Mitteilungen der
Naturforschenden Gesellschaft in Bern

Jahresbericht der Bernischen Botanischen Gesellschaft

2022 | BAND 79

# Klimakrise

## Folgen, Herausforderungen und Wege in die Zukunft

Christoph Thalmann

Mitteilungen der
Naturforschenden
Gesellschaft in Bern

# Klimakrise

## Folgen, Herausforderungen und Wege in die Zukunft

Jahresbericht der Bernischen Botanischen Gesellschaft

**Redaktion**

Dr. Christoph Thalmann
Ländlistrasse 40
CH-3047 Bremgarten bei Bern

**Inhaltliche Redaktion BBG**
Dr. Deborah Schäfer
www.bebege.ch

**www.ngbe.ch**

Zitierweise:
Mitt. Natforsch. Ges. Bern NF Bd. 79, Seiten 1–152,
Bern Juli 2022

ISSN 0077-6130

Bezugsquelle:
Dieser Band ist wie früher erschienene Bände zu Fr. 40.–
im Haupt Verlag, Falkenplatz 14, 3001 Bern, und im
Buchhandel erhältlich.

Titelbild:
**Der Ort Saint Saphorin in der Lavaux (Waadt).**
**Foto: www.region-du-leman.ch.**
**Sämtliche Abbildungen finden sich mit Erläuterungen in diesem Band.**

Herstellung: Dominique Heiniger, rubmedia
www.rubmedia.ch

sc | nat

Swiss Academy of Sciences
Akademie der Naturwissenschaften
Accademia di scienze naturali
Académie des sciences naturelles

Die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) hat den Druck dieser Ausgabe mit CHF 7400.– unterstützt.

FSC
www.fsc.org
MIX
Papier | Fördert gute Waldnutzung
FSC® C023093

# Inhalt


Editorial 5

**Sabine Martini und Marcus Schmitt**
Herpetologische Beobachtungen in der Westschweiz (Fribourg, Waadtland) 6

**Matthias Giger und Ursula Menkveld-Gfeller**
Bahnhof Bern – vor 20 Millionen Jahren und in Zukunft – eine Abendexkursion 26

**Michael Moser**
Hüter der Masseinheiten: Das Eidgenössische Institut für Metrologie METAS 36

**Martin Mazurek**
Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz – Eine geologische Perspektive 42

**Matthias Giger**
Tsunami am Genfersee 52

**Moritz Bigalke**
Mikroplastik im Boden 60

**Kirsten Blohm**
Klimakrise: Was Modelle vor 50 Jahren vorhergesagt haben, ist heute Realität
Zusammenfassung des Vortrags von Thomas Stocker vom 08.03.2022 66

**Matthias Giger**
Radiokohlenstoffdatierungen in Archäologie und Klimaforschung – ein Laborbesuch 76

**Christoph Schwörer, Erika Gobet, Willy Tinner**
Was uns die Vergangenheit über die Wälder der Zukunft verrät 84

**Gaston Adamek**
Büsselimoos – Wertschätzung eines Kleinmoors bei Bern
Exkursion der Naturforschenden Gesellschaft Bern vom 11. und 18.5.2021 98

## Bernische Botanische Gesellschaft

Jahresbericht BBG 120

## Naturforschende Gesellschaft in Bern: In eigener Sache

**Erika Gobet und Christoph Schwörer (Co-Präsidium)**
Jahresbericht des Präsidenten 144

**Matthias Haupt**
Rechnungsabschluss 2021 150

# Editorial

In den vergangenen zwei Jahren dominierte die Corona-Pandemie weltweit die Schlagzeilen und verdrängte den Klimawandel vorübergehend aus dem öffentlichen Bewusstsein. Verschwunden sind die Auswirkungen und die damit verbundenen Herausforderungen des Klimawandels deswegen nicht. Aus diesem Grund haben wir dem Jahresprogramm 2022 den Titel «Klimakrise – Folgen, Herausforderungen und Wege in die Zukunft» gegeben.

Zum Auftakt der Vortragsreihe wies Thomas Stocker von der Universität Bern in seinem Beitrag «Klimakrise: was Modelle vor 50 Jahren vorhergesagt haben, ist heute Realität» unter anderem darauf hin, dass bereits 1967 ein Temperaturanstieg in der Troposphäre von 2 °C vorausgesagt wurde, falls sich die atmosphärische $CO_2$-Konzentration verdoppeln sollte (S. Manabe, 1967).

Wenn wir von einer vorindustriellen (vor ca. 1750) $CO_2$-Konzentration von 280 ppm ausgehen und diese mit dem aktuellen (2022) Wert von 420 ppm vergleichen, dann stellen wir eine 50-prozentige Zunahme fest. Diese Zunahme um 50 Prozent entspricht der Hälfte einer $CO_2$-Verdoppelung, somit wäre nach dem Manabe-Modell ein globaler troposphärischer Temperaturanstieg von ca. 1 °C zu erwarten – falls man einen linearen Zusammenhang zwischen $CO_2$-Konzentration und Temperaturanstieg annehmen würde (was eher unrealistisch ist).

Vergleicht man diese Modell-Aussage mit dem tatsächlich gemessenen menschengemachten (anthropogenen) Temperaturanstieg an der Erdoberfläche von 1,07 °C, so ist die Übereinstimmung erstaunlich gut. Allerdings gibt es regionale Unterschiede – die Temperatur in der Schweiz nahm in den letzten 150 Jahren um ca. 2 °C zu. Den Bericht zum Vortrag von Thomas Stocker finden Sie auf Seite 66 in diesem Band.

Seit Februar 2022 ist der Osten Europas zum Schauplatz eines Krieges geworden. Vielleicht fragen Sie sich jetzt, ob der Redaktor hier nicht einen Gedankensprung macht: Was hat denn der Klimawandel mit dem ukrainisch-russischen Konflikt zu tun?

Die Folgen des Klimawandels sehen wir in Form von Extremwetterereignissen – und zwar weltweit. Die Herausforderung für uns Menschen wird darin bestehen, das Energiesystem zu dekarbonisieren, das heisst, auf fossile Energieträger weitgehend zu verzichten und vermehrt auf neue erneuerbare Energien zu setzen.

Seit dem Ausbruch des Krieges im Osten Europas wird uns schlagartig bewusst, wie abhängig wir von den fossilen Energieträgern sind – spätestens an der Zapfsäule spüren wir die massiv gestiegenen Preise. Fossile Energieträger wie Öl und Gas werden zunehmend als Druckmittel zur Durchsetzung von politischen Zielen eingesetzt – wie schon 1973 zur Zeit der Ölpreiskrise.

Wenn es uns gelingt, weitgehend auf fossile Energieträger zu verzichten und möglichst rasch auf neue erneuerbare Energien zu setzen, dann erreichen wir zwei Ziele: Erstens können wir die negativen Folgen des Klimawandels abfedern und zweitens eine weitgehend autarke, also unabhängige Energieversorgung anstreben, denn so reduzieren wir unsere Abhängigkeit von ausländischen Energielieferanten, und wir gewinnen eine grössere Freiheit hinsichtlich politischer Entscheidungen.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen beim Lesen des Mitteilungsbandes.

Christoph Thalmann

# Herpetologische Beobachtungen in der Westschweiz (Fribourg, Waadtland)

**Autoren**

**Sabine Martini[1] und Marcus Schmitt[2]**

## Einleitung

Im Sommer 2021 verbrachten wir eine 10-tägige Urlaubsreise in Fribourg und unternahmen von dort aus Wanderungen in und am Rande der Stadt sowie in westlich und südlich gelegene Teile des Kantons Waadt am Neuenburgersee (Gegend von Yverdon-les-Bains) und am Genfersee (Bourg-en-Lavaux östlich von Lausanne, zwischen den Ortsteilen Grandvaux, Cully und Chexbres). Die dabei berücksichtigten biogeographischen Schweizer Regionen waren (nach Wohlgemut 1996) das Mittelland, sowie, für die Lebensräume an den Hängen im Südwesten des Neuenburger Sees, der Jura *(Abb. 1)*.

Neben den Landschaften und der Avifauna, galt unsere Aufmerksamkeit ganz besonders den Reptilien und Amphibien. Das Wetter während unseres Aufenthaltes zwischen dem 23. Juli und dem 2. August 2021

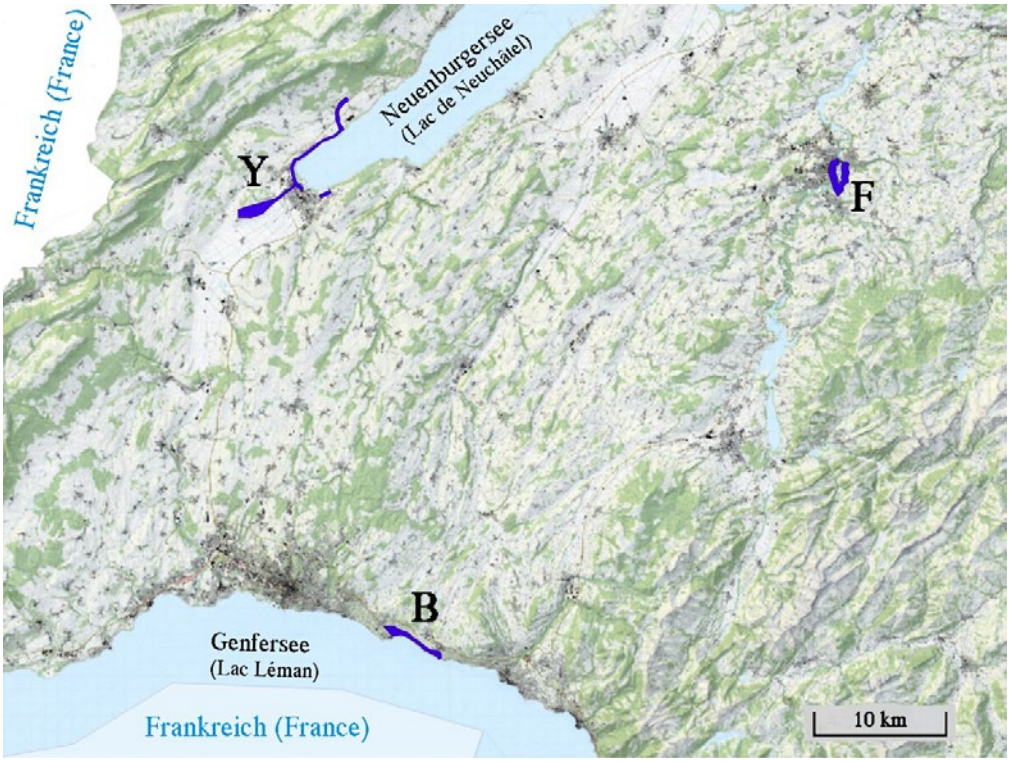



**Abb. 1: Exkursionsgebiete (blau hervorgehoben) im Kanton Waadt bei Bourg-en-Lavaux (B), Fribourg (F) und Yverdon-les-Bains (Y). (Karte genordet)**

1 Sabine Martini, Schloss-Gymnasium Benrath, Hospitalstraße 45, D-40597 Düsseldorf.
2 Marcus Schmitt, Aquatische Ökologie, Gruppe Allgemeine Zoologie, Universität Duisburg-Essen, Universitätsstrasse 5, D-45141 Essen.

war «durchwachsen». Viele Tage waren wolkig, zeitweise schauerte es und die Temperaturen lagen meist zwischen 20 und 24 °C. Diese Bedingungen waren allerdings für unsere Vorhaben nicht nachteilig. Klassisches, strahlungsreiches Sommerwetter verbessert die Chancen, Reptilien aufzuspüren, nicht unbedingt, da die poikilothermen (wechselwarmen) Tiere sich dann nicht längere Zeit an offenen Stellen aufwärmen müssen (und sich dabei zeigen) und zudem agiler sind und schneller flüchten.

