die vielen Brunnen wurden um 1550, anstelle der ehemaligen hölzernen Brunnen, errichtet und sind ein Symbol des Wohlstandes des damaligen Bürgertums. In Bern stehen heute mehr als 100 dieser Brunnen, mit hervorragender Trinkwasserqualität. Meist handelt es sich um Renaissance-Brunnen mit farbigen Figuren von Hans Gieng (meist 1542-1547). Neben dem Hauptbrunnen gibt es häufig kleine «Sudelbrunnen», die zum Wäsche waschen gedacht waren. Manchmal auch noch ein ganz kleines «Hundebrunnlein». Neuere Brunnen aus dem 18./19. Jhdt. (Klassizismus) sind in der Regel ohne Figur.

Bei den Pflastersteinen der Altstadt handelt es sich meist um Flyschsandstein aus dem Kanton Obwalden, der wegen seiner kantigen und festen Beschaffenheit besonders geeignet ist. Für die Neupflasterung der Gerechtigkeitsgasse und der Kramgasse 2005 wurde auf billige Angebote aus Vietnam verzichtet, stattdessen wurden 3000 t bzw. 250.000 einheimische Pflastersteine verbaut.

Der Zeitlockenturm (Zytglogge) war das erste Westtor der Stadt (1220) und Teil einer künstlichen Befestigungsanlage mit Graben, Ringmauer und Ausfalltor. Auf allen drei anderen Seiten war Bern durch die Aare geschützt. 1255 wurde wegen des raschen Bevölkerungswachstums auf der Höhe des heutigen Käfigturms eine zweite Wehranlage gebaut. Das anhaltende Bevölkerungswachstum führte nach 1344 zu einer

dritten Stadterweiterung bis zum damaligen Christoffelturm. Er war mit 55 m Höhe, nach dem Münster, das damals zweithöchste Gebäude der Stadt. Reste des Christoffelturms, der 1865 abgerissen wurde, sind noch in der Unterführung am Bahnhof zu erkennen.

Nach dem Stadtbrand von 1405 wurde der Zytglogge zum zentralen Uhrturm. Die astronomische Kalenderuhr und das Spielwerk entstanden 1530. Die Turmuhr hatte die Funktion der Hauptuhr der Stadt und war somit massgebend in Bern. Von dort aus wurden die Wegstunden gemessen, welche auf den Stundensteinen der Kantonsstrassen vermerkt sind.

### **Bundeshaus**

Mit dem Inkrafttreten der Bundesverfassung entstand am 12. September 1848 der moderne schweizerische Bundesstaat. Das Bundeshaus West wurde 1852-57, der Ostflügel 1888-92 gebaut. An der Stelle des heutigen Bundeshauses Ost stand zuvor das alte Inselfspital (Bauzeit 1718-1724). Davor stand auf dem Gelände teils ein mittelalterliches Kloster und bis 1294 war auf dem Gelände ein jüdischer Friedhof. Jüngstes der Regierungsgebäude ist das Parlamentsgebäude in der Mitte, das sogenannte Bundeshaus (1894-1902). Mehr als 30 Gesteinsarten aus 11 Kantonen sind hier verbaut. Es ist damit das Bauwerk mit der grössten Gesteinsvielfalt in der Schweiz. Den Bundeplatz davor gibt es in seiner heutigen Form seit 2004. Die 26 Wasserspiele mit ihren Fontänen stehen für die 26 Kantone. Der gesamte Platz ist mit Platten aus Valser Granit ausgelegt.

### **Kleine Schanze**

Im 17. Jhdt. wurde Berns Westseite durch Schanzen geschützt, die während des Dreissigjährigen Krieges zwischen 1622 bis 1634 als Befestigungsanlagen errichtet wurden. Die Anlagen wurden zwischen 1834-1846 weitgehend geschliffen. Auf den letzten Überresten steht heute das 1903 eingeweihte Hauptgebäude der Universität. Die ehemaligen Schanzen sind in der Stadt immer noch als „Kleine Schanze“ (Park vor der Dreifaltigkeitskirche) und „Grosse Schanze“ (Standort, Universität Hauptgebäude) verewigt.

## Literatur

- Bini, A., J.-F. Buoncristiani, S. Couterrand, D. Ellwanger, M. Felber, D. Florineth, H.R. Graf, O. Keller, M. Kelly, C. Schlüchter & P. Schöneich (2009) Die Schweiz während des letzkaltzeitlichen Maximums (LGM). Karte 1:500.000. Bundesamt für Landestopographie, Wabern.
- Gerber, E. (1955) Ergebnisse glazialgeologischer Studien nordöstlich von Bern. In: Mitteilungen Naturforschende Gesellschaft Bern, 12:3-21.
- Isler A. (2005) Erläuterungen zum Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1166 Bern. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.
- Kellerhals, P. & C. Haefeli (1999) Geologischer Atlas der Schweiz 1:25.000, Blatt Nr. 1167 Worb (Atlasblatt 104). Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.
- Labhart, T. & K. Zehnder (2018): Steine Berns. – 2 Bde. (Haupt).
- Preusser, F., H.-R. Graf, O. Keller, E. Krayss & C. Schlüchter (2011) Quaternary glaciation history of northern Switzerland. In: Eiszeitalter und Gegenwart, 60 (2-3):282-305.
- Staeger, D. (1988) Baugrundkarte der Stadt Bern und Umgebung 1:10.000 mit Erläuterungen. In: Beiträge zur Geologie der Schweiz, 80:1-59 + map.
- Veit, H. & C. Gnägi (2014) Die Böden des Berner Mittellandes. Braunerden und Parabraunerden im Spiegel der eiszeitlichen Landschaftsentwicklung. - In: Bäschlin, E., H. Mayer & M. Hasler (Hrsg.): Bern. Stadt und Region. Jahrbuch Geographische Gesellschaft Bern, 64/2014: 267-292.
- Wüthrich, L., E.G. Morabito, J. Zech, M. Trauerstein, H. Veit, C. Gnägi, S. Merchel, A. Scharf, G. Rugel, M. Christl & R. Zech (2018): <sup>10</sup>Be surface exposure dating of the last deglaciation in the Aare Valley, Switzerland. - Swiss Journal of Geosciences, 111: 295-303.

## H-03: Das Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung und Umwelt

### The Centre for Development and Environment (CDE)

Thomas Breu<sup>1</sup>, Urs Wiesmann<sup>1</sup>, Tanja Berger<sup>1</sup>, Moritz Müller<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre for Development and Environment, Universität Bern, Mittelstrasse 43, 3012 Bern; <sup>2</sup>Berner Fachhochschule – Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Länggasse 85, 3052 Zollikofen

---



#### Development of the CDE

Established in 1989, the Centre for Development and Environment (CDE) is a leading research centre on sustainable development.

In 2009, it was selected by the University of Bern as one of its strategic research centres, mandated with promotion of research, teaching, and implementation in the field of sustainable development and global change.

## International and national implementation of the 2030 Agenda

CDE employs approximately 100 staff from 17 disciplines, is active in five regions of the global South in addition to Switzerland and Europe, and is currently implementing over 80 projects with an annual turnover of almost CHF 18 million. A crucial part of CDE's tasks are education and training. CDE offers courses in sustainable develop-

ment and global change at the bachelor's, master's, doctoral, and postgraduate level, currently serving over 400 students. CDE upholds the highest scientific standards and societal relevance in support of global transformations towards sustainable development. Its activities are organized according to three thematic priority areas:

- Land resources
- Socio-economic transitions
- Sustainability governance

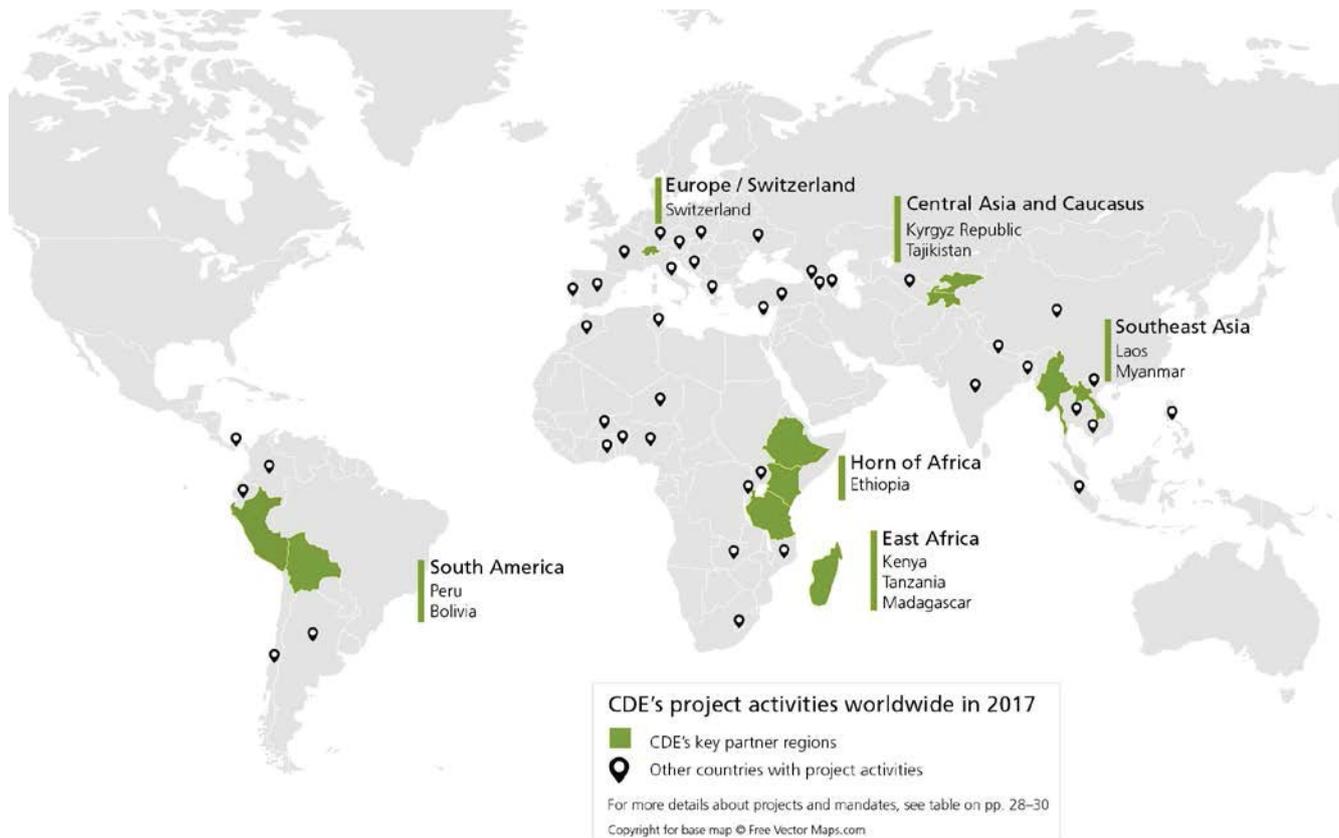


Fig. 1: CDE runs activities with a regional or national focus in 31 countries worldwide

CDE is internationally respected for its work with diverse partners on sustainable development, for beneficially shaping multi-stakeholder dialogues, for harnessing knowledge on behalf of transformative solutions, and for fostering commitments and action among decision-makers in politics, business, and civil society. CDE runs its activities with its research partners in 53 countries worldwide. Key partner regions – some with permanent offices (in brackets) going back as far as 30 years – include East Africa (Kenya), the Horn of Africa (Ethiopia), Southeast Asia (Laos and Myanmar), the Central Andes (Bolivia and Peru), and Central Asia (Kyrgyzstan).