Die blau markierten Zielgebiete in *Abb. 1* werden von den Blättern der folgenden Schweizer Landeskarten im Massstab 1:25 000 (LK 25) überstrichen: 1183 Grandson, 1185 Fribourg, 1203 Yverdon-les-Bains, 1205 Rossens und 1243 Lausanne. Einen Überblick über die nachgewiesenen Arten sowie die Fundorte bietet *Tab. 1.*

Die Methode der Erfassung ist schnell geschildert: Wir hielten während der Wanderungen Ausschau nach den Tieren und suchten frei zugängliche «verdächtige» Stellen an den Wegen ab, etwa Steinhaufen, Heckenränder, Mauerspalten oder Tümpel. Gelegentlich wendeten wir Steine oder Holzstücke vorsichtig um und positionierten sie hernach wieder wie vorgefunden. Bei Sichtung wurden die Fundstelle und, soweit möglich, das Tier fotografiert.

Innert dem oben genannten Zeitraum gelang es, 11 Arten sicher zu bestätigen. Weil sich hinter der im Feld durch einfache Sichtbeobachtung kaum zu unterscheidenden Gruppe der Grünfrösche (*Pelophylax* spp.) mindestens eine Art verbirgt, ergeben sich 12 Arten *(Tab. 1)*. Hinzutreten gesichtete, aber nicht genau bestimmte Larven eines Froschlurchs *(Anura)* und von Schwanzlurchen *(Caudata,* syn. *Urodela),* wohinter sich wahrscheinlich zwei weitere Arten verbergen.

Es folgen biologisch-ökologische Abrisse zu den angetroffenen Amphibien und Reptilien (jeweils in alphabetischer Reihung) und zu den Fundsituationen. Im Verlauf dieses Textes wird wiederholt auf die Artkarten des Schweizerischen Zentrums für die Kartografie der Fauna bzw. Centre

| **Amphibien: Arten** | **Fundgebiet** |
|---|---|
| Erdkröte *(Bufo bufo)* | Y (LK 25 1183) |
| Feuersalamander *(Salamandra salamandra)* | B (LK 25 1243) |
| Gelbbauchunke *(Bombina variegata)* | F (LK 25 1185) |
| Grünfrosch *(Pelophylax* sp.) | Y (LK 25 1183, 1203) |
| Seefrosch *(Pelophylax* cf. *ridibundus)* | Y (LK 25 1183) |

| **Reptilien: Arten** | **Fundgebiet** |
|---|---|
| Aspisviper *(Vipera aspis)* | B (LK 25 1243) |
| Barren-Ringelnatter *(Natrix helvetica helvetica)* | F (LK 25 1205)<br>Y (LK 25 1183) |
| Blindschleiche *(Anguis fragilis)* | Y (LK 25 1183) |
| Gelbgrüne Zornnatter *(Hierophis viridiflavus)* | Y (LK 25 1183, 1203) |
| Mauereidechse *(Podarcis muralis)* | B (LK 25 1243)<br>F (LK 25 1185)<br>Y (LK 25 1183, 1203) |
| Schlingnatter *(Coronella austriaca)* | B (LK 25 1243) |
| Westl. Smaragdeidechse *(Lacerta bilineata)* | Y (LK 25 1183) |
| Zauneidechse *(Lacerta agilis)* | F (LK 25 1185) |

**Tab. 1: Gesichtete Amphibien und Reptilien mit Fundgebieten (B: Bourg-en-Lavaux, F: Freiburg, Y: Yverdon-les-Bains) und Nummern der entsprechenden topografischen Landeskarten LK 25.**

Suisse de Cartographie de la Faune (SZKF/CSCF) Bezug genommen, die dieses in Zusammenarbeit mit dem Informationszentrum der Schweiz für Amphibien und Reptilien (info fauna – karch) erarbeitet und online unter https://lepus.unine.ch/carto zugänglich gemacht hat (SZKF/CSCF 2022).

## Notizen zu den vorgefundenen Amphibien

### Erdkröte *(Bufo bufo)*

Die Erdkröte ist ein in der Schweiz weit verbreitetes Amphibium. Es lässt nur die hohe zentrale Alpenregion aus (SZKF/CSCF 2022), erobert aber dort, möglicherweise klimabedingt, neue Lebensräume. Mittlerweile sind Höhenlagen zwischen 2100 und 2200 müNN als Lebensräume (Laichhabitate eingeschlossen) für stabile Erdkrötenpopulationen bekannt (Malkmus & Grossenbacher 2013). Lüscher et al. (2016) stellten zwischen 2000 und 2015 im Berner Oberland 68 Laichgewässer über 1700 m ü. M. fest, was einer Verdopplung des aus den 1970er-Jahren bekannten Wertes entspreche. Die Autoren betonen allerdings, dass diese lokale Ausbreitung keinen generellen Trend widerspiegele. Auf die gesamte Schweiz bezogen gilt die Erdkröte gemäss der (freilich aktualisierungswürdigen) Roten Liste als «gefährdet» (Schmidt & Zumbach 2005). Von grosser Bedeutung für die Art sind u. a. Schwemmholz oder Altholzhaufen (Indermaur 2015, Glandt 2018), die infolge von Gewässerregulierungen und übertriebener forstlicher Ordnungsliebe noch immer zu oft beseitigt werden.

Uns begegnete dieser Froschlurch, etwas verwunderlich, nur einmal. Ein halbwüchsiges Exemplar war in eine Plastikröhre gefallen, die, wozu auch immer, zusammen mit einigen weiteren in einen Grünsteifen am Rande eines Gewerbegebietes über einen halben Meter tief senkrecht eingegraben worden war und deren obere Öffnung bündig zu ebener Erde abschloss – eine «perfekte» Falle für Kleintiere (tatsächlich etwas überdimensionierten Barber-Fallen ähnlich). Darin sass die Kröte gemeinsam mit einem Grünfrosch gefangen. Wir holten beide Anuren aus ihrem Verliess hervor *(Abb. 2)*. In einer Nachbarröhre fand sich der skelettierte Schädel eines Wiesels.

**Abb. 2: Erdkröte und Grünfrosch im direkten Vergleich (beachte neben der Färbung auch die spitze Schnauze des Frosches im Gegensatz zum stumpfen Mundbereich der Kröte). Die beiden Tiere waren in einer eingegrabenen Plastikröhre gefangen.**
Foto: M. Schmitt, 31.7.2022.

**Abb. 3: Feuersalamander in einem Kolk des Champaflon oberhalb von Riex (Lavaux).**
Foto: M. Schmitt, 24.7.2022.

**Feuersalamander** *(Salamandra salamandra)*
Ein Individuum dieses allbekannten Schwanzlurchs sichteten wir am hellen Nachmittag oberhalb der Ortschaft Riex im Weinbaugebiet Lavaux am Genfer See. Es war in einem beckenartigen Kolk des hier verhältnismässig steil fliessenden Baches Champaflon «gefangen» *(Abb. 3)*. Weil der Salamander entkräftet schien, verbrachten wir ihn ans Ufer. Er war eindeutig nicht völlig vital und wies einige kleinere Wunden auf, die möglicherweise infolge seines Bergabdriftens im Wildwasser des Baches entstanden waren. In der Roten Liste der Schweiz wird der Feuersalamander als «verletzlich» geführt (Schmidt & Zumbach 2005), mithin bestehe «ein hohes Risiko, in unmittelbarer Zukunft auszusterben.» Die Verbreitungskarte (SZKF/CSCF 2022) zeigt ein grossflächiges Vorkommen von *S. salamandra* nördlich und südlich (Tessin) des Alpenhauptkammes, auch unser Fundort ist verzeichnet. Der Feuersalamander ist eine Waldart. Für seine Fortpflanzung benötigt er saubere und sauerstoffreiche kühle (schattige) Fliessgewässer, gerne auch Quelltümpel oder saubere Weiher, in Wäldern (Grossenbacher 1988). Die Larven entwickeln sich viele Monate lang im Mutterleib in einer flexiblen Eihülle. Diese reisst in aller Regel bei der Geburt während der Passage durch Uterus und Kloake auf, so dass weit entwickelte Larven ins Wasser abgesetzt werden – man spricht von Ovoviviparie (Ei-Lebend-Geburt) oder genauer von larviparer (larvengebärender) Fortpflanzung (Greven 2003).

Daneben begegneten uns weitere Schwanzlurche *(Urodela)* noch in kleinen angelegten Teichen am Pro Natura-Zentrum von Champ Pittet (bei Yverdon-les-Bains) und im botanischen Garten der Universität Fribourg. Es handelte sich um Molchlarven, deren genaue Bestimmung misslang, da an beiden Fundstätten jeweils nur die Rückenseite der Tiere sichtbar war. Ihre deutliche dunkle Pigmentierung spricht für Larven des Bergmolches (*Ichthyosaura alpestris,* syn. *Mesotriton* a.), der fast in der gesamten Schweiz, die höchsten Lagen ausgenommen, vorkommt (Grossenbacher 1988, SZKF/CSCF 2022).

In Teilen Europas, vor allem in den Niederlanden und im westlichen Deutschland, wird der Feuersalamander seit einiger Zeit von einem aus Südostasien eingeschleppten Hautpilz befallen, dessen lateinischer Name *Batrachochytrium salamandrivorans* (kurz *Bsal*) lautet, und der 2013 erstmals beschrieben wurde (Martel et al. 2013). Das Epitheton bedeutet wörtlich übersetzt «Salamanderfresser» und offenbart, als wie gefährlich die Erkrankung eingestuft wird. Sie ist hochansteckend und verläuft in freier Natur fast immer tödlich. Es gibt Grund zur Annahme, dass der Pilz unentdeckt bereits Anfang der 2000er-Jahre in freier Wildbahn auftrat, nämlich bei Salamandern in der Eifel (Raum Aachen: Lötters et al. 2020). Neben dem Feuersalamander können auch andere Schwanzlurche betroffen sein, etwa der Bergmolch (Schmeller et al. 2020). Froschlurche sind dagegen weniger anfällig. Der Feuersalamander ist offenbar besonders empfindlich, Massensterben und Zusammenbrüche ganzer lokaler Populationen mussten bereits konstatiert werden (Südniederlande: Spitzen et al. 2013, Belgien: Stegen et al. 2017, Deutschland, Nordrhein-Westfalen: Lötters et al. 2020). Nach Literaturlage sind Infektionen freilebender Schwanzlurche in der Schweiz (noch) nicht festgestellt worden. Aber die Distanzen im dicht besiedelten Europa sind kurz und Schweizer Biologen daher alarmiert (Auf der Maur et al. 2020). Das Eidgenössische Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV hat mit einer «Sonderbestimmungen für die Ein- und Ausfuhr von sämtlichen Amphibien der Ordnung der Schwanzlurche (Caudata)» auf die Gefahr reagiert (BLV 2021).