Established in 1989, the Centre for Development and Environment (CDE) is a leading research

centre on sustainable development. In 2009, it was selected by the University of Bern as one of its strategic research centres, mandated with promotion of research, teaching, and implementation in the field of sustainable development and global change.

Building on its unique and longstanding research in the global South, CDE works in concert with global alliances and networks for sustainable development. Its current efforts are especially focused on international and national implementation of the 2030 Agenda, including a prominent role in drafting the UN Global Sustainable Development Report and co-hosting the UN Sustainable Development Solutions Network.



Fig. 2: Researchers are playing an interactive game with villagers in Mahalevona, Madagascar, to find out more about how they manage their land. Photo: Julie Zähringer, CDE (Quelle: <http://www.cde.unibe.ch>)

Overall, CDE maintains links with a broad international network of well-known cooperation partners in research, policy, and implementation, including the Food and Agriculture Organization (FAO), the World Bank, The International Fund for Agricultural Development (IFAD), and the UN Convention to Combat Desertification (UNCCD).

At the national level, CDE has longstanding ties with the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), the Federal Department of Foreign Affairs (FDFA), the State Secretariat for Economic Affairs (SECO), and the Federal Office for the Environment (FOEN).

Finally, based on its strong competence in issues of global development, CDE has become a preferential knowledge partner of Swiss non-governmental organizations working under the umbrella of Alliance Sud (e.g. Helvetas, Swissaid, Caritas, Bread for All).

## Weine und Weinbau in der Schweiz

### Weinprobe

Im Anschluss an die Vorstellung des CDE freuen wir uns, Sie noch auf eine Degustation schweizerischer Weine in unseren Räumen einladen zu dürfen.

### Wussten Sie, dass

- Die Schweiz wie Deutschland ein Weinbaugebiet mit einer sehr alten Tradition ist?
- Hier über 60 Rebsorten angebaut werden, von denen über ein Dutzend alte, autochthone Sorten sind?
- Der Spätburgunder (in der Schweiz Blauburgunder oder Pinot Noir genannt) wie in Deutschland die wichtigste Rotweinsorte ist?
- Die wichtigste Weissweinsorte Gutedel aus dem Genferseegebiet stammt und dort Chasselas genannt wird?
- Die Sorte Müller-Thurgau eigentlich in Deutschland (FA Geisenheim) gezüchtet und von ihrem Züchter Herrmann Müller mit in die Schweiz genommen wurde? Von hier aus trat sie ihren Siegeszug als weltweit erfolgreichste Weissweinsorte an.

### Zum Inhalt

- Einige Zahlen, Bedeutung des Weinbaus in der Schweiz, Vergleich mit ausländischen Anbaugebieten;
- Klimabedingungen, Ausgangsmaterial und Böden, Topographie und Mechanisierung;
- Weingeographie: drei Hauptregionen, sechs offizielle Anbaugebiete: Genf, Waadt, Dreiseenregion (Trois Lacs), Wallis, Deutschschweiz, Tessin;
- Die sechs Hauptsorten; internationale Sorten, Neuzüchtungen, alte, autochthone Rebsorten;
- Gemeinsamkeiten und Berührungspunkte mit dem deutschen Weinbau.

Die «graue Theorie» soll mit typischen Beispielen (ca. 12 Muster) untermalt werden ☺.



Wir freuen uns, Sie im CDE und bei unserer Wein Degustation willkommen zu heissen!

Weitere Infos unter: <http://www.cde.unibe.ch>

## H-04: Das Gut Fruchtland und das Zentrum Paul Klee

Franziska Aebersold

Zentrum Paul Klee, Monument im Fruchtland 3, Bern

---

### Einleitung

Das Zentrum Paul Klee (ZPK) in Bern, wurde nach Plänen von Renzo Piano gebaut und am 20. Juni 2005 eröffnet.

Das vom Chirurgen Maurice Edmond Müller gestifteten Museum befasst sich mit dem Leben und Werk des Malers Paul Klee (1879–1940), der in Bern gut die Hälfte seines Lebens verbracht hat. Das Zentrum Paul Klee soll ein internationales Kompetenzzentrum für die Erforschung, Vermittlung und Präsentation der Person, des Lebens und Werks von Paul Klee sowie dessen Rezeption sein. Mit Bezug auf die vielfältigen Tätigkeiten und Interessen Paul Klees beschränkt sich das Zentrum deshalb nicht nur auf die Präsentation von Klees bildnerischem Werk, sondern ist auch eine Plattform für Musik, Theater, Tanz, Literatur, spartenübergreifende künstlerische Ausdrucksformen aber auch für eine nachhaltige Lebensweise und Landwirtschaft im Einklang mit der Natur.

Eine Besonderheit ist das zum Zentrum gehörige Gut Fruchtland (auch „Monument im Fruchtland“). Es ist kein Park, sondern eine 2,5 Hektar grosse Ackerfläche. Das Fruchtland verbindet Natur, Kultur und Agrikultur. Ein Rundgang bietet Gelegenheit zum Nachdenken über unsere Landwirtschaft und darüber, wie unsere Nahrungsmittel in Zukunft umweltschonend produziert werden könnten.