### Gelbbauchunke *(Bombina variegata)*

Dieser kleine Froschlurch, Gelbbauchunken erreichen eine Körperlänge von etwa 5 cm, fand sich am regnerischen ersten August 2021 in einem Tümpel einer Rabatte des Botanischen Gartens der Universität Fribourg *(Abb. 4)*. *Bombina variegata* besiedelt das Hügel- und Bergland («Bergunke») vor allem auf der Alpennordseite und gilt dabei als Pionierart (Glandt 2018, Schmidt et al. 2020), die periodische Gewässer für die Fortpflan-

**Abb. 4: Gelbbauchunke im Botanischen Garten der Universität Freiburg. Die «treibende» Körperhaltung ist typisch für Unken.**
Foto: M. Schmitt, 1.8.2022.

zung benötigt: Wiesensenken, Pfützen und Tümpel, die offen liegen und sich in der Sonne schnell aufheizen. Natürlicherweise finden sich solche Habitate vor allem in Auen auf Sedimentbänken. Die Vergänglichkeit dieser flachen Kleingewässer in trockenen Sommern ist zwar ein Risiko für die sich entwickelnden Kaulquappen, mindert andererseits aber auch den Prädationsdruck etwa durch Fische. Der Trivialname der Art weist auf ihr bauchseitiges gelbschwarzes Fleckenmuster hin, das als aposematische Färbung (Warntracht) angesehen wird, ganz ähnlich, wie das beim Feuersalamander der Fall ist. Beide Arten warnen potentielle, visuell orientierte Fressfeinde (die fähig sind, Farben oder mindestens starke Kontraste zu sehen) mit der auffälligen Kolorierung vor der reizenden Wirkung ihrer Hautgifte. Anders als der Feuersalamander müssen Unken ihre Warnfärbung bei Gefahr erst sichtbar machen, ihre Oberseite ist unauffällig bräunlich und somit tarnend (mimetisch) gestaltet. Bei einem Angriff macht die Unke ein extremes Hohlkreuz, man spricht von «Kahnstellung», und dreht zusätzlich die Flächen der Arme und Beine nach aussen, so dass die Färbung der Unterseite sichtbar wird. Aposematismus, die Verwendung leuchtender Farben und starker Kontraste als Mahnung zur Vorsicht, gibt es auch in der menschlichen Kultur, man denke an Warnhinweise auf Chemikalien und Verkehrsschildern oder an rote Ampeln.

Die Gelbbauchunke, die als weiteres bemerkenswertes morphologisches Detail eine dreieckige oder herzförmige Pupille besitzt, ist auch und gerade in anthropogenen (sekundären) Habitaten wie Kiesgruben und Steinbrüchen zu Hause. Die Rote Liste führt sie, wiewohl noch weit verbreitet, als «stark gefährdet», da die Bestände infolge von Lebensraumzerstörung, z. B. durch Intensivierung der Rohstoffgewinnung, seit einiger Zeit zurückgehen (Schmidt et al. 2020).

Neben *B. variegata* beobachteten wir am selben ersten Augusttag im Botanischen Garten auch Kaulquappen, die aufgrund ihrer schwarzen Färbung und der Jahreszeit wohl der Kreuzkröte *(Epidalea calamita,* syn. *Bufo c.)* zuzuordnen waren. Die Kreuzkröte besitzt neben der Gelbbauchunke die längste Laichperiode aller Froschlurche, sie reicht von April bis Juli/August. Dieser Umstand spricht gegen die äusserlich ähnlichen Larven der Erdkröte *(Bufo bufo).* In Verbreitung, Ökologie und Gefährdungssituation sind sich Kreuzkröte und Gelbbauchunke recht ähnlich, auch der Rote-Liste-Status ist derselbe (stark gefährdet; Schmidt & Zumbach 2005). Interessanterweise erbrachte eine intensive Inventur wildlebender Arten im Botanischen Garten der Universität Bern 2019 keine Nachweise von Gelbbauchunke und Kreuzkröte, dafür jedoch vier andere Amphibienarten (Rembold et al. 2020).

### Grünfrösche, Wasserfrösche *(Pelophylax* spp.)

Die Grünfrösche (nicht nur) der Schweiz bilden einen kaum zu durchschauenden Artenkomplex. Ursächlich dafür ist zum einen die schon länger bekannte Fähigkeit der Arten zur Hybridbildung. Zum anderen vervielfachen in jüngerer Zeit aus anderen europäischen Regionen in die Schweiz eingeschleppte, morphologisch kaum zu trennende Grünfroschspezies das Hybridisierungspotential weiter (Dubey et al. 2014, Dufresnes et al. 2017). Eine Bestimmung im Felde ist sogar dann anspruchsvoll, wenn man die Tiere fängt und in der Hand untersucht (was wir nicht taten). Autochthon sind in der Schweiz nur die in ganz West- und Mitteleuropa verbreiteten Arten Kleiner Wasserfrosch *(P. lessonae)* und Teichfrosch *(«P. esculentus»).* Letzterer ist ein Hybrid der Elternarten Kleiner Wasserfrosch und Seefrosch *(P. ridibundus),* worauf der in Anführung gesetzte Artname hinweist. Alternativ kann er auch als *Pelophylax* kl. *esculentus* bezeichnet werden. Das Kürzel «kl.» steht dann für «Klepton» (griechisch kléptein = stehlen) und besagt in aller Kürze, dass sich die Hybrid-«Art» selbst erhält. Dies, weil, bei Diploidie, eine erfolgreiche Paarung des Teichfrosches nur mit einer der beiden Elternarten funktioniert (meist ist das *P. lessonae),* dabei aber immer nur wieder Teichfrösche, also Hybride, entstehen (Schlüpmann 2005, Arioli et al. 2010). Das heisst, die Elternart wird zwar

**Abb. 5: Stattlicher Grünfrosch in der Aue des Mujon (Yverdon-les-Bains), wahrscheinlich ein Seefrosch.**
Foto: M. Schmitt, 25.7.2022.

für die Paarung gebraucht, tritt in der Nachkommenschaft aber nicht auf. Sie wird quasi «ausgenutzt», ihr Chromosomensatz «gestohlen». Überdies gibt es aber auch Populationen mit triploiden Individuen, die entweder zwei Chromosomensätze (einer davon «gestohlen») von *lessonae* und einen von *ridibundus* oder zwei von *ridibundus* und einen von *lessonae* tragen, und die sich dann ohne syntope Elternarten fruchtbar reproduzieren können. Auf diese Weise, Triploidie, bleiben also auch reine Teichfroschpopulationen bestehen. In Yverdon-les-Bains, genauer in der Aue des Baches Mujon kurz vor der Mündung in den Neuenburger See, trafen wir Grünfrösche von stattlicher Grösse an (deutlich >10 cm, *Abb. 5),* die den Verdacht auf Seefrosch nährten. Dieser ist an seinen Paarungsrufen, die Elemente eines keckernden Lachens enthalten, zwar vergleichsweise gut zu bestimmen. Die Tiere waren während unseres Besuches im Hochsommer, ausserhalb der Paarungszeit, allerdings stumm. Dass *P. ridibundus* auch in der Schweiz vorkommt, ist Folge einer Entwicklung seit etwa der Mitte des 20. Jahrhunderts, wie dies Grossenbaum (1988) recht präzise nachgezeichnet hat. In seinem Verbreitungsatlas der Amphibien der Schweiz waren, Stand 1988, Genfer See und Rhonetal wie auch die Gegend zwischen Lausanne und Yverdon-les-Bains Verbreitungszentren von *P. ridibundus.* Kleinere Populationen gab es auch schon im Grenzgebiet zu Deutschland und Österreich. Inzwischen hat «der» Seefrosch weite Teile der Nordschweiz erobert, mit Schwerpunkten nach wie vor im Westen und Nordwesten (SZKF/CSCF 2022). Die Situation in der Schweiz wie im übrigen Westeuropa ist, wie genetische Analysen ergaben (und auch nur sie ergeben konnten), durch Einschleppung weiterer europäischer (Sub-)Spezies aus dem Artenkreis der Seefrösche längst noch unübersichtlicher geworden (Dubey et al. 2018), so dass nun oft, beispielsweise auf der Verbreitungskarte des SZKF/CSCF (2022), vom «Seefrosch-Komplex» die Rede ist *(P. ridibundus* aggr.).

Kurzum: Fest steht, dass die von uns im Süden des Neuenburger Sees, nämlich auf dem Gelände des Pro Natura-Zentrums von

Champ Pittet (Yverdon-les-Bains), in der Aue des Mujon (Yverdon-les-Bains) und am Seeufer von Grandson vorgefundenen Froschlurche um Grünfrösche («Wasserfrösche») gehandelt hat, unter denen, zieht man die Körpergrösse in Betracht, zumindest in der Mujon-Aue auch Seefrösche gewesen sein dürften.

## Bemerkungen über die Reptilien

### Aspisviper *(Vipera aspis)*

Die Aspisviper ist neben der Kreuzotter *(Vipera berus)* die einzige Giftschlange der Schweiz. Sie weist die für Vipern typischen Merkmale einer senkrechten Pupille und eines eher «plumpen» Körperbaues auf, was für Schlangen heisst, dass sich der Hinterleib rasch zu einem kurzen Schwanz verjüngt. Die Zickzack-Zeichnung auf dem Rücken, die vielen anderen Europäischen Arten der Gattung eigen ist, löst sich bei der Aspisviper meist in eine Abfolge schräg stehender Barren auf. Die Schnauzenspitze ist leicht aufgeworfen, die Schuppen bilden dort eine (in Seitenansicht feststellbare) prägnante Kante aus. Grundfärbung und Zeichnung der Art sind sehr variabel (Hofer et al. 2001), ein Anlass für die schon früh erfolgte Einteilung in mehrere Unterarten. Allerdings ist die aktuelle Anzahl der Subspezies – vier oder fünf, davon zwei oder drei in der Schweiz – umstritten (Golay et al. 2008). Schwärzlinge treten gehäuft in waldreichen, kühl-schattigen Gebirgslagen auf (in den Alpen also auf mittlerer Höhe), wo ihre Dunkelfärbung ihnen eine verbesserte Absorption der Wärmestrahlung erlaubt (Castella et al. 2013).

Schwerpunkte der Verbreitung von *V. aspis* sind Frankreich (bis fast an die Luxemburger Grenze), die Schweiz und Italien. Selbst im äussersten Südwesten Deutschlands (Südschwarzwald) ist diese Art vertreten, wenn auch sehr selten und vom Aussterben bedroht (Glandt 2018). In der Schweiz ist sie dagegen relativ weit verbreitet, konzentriert sich dabei auf den Jura im Westen, auf den südlichen Kanton Bern, das Wallis und auf das Tessin (Hofer et al. 2001). Im Schweizer Mittelland fehlt die Art weitgehend, vom südlichsten Part am Genfer See abgesehen.