**Das Zentrum Paul Klee ist eine einzigartige Verbindung von Kunstmuseum, Acker, Bienen und Biodiversität.**

*Die folgenden Abschnitte sind in weiten Teilen der Homepage des Zentrums Paul Klee entnommen (<https://www.zpk.org>)*

### Die Architektur

Auf dem Gelände befinden sich neben dem Zentrum Paul Klee die Villa Schöngrün und der Schosshaldefriedhof mit dem Grab Paul Klees. Die Idee, beim Bau des Zentrums bestand von

Anfang an darin, Natur und Architektur in ein spannendes Verhältnis zueinander zu stellen.

Für den Bau liess sich Renzo Piano von der Identität des Ortes inspirieren. Die sanften Hügel der Umgebung des Berner Mittellandes sollten sich im Bau wiederfinden. Ausserdem war es Pianos ausdrücklicher Wunsch, dass die Fläche um das Gebäude landschaftlich genutzt und nicht zu einer Parkanlage umfunktioniert wird, damit die Einheit von Natur und Architektur nicht zerstört wird.

### *Die Hügelform des Bauwerks*

Die drei Hügel aus denen das Gebäude besteht, verschmelzen als Terrainartikulationen mit dem Gelände und lassen das gesamte Areal zur Landschaftsskulptur werden. Vom Park herkommend ist zuerst nicht ganz klar, ob die drei Wellen künstlich sind oder doch Natur. Erst vor der Hauptfassade sind die Dimensionen offensichtlich: 12 Meter hoch ist die mittlere Welle, über 150 Meter lang die Glasfront gegen die Autobahn (Abb. 1).



Abb. 1: Das in Form von drei Wellen erbaute Zentrum Paul Klee (Quelle: <https://www.zpk.org>)

Ausgehend von den zahlreichen unterschiedlichen Tätigkeiten Klees als Maler, Musiker, Lehrer, Schriftsteller und Naturphilosoph hat das Zentrum Paul Klee zum Ziel, den Künstler in eben dieser Vielschichtigkeit umfassend darzustellen.

Demzufolge hat jeder der drei Hügel eine eigene Aufgabe. Der Hügel Nord dient der praktischen Kunstvermittlung, der Musik, den Konferenzen und den Werkstätten, der Hügel Mitte der Sammlungspräsentation und den Wechselausstellungen, der Hügel Süd der Forschung und Verwaltung.

#### *Die Museumsstrasse*

Die Konstruktion des Zentrums ist zugleich funktional und hoch technisiert. Direkt hinter der Hauptfassade aus Glas liegt der öffentliche Bereich, die sogenannte Museumsstrasse. Diese Rückgratszone verläuft parallel zur Autobahn, ist hell, manchmal laut und für die Besucher die einzige Verbindungsmöglichkeit zwischen den drei Hügeln. Beim Betreten der Ausstellungsräume verändert sich die geräuschvolle Stimmung in stille Betrachtung.

#### *Die Beleuchtung*

Die Werke Klees sind meist Bleistiftzeichnungen und Aquarelle, die nur einer Lichtstärke von höchstens 50 bis 100 Lux ausgesetzt werden dürfen. Der Hauptsaal im Hügel Mitte ist ein reiner Kunstlichtsaal, ebenso wie der Ausstellungsraum im Untergeschoss des Gebäudes. Die Grundbeleuchtung ist im Gewölbe der Stahlträger installiert, die indirekt über die Decke in den Raum strahlt. Die einzelnen Bilder werden mit Spots hervorgehoben. Das Tageslicht, welches durch die gesamte Glassfassade des Gebäudes kommt, wird kontrolliert und über einen automatischen Sonnenschutz gedämpft.

#### *Die Fassade*

Eine Folge der ungewöhnlichen Gebäudegeometrie ist die aufwändige Konstruktion für die 150 Meter lange Glasfassade. Auf ihrer ganzen Länge ist sie in einen oberen und einen unteren Bereich unterteilt. Die beiden Fassadenbereiche sind leicht versetzt und auf einer Höhe von 4 Metern über dem Erdgeschossboden durch das Vordach (Dach der Museumsstrasse) miteinander verbunden. An ihren höchsten Stellen misst die Glasfassade 19 Meter, und mit Flächen von 6 x 1.6 Meter bringen die grössten Glasscheiben nahezu eine halbe Tonne auf die Waage.

#### *Der Erdbau*

Trotz der eindrücklichen Ausmasse der drei Hügel befinden sich grosse Teile des Zentrum Paul Klee in den Untergeschossen. Dies verdeutlichen die rund 180'000 Kubikmeter Erdmasse, die seit dem 15. Oktober 2001 mit rund 15'000 Lastwagenfahrten auf dem Gelände bewegt wurden, die 1'100 Tonnen Stahlträger und die 1'000 Tonnen Armierungsstahl sowie die 10'000 Kubikmeter Beton, die verbaut wurden.

#### **Die Ausstellung des Künstlerischen Werks von Paul Klee**

Der überaus umfangreiche und vielfältige Sammlungsbestand des Zentrums Paul Klee macht es unmöglich, alle Werke auf einmal zu zeigen. Die besondere Empfindlichkeit der Arbeiten Klees erlaubt auch keine klassische Sammlungsausstellung, die unverändert immer dieselben Werke zeigt. Stattdessen präsentiert das Zentrum Paul Klee die hauseigenen Bestände in Form einer sich regelmässig ändernden, rotierenden Auswahl von etwa 120 bis 150 Werken, die jeweils unter einem wechselnden Thema stehen. Zwei Ausstellungsräume bieten Platz für stets neue Auseinandersetzungen mit dem Werk Klees und die Präsentation unterschiedlicher Manifestationen der bildenden Kunst.

#### **Konservatorische «Ruhephasen»**

Der fragile Zustand der Bilder Paul Klees liegt in der besonderen Arbeitsweise des Künstlers begründet: Dieser war nicht nur inhaltlich und formal, sondern auch technisch experimentierfreudig, und verwendete äusserst lichtempfindliche Farben, Tinten und Papiere. Wären sie zu lange dem Licht ausgesetzt, so würden – trotz des gedämpften Lichts in den Ausstellungsräumen, und trotz der verwendeten Schutzgläser – die Farben allmählich ausbleichen oder sich verändern und die Papiere verbräunen und brüchig werden. Daher werden die ausgestellten Arbeiten etwa halbjährlich ausgewechselt und zur «Erholung» ins Depot gebracht. Nur mit solchen «Ruhephasen» kann gewährleistet werden, dass die Kunstwerke unbeeinträchtigt erhalten bleiben und noch lange in ihrer ursprünglichen Schönheit zu erleben sind.

## Paul Klees Wirken in Bern

Nach einer grossen Karriere in Deutschland, u.a. als Lehrer am Bauhaus, sah sich Paul Klee 1933 aufgrund der politischen Entwicklungen und als «entarteter Künstler» gezwungen, in seine Heimatstadt Bern zurückzukehren, wo er sein einmaliges Spätwerk schuf.

### *Berner Ansichten*

Bereits als Gymnasiast füllte Paul Klee seine Skizzenbücher mit Schweizer Landschafts- und Stadtansichten nach Kalenderblättern. Später zeichnete er in der freien Natur auf seinen Ausflügen und Wanderungen, die ihn ins Berner Oberland, nach Luzern oder bis nach Lugano führten (Abb. 2). Verwandte von Klee besaßen ein Hotel in Beatenberg, wo er sich regelmässig aufhielt und die Gelegenheit zum Skizzieren der grandiosen Aussicht nutzte. In Bern besuchte er gerne den nahegelegenen Dählhölzliwald und die Elfenau und spazierte hier der Aare entlang. Auch die Stadt Bern hielt er mehrmals fest: den Zytgloggeturm, das Münster oder Ausblicke auf die Altstadt vom Rosengarten aus. In den Jahren 1909 und 1910 schuf er verschiedene Ansichten des Berner Mattequartiers und experimentierte mit Verzerrung und Verfremdung des Sujets. Daneben hielt er sich gerne zum Zeichnen und Malen im Steinbruch von Ostermundigen auf, dessen Pächter – Alfred Bürgi – er kannte.



Abb. 2: Aarelandschaft von Paul Klee (1900) (Quelle: <https://www.zpk.org>)

### *Die Familie Klee*

Paul Klee wurde am 18. Dezember 1879 in Münchenbuchsee bei Bern als Sohn des aus Deutschland stammenden Hans Wilhelm Klee (1849–1940), Musiklehrer, und Ida Maria Frick (1855–1921), Sängerin und Pianistin, geboren. Im folgenden Jahr zog die Familie, obwohl Hans

Klee weiterhin am Lehrerseminar in Hofwil tätig war, nach Bern um. Hier wuchs Klee zusammen mit seiner drei Jahre älteren Schwester Mathilde (1876–1953) auf. Die Familie Klee wohnte ab 1880 vorerst an der Aarberggasse, danach an der Hallerstrasse 32 und 26 im Länggassquartier und von 1889–1897 an der Marienstrasse 8 im Kirchenfeldquartier. 1897 erwarb sie ein neu gebautes Reihenhaus am Obstbergweg 6, welches über viele Jahre zum Mittelpunkt der Familie wurde. Ab 1899 war die Mutter gelähmt und konnte ihren Beruf nicht weiter ausüben. Während Klee im selben Jahr in München sein Kunststudium begann, blieb Mathilde unverheiratet und kümmerte sich um die Mutter bis zu deren Tod. Klee heiratete im September 1906 die Pianistin Lily Stumpf, die er bereits sieben Jahre früher in München kennengelernt hatte, und zog mit ihr nach München. In den folgenden Jahren verbrachte er regelmässig mit seiner Frau und seinem 1907 geborenen Sohn Felix (1907–1990) die Sommerferien im Elternhaus.

### *Berner Ausstellungen*

Erstmals konnte Klee 1910 in seiner Heimatstadt in einer Ausstellung seine Werke präsentieren. 56 seiner Arbeiten wurden im Kunstmuseum Bern ausgestellt. Danach ging die Ausstellung nach Zürich, Winterthur und Basel weiter.

Die Reaktionen in der Presse waren sehr zurückhaltend oder von Unverständnis gegenüber dem Schaffen von Klee geprägt. Die Kunsthalle Bern zeigte insgesamt in acht Ausstellungen Klees Werke. Zur Ausstellung von 1921 schrieb Hermann Rupf in der Berner Tagwacht: «Alle die fabelhaften Qualitäten seines riesigen Talents aufzuzählen, können wir uns auch für diesmal ersparen, denn Klee gehört einigermassen uns Bernern, und gewiss werden wir noch öfters Gelegenheit haben, zu seinen Werken Stellung zu nehmen.» Zwischen 1931 und 1940 folgten insgesamt drei weitere Ausstellungen von Werken Paul Klees in der Kunsthalle Bern.

### *Lehrtätigkeit am Bauhaus und in Düsseldorf*

Neben seiner künstlerischen Arbeit unterrichtete Paul Klee von 1920 bis 1931 über zehn Jahre am Bauhaus in Weimar und Dessau, bevor er Professor an der Düsseldorfer Kunstakademie wurde, dort entwickelte er eine eigene bildnerische Form- und Gestaltungslehre.

Auf rund 3900 Seiten hielt der pädagogisch engagierte Künstler seine Vorlesungen fest, machte sich Notizen und Zeichnungen und vermittelte so sein Wissen an die Studenten (Abb. 3). Klee unterrichtete keine angehenden Künstler, sondern

wie er selber sagte «Bildner, werktätige Praktiker». Wie Walter Gropius war er überzeugt, dass Kunst an sich nicht lehrbar sei, da diese nur durch Intuition entstehen könne. Ziel seines Unterrichts war, den Studierenden grundlegende Prinzipien der Gestaltung zu vermitteln.