**Abb. 6: Adulte Aspisviper in den Weinbergen des Lavaux.** Foto: M. Schmitt, 24.7.2022.

Ebendort, auf einer südexponierten steinigen Brache in den Weinbergen des Lavaux unweit von Riex (Gemeindegebiete von Bourg-en-Lauvaux), beobachteten wir am 24.7.2022 bei wolkigem, mässig warmem Wetter ein sich bei diffuser Strahlung «sonnendes» adultes Tier *(Abb. 6).* Drei Tage später suchten wir die Stelle erneut auf, die Schlange zeigte sich jedoch nicht. Dafür stiessen wir kaum 10 m von der alten Fundstelle entfernt, unmittelbar am Rande der Rebstöcke, auf die eingetrocknete «Mumie» einer bereits länger toten Aspisviper.

Trotz ihrer weiten Verbreitung wird *V. aspis* in der Roten Liste der Schweiz als «vom Aussterben bedroht» (CR = critically endangered) erwähnt (Monney & Meyer 2005).

### Barren-Ringelnatter *(Natrix helvetica)*

Die Barrenringelnatter oder Westliche Ringelnatter wurde auf Basis genetischer Analysen erst 2017 von der «eigentlichen» Ringelnatter getrennt, die nunmehr «Nördliche» oder «Östliche Ringelnatter» *(N. natrix)* genannt wird (Kindler et al. 2017). Auf diese Weise gewann Mitteleuropa mithin eine Schlangenart hinzu. *Natrix helvetica,* namentlich also die «Schweizer Ringelnatter», zerfällt in – nach aktuellem Stand – fünf Unterarten (Kindler & Fritz 2018), wobei in der Schweiz die Nominatform vorkommt *(N. helvetica helvetica).* Sie ist generell ein westeuropäisches Faunenelement, das auch in Frankreich, den Beneluxländern, England und Schottland sowie im Westen Deutschlands lebt. Die Östliche Ringelnatter existiert, wie Kindler et al. (2017) festhalten, tendenziell östlich des Rheins bis Südskandinavien und weit nach Russland hinein. Abwärts vom Oberrheingraben bildet der Fluss aber keine «strenge» Grenze. So dringt die Barrenringelnatter etwa in Nordrhein-Westfalen weit in rechtsrheinisches Gebiet vor (Schlüpmann 1982, Kindler et al. 2017, Martini & Schmitt unpubl.). Eine offenbar natürliche Population von *N. helvetica* ist zudem seit kurzem aus Bayern bekannt (Glaw et al. 2019).

Den Verfassern des vorliegenden Textes glückten zwei Sichtungen von Schweizer Barrenringelnattern: Am 26.7. auf dem Gebiet der Gemeinde Pierrafortscha vor den Toren Fribourgs, das grosse, etwa 110 cm lange Weibchen lag vor einem Heckenstrei-

**Abb. 7: Grosses, gut 100 cm langes Weibchen der Barren-Ringelnatter auf einer Wiese im oberen Bereich des Tals der Saane (Sarine) bei Pierrafortscha/Fribourg.** Foto: M. Schmitt, 26.7.2022.

**Abb. 8: Gelbgrüne Zornnatter auf einer Weinbergsmauer bei Onnens/Bonnevillars (am Neuenburger See); die eindrucksvolle Schlange war etwa 130 cm lang.** Foto: M. Schmitt, 31.7.2022.

fen auf einer Wiese am Oberhang des Saane-Tales *(Abb. 7),* und am 31.7. auf einem Holzpolter im Auwald des Neuenburger Sees bei Grandson (mehrjähriges Jungtier).

In der Schweiz gibt es übrigens auch die Östliche Ringelnatter *(N. natrix),* nämlich etwa zwischen Brugg und dem Bodensee (SZKF/CSCF 2022), also passenderweise im Nordosten des Landes. Nicht zuletzt aufgrund dieses relativ kleinen Bereichs, wird sie in der Roten Liste als «stark gefährdet» beurteilt, während die in der gesamten übrigen Schweiz verbreitete Barrenringelnatter als «verletzlich» gilt (Monney & Meyer 2005).

### Gelbgrüne Zornnatter *(Hierophis viridiflavus)*

Zornnattern sind rund um das Mittelmeer mit etlichen Arten (aus mehreren Gattungen) verbreitet. Der Trivialname spielt auf ihre Neigung an, sich einem Ergreifen mit heftigen – ungiftigen – Abwehrbissen zu widersetzten und verdankt sich möglicherweise auch ihrer Rasanz bei Beutejagd oder Flucht. Die Gelbgrüne Zornnatter ist die am weitesten nach Norden vordringende Art der Gruppe. Es handelt sich um eine grosse und kräftige Natter, die eine Länge von mehr als 160 cm erreichen kann (Glandt 2018). Ihr Verbreitungsgebiet stimmt in bemerkenswerter Weise mit dem der Aspisviper überein. *Hierophis viridiflavus* besiedelt weite Teile Frankreichs (bis auf den Nordwesten) und fast ganz Italien. In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat sie ihr Areal offenbar ausgedehnt, wie Untersuchungen aus Frankreich erbrachten (Rivallin et al. 2017). Demnach tritt sie nun selbst im Grossraum von Paris und der südöstlichen Normandie auf. Auch der französische Jura wird, von den Höhenlagen abgesehen, grossflächig besiedelt, ebenso weiter nördlich liegende Bereiche um die obere Mosel bis hin zum Südrand der Vogesen (ebd.). In der Schweiz liegt das Hauptvorkommen im Tessin, ausserdem in der Region Genf. Diese Bestände gelten als autochthon oder zumindest als seit der Antike etabliert, wie Hofer et al. (2001) berichten. Die aktuelle Schweizer Verbreitungskarte des SZKF/CSCF (2022) bildet einige in den letzten zwei Jahrzehnten hinzugekommene Vorkommen für *H. viridiflavus* ab, etwa im Osten des Genfer Sees oder im Tal der Rhone beispielsweise bei

Martigny und Sion. Bereits Hofer et al. (2001) wiesen auf in jüngerer Zeit erfolgte Aussetzungen der Gelbgrünen Zornnatter am Mont de Chamblon und bei Onnens am Ostrand des Jura hin. Beide Orte liegen in der Nachbarschaft von Yverdon-les-Bains am Südende des Neuenburger Sees und wurden von uns in Kenntnis um die dortigen (allochthonen) Populationen am 28.7. bzw. 31.7. aufgesucht. In der Hügellandschaft des Mont de Chamblon gelang nach stundenlanger Suche in unmittelbarer Nähe der Veranstaltungshütte Refuge de Suscévaz (unterhalb des in der Gegend landschaftsprägenden Truppenübungsplatzes) die Sichtung von zwei Exemplaren der Gelbgrünen Zornnatter auf totem bodenliegendem Gezweig im Halbschatten eines aufgelichteten Waldstückes. Die Tiere waren so gut getarnt, dass sie erst im letzten Augenblick bei der Flucht entdeckt werden konnten – zu spät für den verdutzten Fotografen. Drei Tage später glückte es uns in einem gut 10 km nordostwärts gelegenen kleinen Weinbaugebiet oberhalb der Autobahn A5 bei Onnens (unweit vom benachbarten Bonvillars), drei adulte Zornnattern zu bestätigen, von denen eine sich überraschend geduldig fotografieren liess *(Abb. 8)* – vielleicht eine Folge des relativ trüben und strahlungsarmen Sommerwetters jenes Tages. Eine spätere Nachmessung am Bildschirm ergab eine Körperlänge von wenigstens 130 cm.

In der Schweiz tritt diese Schlangenart in zwei Farbmorphen auf, einer dunklen im Südosten (Tessin) und in einer für westliche Populationen (mit Verbreitungsschwerpunkt in Frankreich) typischen, oberseits gelb gesprenkelten Form (Hofer et al. 2001). Diese Gestalt wiesen auch alle fünf von uns beobachteten Exemplare auf. Findet *H. viridiflavus* günstige Habitatstrukturen wie Mauern, Steinhaufen oder südexponierte Vegetationssäume vor, kennzeichnend für die Kulturlandschaft, und stimmen die klimatischen Bedingungen für die Entwicklung der z. B. in Mauerlöchern oder in Sand abgelegten Eier (Glandt 2018), besitzt sie dank ihrer hohen Mobilität ein beträchtliches Ausbreitungspotential (Hofer et al. 2001). Auch die hier angesprochene nördlichste Schweizer Population rund um Yver-

**Abb. 9: Mauereidechsen an der Abtei Magerau, Fribourg. Diese Art wurde bei weitem am häufgsten gesichtet und in allen besuchten Regionen angetroffen.**
Foto: M. Schmitt, 26.7.2022.

don-les-Bains scheint sich in den letzten beiden Jahrzehnten weiter gefestigt zu haben, denn aus zwei (Hofer et al. 2001) sind inzwischen sieben Fundpunkte (SZKF/CSCF 2022) geworden. Dennoch wird *H. viridiflavus* in der Roten Liste in die Kategorie «stark gefährdet» eingereiht (Monney & Meyer 2005).

### Mauereidechse *(Podarcis muralis)*

Mauereidechsen begegneten uns in allen besuchten Landschaften, sobald offene, sonnenexponierte Mauern oder Totholzstücke (auch Sitzbänke) vorhanden waren. In Fribourg trafen wir sie im Saane-Tal rund um die Abtei Magerau (Abbaye de la Maigrauge) oder an Loretokapelle und Bürglentor in grösserer Zahl an *(Abb. 9).* Besonders viele Exemplare liessen sich im Weinbaugebiet Lavaux am Genfer See beobachten, wo sie die Besucher bereits am Bahnhof von Grandvaux begrüssten. Bedeutsame Habitatrequisiten für *P. muralis* sind ein grosses Mass an Mauerspalten, wie sie vor allem Trockenmauern bieten, oder enge Zwischenräumen in Naturfels, Lesesteinhaufen, Holzpoltern etc., die den an senkrechten Wänden sehr behände kletternden Eidechsen kurze Wege in sichere Zufluchtsstätten bieten. Nach Einschätzung von Hofer et al. (2001) gelang es *P. muralis* als einzigem Reptil der Schweiz, sein Verbreitungsareal im 20. Jahrhundert signifikant zu erweitern. Die Ausdehnung menschlicher Siedlungen und die damit einhergehende Öffnung (Entwaldung) der Landschaft samt Bereitstellung von Mauerwerk, Zäunen, Schuttlagerplätzen oder Steinbrüchen sowie Bahntrassen (Schotter) ist dieser Art entgegengekommen. Vergleicht man die Verbreitungskarte (Stand 1999) von Hofer et al. (2001) mit der des SZKF/CSCF (2022), bestätigt sich die Ausbreitungstendenz der Mauereidechse erneut. Demnach sind in den letzten 20 Jahren insbesondere im Bereich zwischen Bern und Lausanne, auch im Grossraum Zürich, etliche neue Fundorte bekannt geworden. Inwieweit es sich um eine «natürliche» Ausbreitung der Eidechsen selbst oder aber um Introduktionen handelt, möglicherweise auch von Unterarten aus anderen europäischen Regionen, ist gleichwohl nur sehr schwer auszumachen. Allochthone Tiere sind in Mitteleuropa an vielen Stellen zu erwarten (Hofer et al. 2001, Schulte et al. 2011, Glandt 2018). Nach Dubey et al. (2018) kommt im Alpenraum die anthropogene Verbringung von Mauereidechsen (und anderen Elementen der Herpetofauna) von der Süd- auf die Nordseite häufig vor.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass *P. muralis* neben Hauskatzen und Pestiziden lokal der Ersatz von Trockenmauern zugunsten von mit verwitterungsbeständigem Mörtel verfugten Mauern zu schaffen macht. So verlieren die Eidechsen Versteck- und Überwinterungsplätze (Schulte 2008, Wagner et al. 2015, Schoof et al. 2017). Die Rote Liste stuft *P. muralis* für die Gesamtschweiz als «nicht gefährdet» ein, nennt aber für die Nominatform *(P. muralis muralis)* eine Gefährdung in den Kantonen Aargau, Schaffhausen und Zürich.