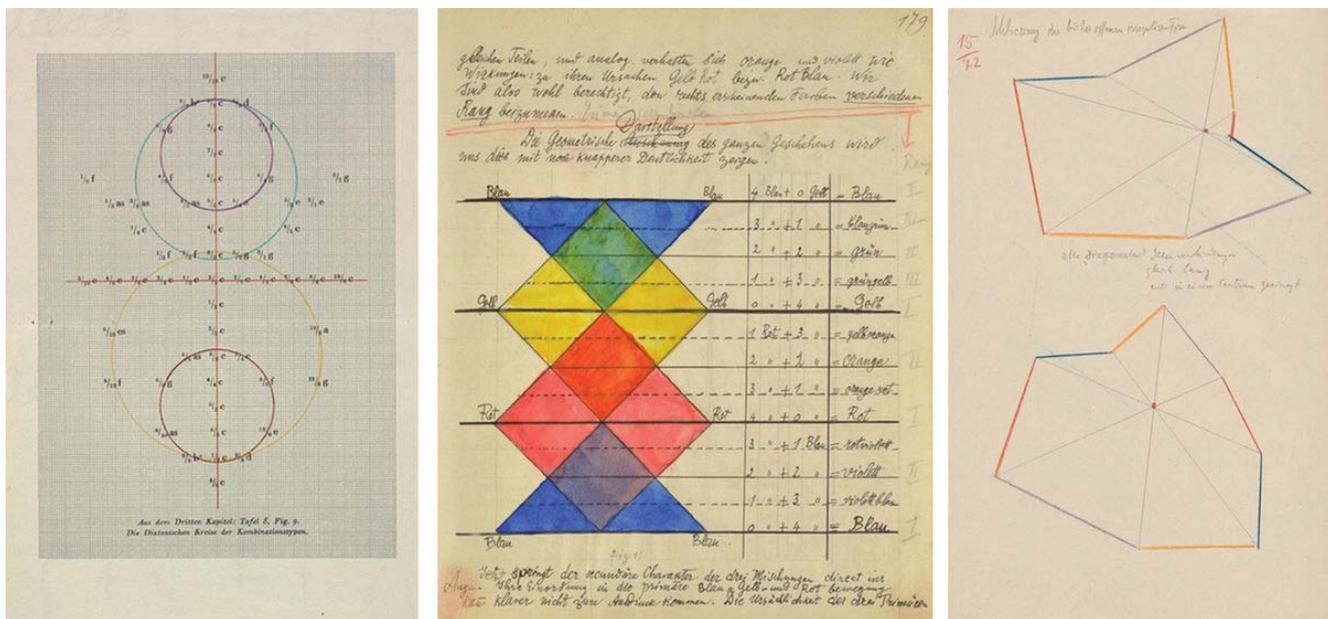


Abb. 3: Notizen aus der Lehrtätigkeit Paul Klees am Bauhaus (Quelle: <https://www.artsy.net>)

### Klees Atelier am Kistlerweg 6

Aufgrund der Machtübernahme der Nationalsozialisten wurde Klee 1933 von seiner Lehrtätigkeit in Düsseldorf suspendiert. Ende Dezember desselben Jahres emigrierten Paul und Lily Klee nach Bern. Kurze Zeit lebten sie am Obstbergweg im Elternhaus von Klee, dann in einer Mansardenwohnung am Kollerweg 6. Erst ab Juni 1934 bezogen sie eine Dreizimmerwohnung am Kistlerweg 6.

In der bescheidenen Wohnung richtete sich Klee im Wohnzimmer sein Atelier ein. Hier entstand sein beeindruckendes und umfangreiches Spätwerk mit fast 3'000 Werken (Abb. 4). Die Wohnung blieb bis ins Jahr 2005 in ihrem Originalzustand erhalten und wurde dann sanft renoviert. Auf Initiative von Osamu Okuda und Walther Fuchs konnten die Fenster und Türrahmen sowie die Beschläge des Wohnzimmers gesichert und in eine originalgetreue Rekonstruktion des Ateliers integriert werden.



Abb. 4: In seinen letzten sieben Jahren schuf Klee ein grossartiges Spätwerk, darunter «Harmonisierter Kampf», 1937. Foto: Zentrum Paul Klee (Quelle: <https://www.derbund.ch>)

### Paul Klees Beschäftigung mit der Natur und einer nachhaltigen Lebensweise

Für Paul Klee war die Natur ein entscheidender Ausgangspunkt seiner Kunst. Sie war für den Künstler und Pädagogen eine unerschöpfliche Quelle der Inspiration. Ein besonderes Augenmerk richtete er dabei auf die Morphologie und das Wachstum der Pflanzen; auf Spaziergängen sammelte er oft Blumen, Gräser und Blätter, vereinte die Gewächse in einem Herbarium und bestimmte sie sachkundig. Er beschäftigte sich in Ägypten mit der Landwirtschaft und dem dort praktizierten Bewässerungsfeldbau.

Auch an der Geologie seiner Heimat zeigte Paul Klee reges Interesse. Besonders der Steinbruch in der Berner Nachbargemeinde Ostermundigen war für den jungen Künstler ein faszinierender Ort und wurde mehrfach von ihm gemalt. Die steilen Wände, die Hell-Dunkel-Kontraste, die Farbe des Sandsteins sowie das Leben im Steinbruch boten ihm vielfältige Möglichkeiten, sich mit verschiedenen Aspekten des bildnerischen Schaffens auseinander zu setzen (Abb. 5).