### Schlingnatter *(Coronella austriaca)*

Schlingnattern gelten ob ihrer verborgenen Lebensweise als schwierig nachzuweisen (Schulte et al. 2013, Hofer 2016). Selbst methodische Nachsuchen ergaben im Vergleich zu anderen Schweizer Schlangenarten geringe Bestandsdichten (Hofer et al. 2001). *Coronella austriaca* ist eine relativ kleine, schlanke, bis 80 cm lange Natter. Die Körperschuppen sind sehr glatt, daher auch der Alternativname «Glattnatter». Als Nahrung dienen ihr unter anderem Kleinsäuger, vor allem aber Reptilien, vorzugsweise Eidechsen, aber auch (junge) Schlangen, darunter sogar Vipern (Di Nicola et al. 2020).

Wir fanden ein noch nicht ausgewachsenes, unter 50 cm langes Exemplar von *C. austriaca* in den Weinbergen von Bourgen-Lavaux am Genfer See zwischen den Gemeindegebieten Grandvaux und Riex. Die Schlange hatte sich in die Fuge einer Betonmauer zurückgezogen *(Abb. 10),* wo sie mithilfe einer Taschenlampe aufgespürt werden konnte. Einige hundert Meter weiter, oberhalb von Cully, entdeckten wir am selben Tag noch das Natternhemd einer zweiten, etwas grösseren Artgenossin. Die im selben Gebiet (syntop) zahlreichen Mauereidechsen stellen gewiss die wichtigste Nahrungsgrundlage der Schlingnattern des Lavaux dar.

**Abb. 10: Diese Schlingnatter hat sich in den Weinbergen bei Riex (Bourg-en-Lavaux) in den senkrechten Spalt einer Stützmauer aus Beton zurückgezogen.** Foto: M. Schmitt, 24.7.2022.

Mauerritzen, Steinhaufen und Schotterbänke sind für beide Arten wesentliche Lebensraumrequisiten. Neubau oder Sanierung inkl. Verfugung von Mauern sowie der Abbau von Schotter mindern die besiedelbaren Habitatstrukturen und infolgedessen auch die Bestände der Schlingnatter (Hofer et al. 2001, Schoof et al. 2017), deren Rote-Liste-Status in Hinblick auf die gesamte Schweiz mit «verletzlich», für das Mittelland sogar mit «vom Aussterben bedroht» angegeben wird (Monney & Meyer 2005).

### Westliche Blindschleiche *(Anguis fragilis)*

Die Westliche Blindschleiche ist das am weitesten verbreitete Reptil der Schweiz (SZKF/CSCF 2022) und gilt der Roten Liste zufolge als «nicht gefährdet», wenngleich gemäss Monney & Meyer (2005) ein Rückgang im Tiefland zu verzeichnen ist. Interessanterweise wiesen Hofer et al. (2001) eine markante Verbreitungslücke (oder Meldelücke?) im südlichen Mittelland zwischen Neuenburger und Genfer See aus, die aber inzwischen geschlossen zu sein scheint (SZKF/CSCF 2022). Wir fanden die Blindschleiche trotz passender Witterungsbedingungen und vieler artgemässer Lebensräume nur ein einziges Mal, nämlich zwischen Yverdon-les-Bains und Grandson als Totfund an einem Rad- und Wanderweg entlang des den Neuenburger See begleitenden Auwalds *(Abb. 11).*

Im Tessin exisitiert noch eine zweite, nahe verwandte Schleichenart, die Italienische Blindschleiche *(A. veronensis).* Diese wurde bereits Anfang des 19. Jahrhunderts als eigene Art beschrieben, was sich indes nicht durchsetzte, so dass sie für lange Zeit wieder *A. fragilis* zugeordnet wurde. Erst 2013 erfolgte die derzeit gültige Anerkennung als eigene Art (Gvoždík et al. 2013). Beide Schleichenarten sehen einander so ähnlich, dass unsere Artdiagnose auf dem Fundort fusst.

### Westliche Smaragdeidechse *(Lacerta bilineata)*

Diese prächtige Eidechsenart ist die grösste Schweizer Echse. Alte Männchen sind leuch-

tend grün und können von Schnauzen- bis Schwanzspitze gut 40 cm lang werden. Für *L. bilineata* notieren wir einen Einzelfund. Ein für ein qualitativ brauchbares Foto allzu fluchtbereites weibliches Exemplar zeigte sich auf einer gebüschreichen Weinbergsbrache in den Juraausläufern oberhalb von Onnens. Dieser Fundort im Südwesten des Neuenburger Sees ist gemäss SZKF/CSCF (2022) einer der beiden nördlichsten im Lande. Das Vorkommen gilt ausweislich derselben Datenquelle allerdings als allochthon. Dass es auf Einschleppung (oder Aussetzung) zurückzuführen ist, bekundeten bereits Hofer et al. (2001). Bei Lausanne, etwa 30 km südwärts, existiert die nächstliegende mutmasslich natürliche Population (Hofer et al. 2001, SZKF/CSCF 2022). Ansonsten konzentrieren sich die Schweizer Populationen der laut Roter Liste (Monney & Meyer 2005) stark zurückgegangenen und als «verletzlich» eingestuften Smaragdeidechse von West nach Ost auf den Kanton Genf, das Rhonetal in Waadt und Wallis, sowie das Tessin (SZKF/CSCF 2022).

### Zauneidechse *(Lacerta agilis)*

Die Zauneidechse ist in der Nord- und Westschweiz weit verbreitet und besiedelt auch die Täler von Inn (En), Vorderrhein und Rhone. Sogar im Tessin gibt es neuerdings einen Fund (von 2021: SZKF/CSCF 2022). Hinsichtlich ihrer Grösse steht sie zwischen der schlanken, flach gebauten Mauereidechse und der kräftigeren Smaragdeidechse. Sie ist im südlichen Mitteleuropa, also auch in der Schweiz, ein Ubiquist, wie Hofer et al. (2001) betonen. So besiedle kein anderes heimisches Reptil ein vergleichbar breites Lebensraumspektrum von Mooren über Feuchtwiesen und Auwälder bis hin zu Schutthalden, wenngleich immerhin eine Präferenz für südexponierte Saumbiotope feststellbar sei. Bedeutend für *L. agilis* sind überdies Sekundärbiotope wie naturnahe Gärten, Bahnanlagen und aufgegebene Industrieflächen (Blanke 1999, Hofer et al. 2001). Überall wichtig sind grabfähige Böden zur Eiablage (Glandt 2018). Die Rote Liste führt die Zauneidechse als «verletzlich» und vermerkt überdies einen «gene-

**Abb. 11: Die Westliche Blindschleiche, ein häufiges und weitverbreitetes Reptil in der Schweiz und ganz Mitteleuropa, konnten wir nur einmal als totes Jungtier bei Yverdon-les-Bains bestätigen.**
Foto: M. Schmitt, 25.7.2022.

**Abb. 12: Weibchen der Zauneidechse am Ufer des Pérolles-Sees, eines Stausees der Saane (Sarine) bei Fribourg.**
Foto: M. Schmitt, 26.7.2022.

rellen Rückgang» in der Schweiz (Monney & Meyer 2005). Dafür ist erneut das Verschwinden geeigneter Lebensräume verantwortlich zu machen, etwa durch Intensivierung der Landwirtschaft, durch Wiedernutzung alter Brachflächen im menschlichen Siedlungsbereich (Nachverdichtung) oder schlichtweg aufgrund mangelnder Pflegeeingriffe, also Überwucherung, wie es in Deutschland unter anderem Studien von Völkl et al. (2013) und Wagner et al. (2018) offengelegt haben. Ein Beispiel für eine spezielle Rückgangsursache ist die Anbringung schattenwerfender Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken (Meyer 2006) – ein Musterbeispiel für die mitunter auftretenden Konflikte zwischen Umweltschutz (hier: Lärmschutz) und Artenschutz.

Auf unseren Exkursionen fanden wir trotz aller Aufmerksamkeit an zahlreichen geeigneten Stellen, etwa am Mont de Chamblon bei Yverdon-les-Baines, lediglich eine einzige Zauneidechse. Es handelte sich dabei um ein weibliches Exemplar bei Fribourg, das sich am Rande eines kleinen Schilfbestandes direkt neben dem Wanderweg entlang des Pérolles-Stausees sonnte *(Abb. 12)*.

Fazit: Die genannten Arten sind, von Feuersalamander und Erdkröte abgesehen, mehr oder minder thermophil und auf offene, sonnenexponierte oder zumindest mit Sonnenplätzen ausgestattete Lebensräume angewiesen. Besonders trifft das auf jene Arten zu, die hier in Mitteleuropa nahe am nördlichen Rand ihres Verbreitungsgebietes existieren: Westliche Smaragdeidechse, Gelbgrüne Zornnatter und Aspisviper. Sie sind im Besonderen auf die menschliche Kulturlandschaft angewiesen und benötigen extensiv bewirtschaftete (= offen oder halboffen gehaltene) Flächen: Trockenweiden/-rasen, Ruderalflächen, Wein-berge, Bruchsteinmauern, Waldsäume etc. (Walter et al. 2013, Glandt 2018).

Neben den oben behandelten Mitgliedern der Herpetofauna gelangen uns einige weitere faunistische Entdeckungen in den drei besuchten Gebieten um Fribourg, Yverdon-

les-Bains und im Lavaux, die wir für bemerkenswert halten und hier in aller Kürze wiedergeben möchten. Hierzu zählen ein Kleinpapagei aus der Gruppe der Unzertrennlichen *(Agapornis* sp.), möglicherweise ein Rosenköpfchen *(A. roseicollis)* auf einem kleinen Acker oberhalb von Cully (Lavaux), ein Baumfalke *(Falco subbuteo)* und einige singende Zaunammern *(Emberiza cirlus)* bei Grandvaux und Bonvillars/Onnens, sowie ein ebenfalls noch singender Pirol *(Oriolus oriolus)* bei Grandson. Am Mont de Chamblon waren Neuntöter *(Lanius collurio)* zu sehen, in Fribourg dominierten die Alpensegler *(Tachymarptis melba)* die kleineren Mauersegler *(Apus apus)* zumindest stimmlich. Auffallend, jedenfalls für zoologisch interessierte Touristen aus dem deutschen Nordrhein-Westfalen, war das ausserordentlich häufige Vorkommen des Rotmilans *(Milvus milvus)* in allen besuchten Gebieten. Er darf als ein bedeutender Prädator der Reptilien gewertet werden und wurde weitaus öfter gesichtet als etwa der Mäusebussard *(Buteo buteo).*

Bei Grandson (Ortslage La Poissine) befindet sich am Rande eines Gewerbegebiets eine Sand- und Kiesaufschüttung mit einer Kolonie von Uferschwalben, deren zahlreiche Bruthöhlen gut zu sehen waren *(Abb. 13).*

In den Weinbergen des Lavaux bei Grandvaux beeindruckte uns nachmittags ein Rotfuchs, der es fertigbrachte, bei unserem Anblick mit einigem Gepolter über eine mannshohe Mauer am Wegrand zu setzen. Vollkommen überrascht waren wir ausserdem über zwei Gämsen, Geiss und Kitz, im «Stadtwald» von Fribourg oberhalb der Beatuskapelle am Galterntal. Erwähnenswert ist zudem der nächtliche Fund einer männlichen Kräuseljagdspinne *(Zoropsis spinimana, Abb. 14)* auf einer Hauswand unweit des Fribourger Kathedrale und die Beobachtung der Springspinne *Icius subinermis* (Weibchen) auf einem Obstbaum bei Grandson.

**Abb. 13: Brutkolonie (Brutröhren) der Uferschwalbe an einer Aufschüttung bei Grandson.**
Foto: M. Schmitt, 31.7.2022.

**Abb. 14: Männchen der Kräuseljagdspinne *Zoropsis spinimana* auf einer Fribourger Hauswand.**
Foto: M. Schmitt, 26.7.2022.

## Literatur


Arioli, M., Jakob, C. and Reyer, H.U. (2010) Genetic diversity in water frog hybrids *(Pelophylax esculentus)* varies with population structure and geographic location. – Molecular Ecology, Vol. 19, 2010, p. 1814–1828.

Auf der Maur, B., Brännhage, J., Gross, A. und Schmidt, B. (2020) Factsheet Neomyceten. Salamanderpest. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. Unterstützt von Benedikt Schmidt (info fauna karch). 4 p.

Blanke, I. (1999) Erfassung und Lebensweise der Zauneidechse *(Lacerta agilis)* an Bahnanlagen. Zeitschrift für Feldherpetologie, Vol. 6, 1999, p. 147–158.

BLV (2021) Ein- und Ausfuhr Salamander und Molche – Massnahmen zur Verhinderung der Verbreitung des Pilzes *Batrachochytrium salamandrivorans.* Eidgenössisches Departement des Innern EDI, Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV. Bern, 2021, 2 p.

Castella, B., Golay, J., Monney, J.C., Golay, P., Mebert, K. und Dubey, S. (2013) Melanism, body condition and elevational distribution in the asp viper. Journal of Zoology, Vol. 290, 2013, p. 273–280.

Di Nicola, M.R., Zecchin, L., D'Amico, M. and Faraone, F.P. (2020) Ophiophagy in *Coronella austriaca:* first case of predation on *Hierophis viridiflavus* and first direct observations of predation on *Vipera aspis.* Herpetology Notes, Vol. 13, 2020, p. 1107–1110.

Dubey, S., Lavanchy, G., Thiébaud, J. and Dufresnes, C. (2018) Herps without borders: a new newt case and a review of transalpine alien introductions in Western Europe. Amphibia-Reptilia, Vol. 40, 2018, p. 13–27.

Dufresnes, C., Denoël, M., Di Santo, L. and Dubey, S. (2017) Multiple uprising invasions of Pelophylax water frogs, potentially inducing a new hybridogenetic complex. Scientific Reports, Vol. 7, 2017, 6506.

Glandt, D. (2018) Praxisleitfaden Amphibien- und Reptilienschutz. Springer Spektrum, Berlin.

Glaw, F., Franzen, M., Oefele, M., Hansbauer, G. und Kindler, C. (2019) Genetischer Erstnachweis, Verbreitung und südalpine Herkunft der Barrenringelnatter *(Natrix helvetica* spp.) in Bayern. Zeitschrift für Feldherpetologie, Vol. 26, 2019, p. 1–20.

Golay, P., Monney, J.C., Conelli, A., Durand, T., Thiery, G., Zuffi, M.A.L. and Ursenbacher, S. (2008)

Systematics of the Swiss asp viper: some implications for the European Vipera aspis (Linnaeus 1758) complex (Serpentes: Viperidae). A tribute to Eugen Kramer. Amphibia-Reptilia, Vol. 29, 2008, p. 71–83.

Greven, H. (2003) Larviparity and pueriparity. – In: Sever, D.M. (Ed.): Reproductive Biology and Phylogeny Vol. 1, Reproductive Biology and Phylogeny of Urodela. Enfield, 447–475.

Grossenbacher, K. (1988) Verbreitungsatlas der Amphibien der Schweiz. Documenta Faunistica Helvetiae, Vol. 7, 1988, p. 1–207.

Gvoždík, V., Benkovský, N., Crottini, A., Bellati, A., Moravec, J., Romano, A., Sacchi, R. and Jandzik, D. (2013) An ancient lineage of slow worms, genus Anguis (Squamata: Anguidae), survived in the Italian Peninsula. Molecular Phylogenetics and Evolution, Vol. 69, 2013, p. 1077–1092.

Hofer, U., J.-C. Monney und G. Dusej (2001) Die Reptilien der Schweiz. Verbreitung, Lebensräume, Schutz. Birkhäuser, Basel.

Hofer, U. (2016) Methodische und ökologische Erkenntnisse zur Schlingnatter *(Coronella austriaca)* im westlichen Schweizer Mittelland. Zeitschrift für Feldherpetologie, Vol. 23, 2016, p. 233–247.

Indermaur, L. (2015) Kröten brauchen Platz und Schwemm-/Altholz – aber wieviel? Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, Vol. 92, 2015, p. 95–109.

Kindler, C., Chèvre, M., Ursenbacher, S., Böhme, W., Hille, A., Jablonski, D., Vamberger, M. and Fritz, U. (2017) Hybridization patterns in two contact zones of grass snakes reveal a new Central European snake species. Scientific Reports, Vol. 7, 2017, p. 1–12.

Kindler, C. and Fritz, U. (2018) Phylogeography and taxonomy of the barred grass snake *(Natrix helvetica),* with a discussion of the subspecies category in zoology. Vertebrate Zoology, Vol. 68, 2018, p. 269–281.

Lötters, S., Veith, M., Wagner, N., Martel, A. and Pasmans, F. (2020) Bsal-driven salamander mortality predates the European index outbreak. Salamandra, Vol. 56, 2020, p. 239–242

Lüscher, B., Beer, S. und Grossenbacher, K. (2016) Die Höhenverbreitung der Erdkröte *(Bufo bufo)* im Berner Oberland (Schweiz) unter sich verändernden Klimabedingungen. Zeitschrift für Feldherpetologie, Vol. 23, 2016, p. 47–58.

Malkmus, R. und Grossenbacher, K. (2013) Fortpflanzungserfolg der Erdkröte (Bufo bufo) in hochalpinen Gewässern. Zeitschrift für Feldherpetologie, Vol. 20, 2013, p. 102–104.

Martel, A., Spitzen-van der Sluijs, A., Blooi, M., Bert, W., Ducatelle, R., Fisher, M.C., Woeltjes, A., Bosman, W., Chiers, K., Bossuyt, F., Pasmans, F. (2013) *Batrachochytrium salamandrivorans* sp. nov. causes lethal chytridiomycosis in amphibians. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 110, Nr 38, 2013, p. 15325–15329.

Meyer, A. (2006) Reptilienschutz im Rahmen der Lärmsanierungsprojekte der Eisenbahnen. BLS/karch/SBB. Überarbeitete Version Juli 2006. Naturhistorisches Museum, Bern.

Monney, JC. und Meyer, A. (2005) Rote Liste der gefährdeten Reptilien der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern und Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch), Bern.

Rembold, K., Junge, A.L., Amiet, F., Balzari, C.A., Bergamini, A., Blaser, S., Boch, S., Bürki, M., Eggenberg, S., Eicher, C., Ensslin, A., Etter, L., Friedli, C., Gattlen, A., Germann, C., Gygax, A., Hänggi, A., Hertwig, S.T., von Hirschheydt, G., Hoess, R., Wisler Hofer, C., Inäbnit, T., Keller, C., Kneubühler, J., Küchler, H., Möhl, A., Moser, T., Neubert, E., Pfarrer, B., Schäfer, D., Schnyder, N., Spasojević, T., Stofer, S., Senn-Irlet, B., van der Es, R. und Fischer, M. (2020) Vielfalt bedingt Vielfalt – wildlebende Arten im Botanischen Garten der Universität Bern. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Vol. 77, 2020, p. 24–68.

Rivallin, P., Barrioz, M., de Massary JC. et Lescure, J. (2017) Présence de la Couleuvre verte et jaune, *Hierophis viridiflavus* (Lacepède, 1789) (Squamata: Colubridae), en Île-de-France et en Normandie: des données nouvelles. Bulletin de la Société Herpétologique de France, Vol. 161, 2017, p. 75–84.

Schlüpmann, M. (1982) Zur Rassenzugehörigkeit von Ringelnattern *(Natrix natrix)* des nördlichen Sauerlandes. Der Schlüssel, Vol. 27, Nr. 1, p. 9–17.

Schlüpmann, M. (2005) Bestimmungshilfen. Faden- und Teichmolch-Weibchen, Braunfrösche, Wasser- oder Grünfrösche, Eidechsen, Schlingnatter und Kreuzotter, Ringelnatter-Unterarten. Rundbrief zur Herpetofauna NRW (Arbeitskreis Amphibien und Reptilien Nordrhein-Westfalen) Nr. 28, April 2005, Hagen.

Schmeller, D.S., Utzel, R., Pasmans, F. and Martel, A. (2020) *Batrachochytrium salamandrivorans*

kills alpine newts *(Ichthyosaura alpestris)* in southernmost Germany. Salamandra, Vol. 56, Nr. 3, 2020, p. 230–232.

Schmidt, B. R., Zumbach, S. und Tobler, U. (2020) Verbreitung, Gefährdung und Schutz der Gelbbauchunke in der Schweiz. Mertensiella, Vol. 29, 2020, p. 161–168.

Schmidt, B. R. und Zumbach, S. (2005) Rote Liste der gefährdeten Amphibien der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern und Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch), Bern.

Schoof, N., Gollent, L., Schneider, A., Schmidt, U. und Reif, A. (2017) Der Schlossberg bei Freiburg i.Br. – eine naturschutzfachliche Bestandsaufnahme seines Offenlandes. Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz N.F., Vol. 22, Nr. 2, p. 305–329.

Schulte, U. (2008) Die Mauereidechse. Laurenti, Bielefeld.

Schulte, U., Bidinger, K., Deichsel, G., Hochkirch, A., Thiesmeier, B. und Veith, M. (2011) Verbreitung, geografische Herkunft und naturschutzrechtliche Aspekte allochthoner Vorkommen der Mauereidechse *(Podarcis muralis)* in Deutschland. Zeitschrift für Feldherpetologie, Vol. 18, 2011, p. 161–180.

Schulte, U., Hochkirch, A., Wagner, N. und Jacoby, P. (2013) Witterungsbedingte Antreffwahrscheinlichkeit der Schlingnatter. Zeitschrift für Feldherpetologie, Vol. 20, 2013, p. 197–209.

Spitzen-van der Sluijs, A., Spikmans, F., Bosman, W., de Zeeuw, M., van der Meij, T., Goverse, E., Kik, MJL., Pasmans, F. and Martel, A. (2013) Rapid enigmatic decline drives the fire salamander *(Salamandra salamandra)* to the edge of extinction in the Netherlands. Amphibia-Reptilia, Vol. 34, 2013, p. 233–239.