Abb. 5: Steinbruch, Material: Aquarell und Bleistift auf Papier auf Karton. Das Bild entstand 1915 während Klees Sommeraufenthalt in Bern. Das Aquarell zeigt die schroffen Wände des Steinbruchs von Ostermundigen (Quelle: <https://www.myswitzerland.com>).

### Das Fruchmland beim Zentrum Paul Klee

Die Natur war zentral im Leben von Paul Klee. Monument im Fruchmland heisst ein Aquarell, das er 1929 malte (Abb. 6) und so heisst auch die Umgebung des Zentrums Paul Klee.

Das Fruchmland umfasst 2,5 Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche. Ein Landwirt hat das Grundstück gepachtet und bewirtschaftet es (Abb. 7). Bei der Bewirtschaftung des Geländes arbeiten das Museum und der Landwirt dabei unter anderem mit der Fachhochschule für Agrar-, Forst- und Landwirtschaft (HAFL) zusammen. Agrarökologische Berater des ZPK sind Fritz Häni, Dr. sc. techn. ETH, ehemals Professor für Pflanzenschutz und Agrarökologie an der HAFL und Harald Menzi, Dr. sc. techn. ETH, Bundesamt für Umwelt.

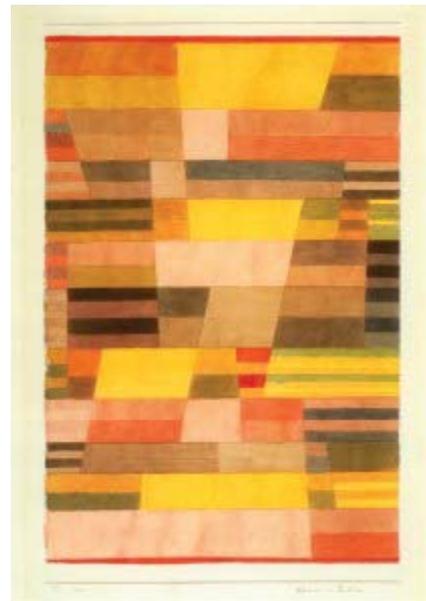


Abb. 6: Monument im Fruchmland von Paul Klee (Quelle: <https://www.zpk.org>)

In der Bewirtschaftung des Fruchtländes spiegelt sich auch das Selbstverständnis des ZPK wieder: „Wie die Künste, so trägt auch die Landwirtschaft eine Verantwortung. Als Eigentümer von fruchtbarem Boden wollen wir uns der Verantwortung stellen, diesen Boden nach nachhaltig-ökologischen Prinzipien zu bewirtschaften. Und v.a. wollen wir darüber sprechen, wie dies geschehen kann und mit welchen Problemen dies verbunden ist.“ Fruchmland verbindet Kultur mit aktuellen Zeitfragen bis hin zu Lösungen zur Überwindung von Hunger und Umweltbedrohungen.



Abb. 7: Ansaat einer Versuchspartelle mit Mais und Sonnenblumen von Hand.

Als Vorbild für Fruchmland dienen Biolandbau, bestimmte Methoden der integrierten Produktion und andere nachhaltige Systeme. Gerne probieren die Verantwortlichen etwas Neues aus. Besonders wichtig ist eine gesunde Fruchtfolge. Mit der Vielfalt der Arten rund um die Ackerfläche sowie mit Ast- und Steinhaufen fördert das ZPK die

Nützlinge. Die elf einheimischen Wildrosenarten sind attraktiv für Insekten.

Im Jahr 2019 steht der Anbau von Getreide und Pseudogetreide – Körnerfrüchte von Pflanzenarten, die nicht zur Familie der Süßgräser, also zu allen echten Getreidearten gehören, aber ähnlich wie Getreide verwendet werden – im Vordergrund beim Anbau auf dem Fruchtländ. Angebaut wird unter anderem Urdinkel an, der für die menschliche Ernährung besonders wertvolle Inhaltsstoffe aufweist.

Ein spezielles Augenmerk richtet das Fruchtländ in 2019 darüber hinaus auf Wildblumen und neu gepflanzte, einheimische Sträuchern und Bäume sowie speziellen Bienen- und Schmetterlingsweiden die zur Erhöhung der Vielfalt der Insektenpopulation beitragen.

### Wanderung zum Steinbruch in Ostermündigen

Optional kann an den Rundgang durch das ZPK und das Fruchtländ noch eine Wanderung zum Steinbruch in Ostermündigen angeschlossen werden.

Die in den Jahren 1999 bis 2001 auf Initiative der Gemeinde Ostermündigen tätige Arbeitsgruppe „Zentrum Paul Klee und die Ostermündiger Steinbrüche“ hat sich Ende 2002 mit einer in der Zwischenzeit gegründeten Initiativgruppe der Stadt Bern „Wege zu Klee“ und mit Vertretern des Zentrums Paul Klee zur gemeindeübergreifenden Projektgruppe „Wege zu Klee“ zusammenschlossen. Ziel dieser Zusammenarbeit war, die Verbindungswege zwischen dem Zentrum Paul Klee und der Stadt Bern einerseits und den Ostermündiger Sandsteinbrüchen andererseits attraktiver zu gestalten. Mit Stationentafeln wurde ein Themenpfad markiert, der mit Aspekten von Leben und Werk Paul Klees vertraut macht. Stationen der persönlichen Biografie, aber auch des künstlerischen Werdegangs werden vorgestellt und mit Werkabbildungen, historischen Aufnahmen und Zitaten von Klee und Zeitgenossen dokumentiert.

Der Weg führt auf Ostermündiger Seite vom Zentrum Paul Klee zum Schosshaldenfriedhof mit Paul Klees Grab, dann durch den Schosshaldenwald nach Ostermündigen, vorbei am alten Stein-

hauerplatz in der Waldeck zum Bahnhof Ostermündigen. Von dort durch das Dorfzentrum mit Zeugen der bäuerlichen und der gewerblichen Geschichte der Gemeinde, dann Anstieg zum Aussichts- und Informationspunkt in den Steinbrüchen (Reproduktionen von Bildern Klees am Ort der Inspiration, Rastplatz mit gedecktem Unterstand). Von den Steinbrüchen führt der Weg abwärts vorwiegend durch Wald und übers freie Feld bei Dennigkofen zurück zum Zentrum Paul Klee (Abb. 8).

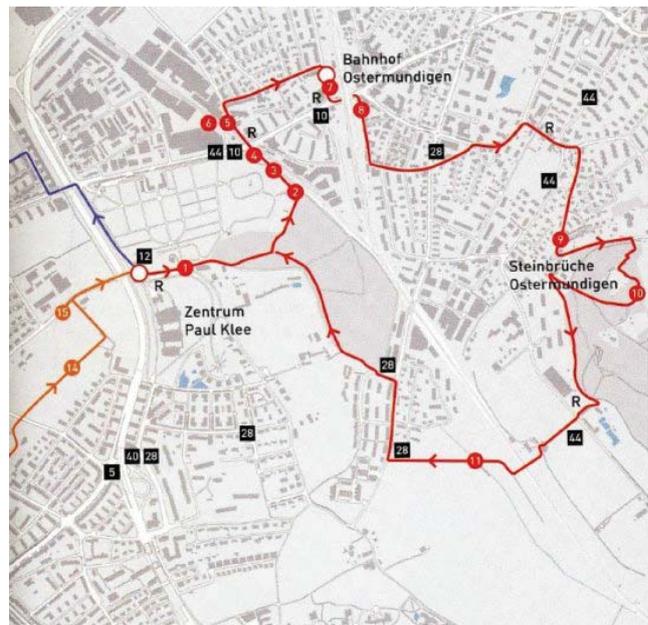


Abb. 8: Rundweg zum Steinbruch Ostermündigen und zurück zum Zentrum Paul Klee.

# K-01: Kinderexkursion nach Liebefeld: Ein Rundgang zum Thema Nachhaltigkeit, Naturschutz und Naturerlebnis

Regula Nussbaum und Mitarbeiter

StadtLand Bern, Sulgenbachstrasse 10, 3007 Bern

## Einleitung

Über das Leben im Boden, im Kompost und im Matsch. Über Bodentypen und ihre Eigenheiten

Warum eine Erde nicht mehr reicht und wie das Theater in die Fabrik kommt.

Was Abfall hergeben kann und wo man Gebäude stapelt. Wie Velos (Fahrräder) nach Afrika kommen oder zu Büroklammern werden.

(Abb. 1).

## WIR SIND BODENTYPEN



Illustrationen „Bruno Braunerde und die Eodentypen“: Anett Hofmann  
Stand: März 2015

Abb. 1: Die Bodentypen (Quelle: <https://www.bodenwelten.de>)

Auf dem interaktiven Rundgang im Liebefeld begegnen wir dem nachhaltigen Lebensstil und begeben uns auf die Suche nach Bewährtem, das umgestaltet und wiederverwendet wird.

Als „Naturdetektive“ erleben, entdecken und erforschen wir den Boden, seine Funktionen und wodurch er in Gefahr gerät.

## Unterm Moos ist was los

Ohne Boden gäbe es kein Leben auf dieser Erde.

Wir bauen unsere Häuser darauf, benutzen ihn als Straße. Ohne den Boden könnten wir kein Getreide und andere Nahrungspflanzen anbauen. Wir brauchen bzw. verbrauchen ihn als Abfalldeponie und belasten ihn enorm durch den Eintrag von Schadstoffen. Jahr für Jahr werden große Mengen fruchtbaren Bodens durch Wasser und Wind abgetragen.

Im ersten Teil unserer Exkursion schauen wir uns den Boden im Wald genauer an:

- Wir lernen ein Stück Boden und seine **Eigenschaften** kennen (Rollprobe, Schlämprobe, Malen mit Bodenfarben).
- Wir lernen die verschiedenen Stockwerke im „**Hochhaus Boden**“ kennen (Bodenprofil anschauen und ansprechen).
- Wir lernen die **Bewohner** der Stockwerke kennen und erfahren wie sie leben (Bodenlebewesen unter Lupe und Mikroskop, der Regenwurm).
- Wir lassen verschiedene Böden im „**Wetlauf des Wassers**“ gegeneinander antreten (Infiltration und Wasserspeichervermögen, Bodenart).
- Wir lernen, **Überlebenskünstler** kennen, die auch mit schwierigen Bodentypen klarkommen (Boden als Pflanzenstandort).
- Und wir schauen uns an, warum der Boden manchmal **weggespült** wird und **filtern Wasser** durch Boden (Erosion, Bodenschutz, Filterfunktion; Abb. 2).



Abb. 2: Der Boden als Wasserfilter

## Ein Rundgang durch das Liebefeld

Stadtböden sind besonderen Gefahren ausgesetzt: Wo viele Menschen leben, entsteht viel Müll und Abwasser, das kann für Böden zum Problem werden. Gleichzeitig wachsen die Städte, immer mehr Boden wird mit Strassen und Häusern bebaut. Wir schauen uns an, was dagegen in Liebefeld unternommen wird:

- Reparieren statt wegwerfen
- Umnutzen statt abreißen
- Häuser stapeln statt ausbreiten
- Sinnvolles basteln mit „Müll“ (Abb. 3).



Abb. 3: Basteln mit Plastikmüll und Tetrapack (Quelle: <https://www.pinterest.de>)



**DBG Mitteilungen Band 119 – 2019 – Exkursionsführer Bern**

**ISSN – 0343-1071**