Stegen, G., Pasmans, F., Schmidt, BR., Rouffaer, LO., van Praet, S., Schaub, M., Canessa, S., Laudelout, A., Kinet, T., Adriaensen, C., Haesebrouck, F., Bert, W., Bossuyt, F. and Martel, A. (2017) Drivers of salamander extirpation mediated by *Batrachochytrium salamandrivorans.* Nature, Vol. 544, 2017, p. 353–356.

SZKF/CSCF (2022) Verbreitungskarten. Info fauna – Schweizerisches Zentrum für die Kartografie der Fauna. https://lepus.unine.ch/carto (31.1.2022).

Völkl, W., Gees, K. und Beran, H. (2013) Die Zauneidechse *(Lacerta agilis)* im Landkreis Bayreuth: ein Vergleich von ehemaligen und derzeitigen Verbreitungsmustern. Zeitschrift für Feldherpetologie, Vol. 20, 2013, p. 49–64.

Wagner, N., Schulte, U. und J. Beninde (2015) Schutzmöglichkeiten alter Trockenmauern für streng geschützte Reptilienarten in Trier und Rheinland-Pfalz. Dendrocopos, Vol. 42, 2015, p. 23–32.

Wagner, N., Feldmeier, S., Backes, L., Dierking, S., Heiglauer, A. A., Jacob, J., Junk, L., Klemmer, C., Lanfer, M., Merten, F., Raubuch, G., Reinhardt, N., Richter, N., Römer, M., Seibert, M., Segschneider, A., Sterk, M., Thiel, N., Zoller, J. und U. Schulte (2018) Überprüfung ehemals bekannter Vorkommen der Zauneidechse *(Lacerta agilis* Linnaeus, 1758) im Stadtgebiet von Trier und im Landkreis Trier-Saarburg (Reptilia: Squamata: Lacertidae). Dendrocopos, Vol. 45, 2018, p. 39–63.

Walter, T., Eggenberg, S., Gonseth, Y., Fivaz, F., Hedinger, C., Hofer, G., Klieber-Kühne, A., Richner, N., Schneider, K., Szerencsits, E. und Wolf, S. (2013) Operationalisierung der Umweltziele Landwirtschaft: Bereich Ziel- und Leitarten, Lebensräume (OPAL). ART-Schriftenreihe, Vol. 18, 2013, p. 1–138.

Wohlgemut, T. (1996) Ein floristischer Ansatz zur biogeographischen Gliederung der Schweiz. Botanica Helvetica, Vol. 106, 1996, p. 227–260.

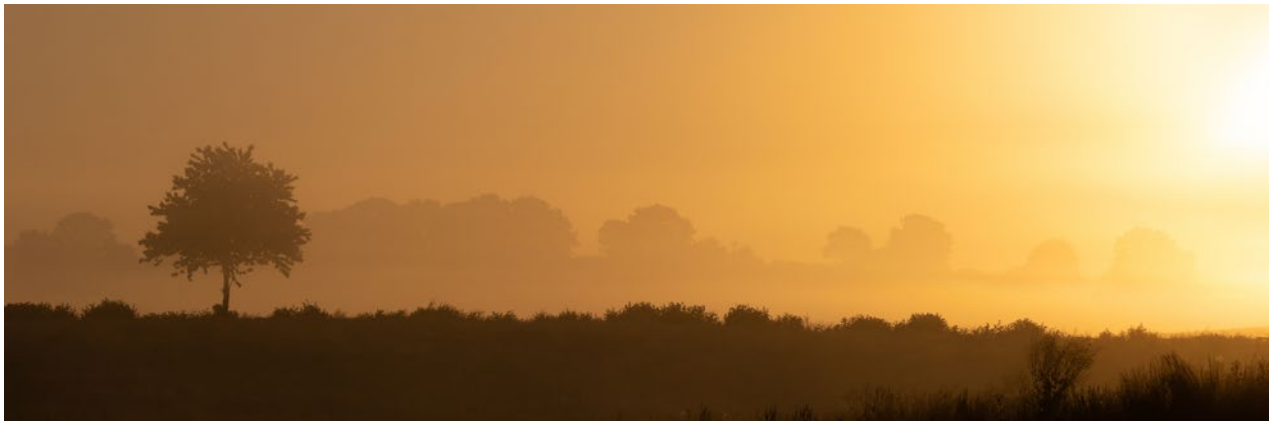
**Sabine Martini**

Sabine Martini studierte an der Universität Duisburg-Essen Biologie und Englisch für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen und blieb ihrer Universität nach dem Ersten Staatsexamen für einige Jahre treu. In dieser Zeit forschte sie in der Abteilung für Allgemeine Zoologie an der Magnetwahrnehmung (Magnetozeption) von Hunden. Die Ergebnisse dieser Forschung fasste sie 2018 in ihrer Doktorarbeit zusammen. Sie arbeitet heute als Studienrätin an einem Gymnasium in Düsseldorf.

**Marcus Schmitt**

Marcus Schmitt studierte in den 1990er-Jahren Forstwirtschaft in Göttingen und danach, als Aufbaustudium, Ökologie in Essen. Seit 2001 ist er dort wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dozent. In seiner Dissertation beschäftigte er sich mit der Ökologie der Waldmaus. Seine Lehrtätigkeit an der Universität Duisburg-Essen konzentriert sich auf die Ökologie heimischer Tiere, auf zoologische Bestimmungsübungen (Formenkunde), zoologische Praktika und Exkursionen.

Kontakt: marcus.schmitt@uni-due.de



Das Streben nach Wahrheit und Erkenntnis gehört zum Schönsten, dessen der Mensch fähig ist, wenn auch der Stolz auf dieses Streben meist im Munde derjenigen ist, die am wenigsten von solchem Streben erfüllt sind.

Quelle: Einstein sagt – Zitate, Einfälle, Gedanken,
Herausgegeben von Alice Calaprice; 1997 Piper Verlag München,
ISBN 978-3-492-25089-4, 4. Auflage Februar 2013.

# Bahnhof Bern – vor 20 Millionen Jahren und in Zukunft – eine Abendexkursion

**Autoren**

**Matthias Giger und Ursula Menkveld-Gfeller**

Am 19. Oktober 2021 trafen sich die Teilnehmenden der Exkursion oberhalb der RBS-Grossbaustelle Hirschenpark nördlich des Bahnhofs Bern. Reto Wagner (Projektgeologe; Kellerhals + Haefeli AG Bern) erklärte das Projekt und technische Belange, Prof. Dr. Fritz Schlunegger (Institut für Geologie, Universität Bern) erläuterte die Gesteinsaufschlüsse und Dr. Ursula Menkveld-Gfeller (Naturhistorisches Museum Bern) stellte das Vorgehen bei der Fossilsuche und bisherige -funde vor.

Vorprojekte gab es schon vor über 10 Jahren, das aktuelle Bauprojekt läuft von 2012 bis 2027. Es umfasst einen neuen, unterirdischen Bahnhof für den RBS1[1] unter den bestehenden Bahngeleisen der SBB (Kosten rund 600 Mio Fr.). Zudem erfolgt ein Ausbau der Publikumsanlagen der SBB (Kosten rund 400 Mio. Fr.). Dafür wird eine neue Unterführung und ein Ausgang Richtung Bubenbergplatz geschaffen. Der Platz selbst wird von der Stadt Bern neugestaltet.

Die Baustelle und der Installationsplatz des Hirschenparks beeindruckt durch die hohen, von Betonelementen gut gesicherten, Seitenwände. Die Röhre des bestehenden RBS-Tunnels ist auf der Baustelle bergseitig leicht zu erkennen *(Abb. 1).* Sie ist umgeben von Sedimenten der Unteren Süsswassermolasse (USM). Parallel dazu wird der neue Tunnel gebaut. Dieser endet in einer neuen RBS-Station unter dem bestehenden Bahnhof, im Bereich der «Welle» (dem heutigen Westzugang zum Bahnhof). Die Option einer späteren Weiterführung des RBS nach Westen ist gegeben.

## Das Grossprojekt erfordert Investitionen von insgesamt einer Milliarde Franken

Der Projektgeologe Reto Wagner erläutert die grossen Herausforderungen. Die Machbarkeit des RBS-Projekts wurde zwar schon 2011 belegt, das komplexe Projekt und die geplanten Zusatzbauten der SBB erforderten aber weitere geologische Untersuchungen. Datenbasis für die Studie 2011 waren 150 bereits bestehende Sondierungen, 2 Kernbohrungen und viele Laboruntersuchungen. Diese Datenbasis musste nochmals deutlich erweitert werden. Im Westen der Baustelle war die erste grosse Herausforderung für die Geologen und Bauinge-

1 RBS Regionalverkehr Bern-Solothurn

**Abb. 1: Grossbaustelle im Hirschenpark. Die hohen Wände sind mit Betonelementen (Bohrpfähle und Ankerriegel) gesichert. Links im Bild ist die teilweise sedimentbedeckte Röhre des bestehenden, heute noch befahrenen RBS-Tunnels zu sehen. Später wird die Bahn hier abzweigen und in den neuen Tunnel verlegt. Der Hirschenpark soll nach Bauende wiederhergestellt werden.**
Foto: Matthias Giger.

**Abb. 2: Blick vom Hirschenpark Richtung Eilgut in den entstehenden RBS-Tunnel. Oben ist die halbkreisförmige Kalotte zu erkennen, die gut gesichert ist. Unten wird die Sohle in einer zweiten Bauphase nochmals 3 bis 4 m abgeteuft.**
Foto: Matthias Giger.

nieure die Stabilität der bestehenden Bauten (insbesondere Bahnhof und Postpark). Eine weitere Herausforderung waren dort die feinkörnigen Lockergesteine und Grundwasserführung in diesen Lockergesteinen, was eine kostspielige technische Lösung erforderte. Gewisse Tunnelbereiche mussten mit Flüssigstickstoff (Siedepunkt –196 °C) tiefgefroren werden, erst danach konnte die Tunnelkalotte ausgebrochen und gesichert werden. Der Tunnelausbruch Hirschenpark-Eilgut erfolgt in 2 Phasen: Zuerst wurde die halbkreisförmige Kalotte ausgebrochen und gesichert, erst jetzt wird unten die Sohle um 3 bis 4 m abgesenkt. Vom Hirschenparkareal aus können wir in den neuen Tunnel hineinsehen, diesen aber, wegen den fortdauernden Bauarbeiten, nicht begehen *(Abb. 2)*.

Zur Geologie im Raum des Bahnhofs Bern lässt sich Folgendes festhalten: Der stratigraphisch älteste und unterste Komplex ist hier beim Bahnhof die sandige Untere Süsswassermolasse (USM). In der Stadt Bern gibt es nur wenige Oberflächenaufschlüsse der USM. Die Oberfläche der USM im Gebiet der Stadt weist ein starkes Relief auf, das in der Eiszeit entstand: Die USM ist von tiefen Schotter-Rinnen durchzogen, die Stadt Bern ist also nicht überall auf Molasse-Fels gebaut (Isenschmid 2020)! In der Bahnhofumgebung wurden auch eiszeitliche Gletschermühlen gefunden, die in den Molasse-Sandstein[2] eingegraben sind. Die Molasse-Sandsteine sind von eiszeitlichem Moränenmaterial bedeckt und darüber folgen Rückzugsschotter als jüngste, quartäre (nacheiszeitliche) Ablagerungen.

Anhand der sandigen und Feinkies enthaltenden, teils tonigen Sedimente der USM, die den alten RBS-Tunnel umhüllen, erklärt uns Fritz Schlunegger, wie Geologen im Gelände sedimentologische Informationen sammeln. Die USM ist aufgebaut

2 Auch im Gletschergarten Luzern sind die eiszeitlichen Töpfe in den Molasse-Sandstein eingegraben.

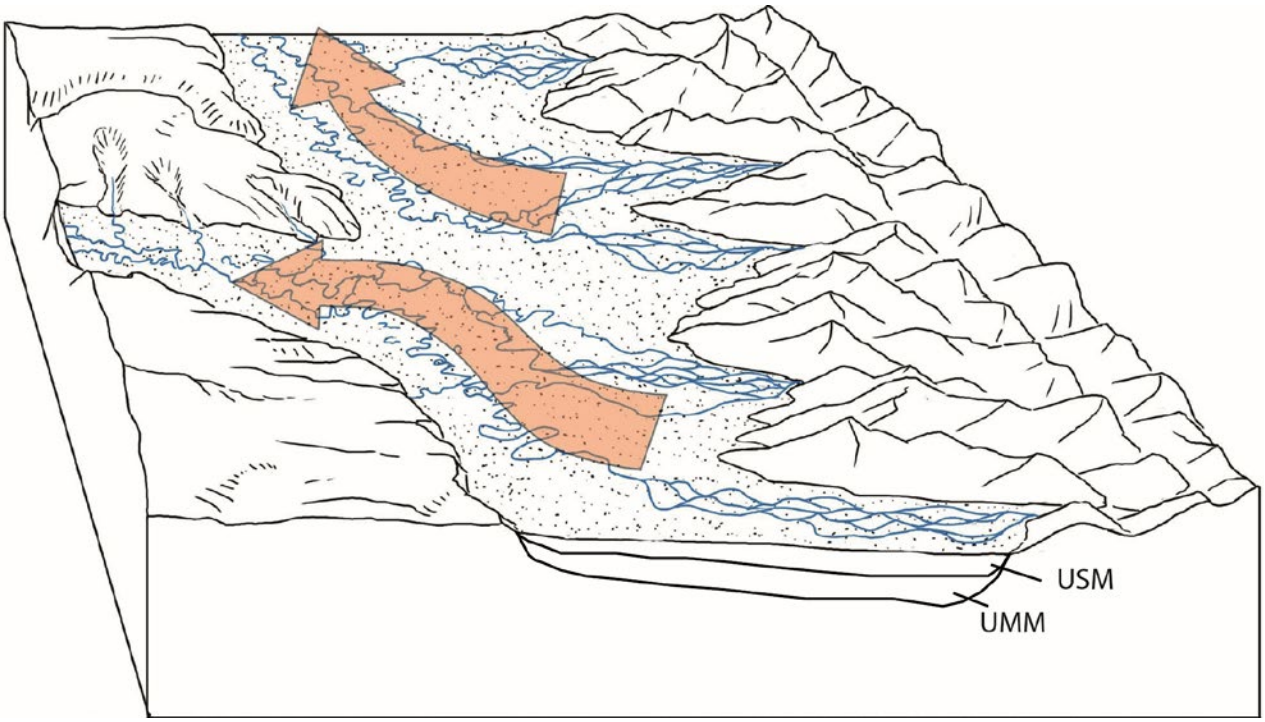



**Abb. 3: Blockbild, wie es zur Zeit der Ablagerung der Unteren Süsswassermolasse in der Schweiz ausgesehen hat. Blickrichtung Osten.**
Grafik abgeändert nach M. Ryser, 2017: Didaktische Arbeitsblätter zur Ausstellung «#Bahnhofnashorn», © NMBE.

**Abb. 4 und 5: Blick auf die alte, noch befahrene RBS-Tunnelröhre. Fritz Schlunegger erklärt die Sedimentationsgeschichte der Fluss-Rinnenstruktur.**
Fotos: Ursula Menkveld (4) bzw. Thomas Burri (beide NMBE) (5).

aus Material, das durch die Abtragung der sich hebenden Alpen entstanden und durch Flüsse gegen Norden transportiert worden ist. Dieses Material wurde nördlich der Alpen in einem Becken abgelagert *(Abb. 3)*. Wir sehen auf der Baustelle Sandsteine, die sich in einer Flussebene mit Mäandern gebildet haben und charakteristische Schrägschichtungen aufweisen. Typisch für solche Ablagerungsmilieus sind auch die Bildung von Uferwällen, Durchbrüche von Uferwällen («crevasse splay deposits») sowie tonige Ablagerungen in den ehemaligen Totarmen von Flüssen. Konkret lässt sich auf der Baustelle eine ehemalige Flussrinne erkennen mit einem steilen Prallhang und die kontinuierliche Auffüllung der Rinne durch Ablagerungen am Gleithang, deren Schichten eine deutlich geringere Neigung aufweisen als am Prallhang *(Abb. 4 und 5)*. Das systematische Studium der gleichaltrigen Sedimente belegte, dass sich damals ein Fluss-System von Savoyen weit nach Osten erstreckte

Wir sehen auf der Baustelle Sandsteine, die sich in einer Flussebene mit Mäandern gebildet haben.

(«Genfer Fluss») und unweit München ins Meer mündete. Die Ur-Aare erstreckte sich zu jener Zeit nur von den Alpen bis zum ostwärts fliessenden «Genfer Fluss», in welchen sie damals mündete (Referenz: Website von Sebastian Wälti; aarelauf.ch/flussgeschichte-der-aare).

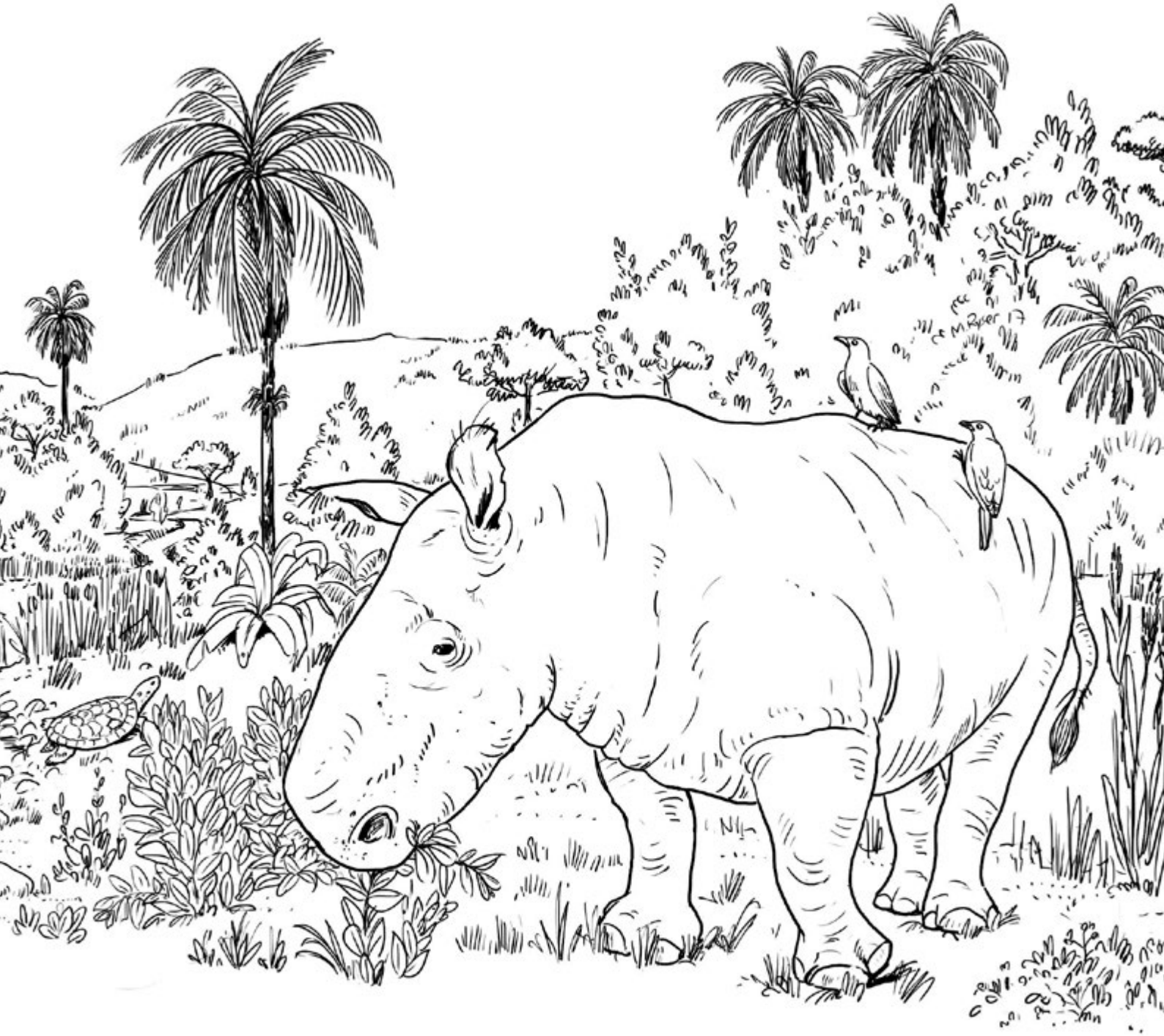



**Abb. 6: *Diaceratherium* gehört zu den hornlosen Nashörnern. Diese lebten vor etwa 30 bis 20 Millionen Jahren in Westeuropa ähnlich wie heutige Flusspferde im und am Wasser, wo sie sich von Pflanzen ernährten.**
Grafik: M. Ryser 2017: Didaktische Arbeitsblätter zur Ausstellung «#Bahnhofnashorn», © NMBE.

**Abb. 7: Einziger vollständig erhaltener Schädel eines hornlosen Nashorns, *Diaceratherium lemanense,* gefunden 1850 beim Bau der Tiefenaustrasse, in der Unteren Süsswassermolasse an der Engehalde in Bern.**
Foto: Peter Vollenweider, NMBE, Bildbreite: 55 cm.

## Sedimente und Fossilien ermöglichen Rekonstruktion der Umwelt vor 20 Millionen Jahren

Ursula Menkveld-Gfeller zeigt auf, dass Fossilfunde helfen, das Bild der damaligen Umwelt besser zu rekonstruieren *(Abb. 6).* In der miozänen Flussebene gab es viele ökologische Nischen und somit auch eine diverse Fauna. Bei verschiedenen Baustellen nahe des Berner Bahnhofs wurden Reste von Grosssäugern, Kleinsäugern (z. B. Hasenartige wie Prolacus), Reptilien, Schildkröten und Wirbellosen (wie Schnecken) gefunden. Andernorts im Kanton Bern kamen Pflanzenfossilien und Trittsiegel von Vögeln zum Vorschein. Bereits 1850 wurden beim Bau der Tiefenaustrasse an der Engehalde 34 Reste von wohl 7 Tieren der ausgestorbenen Nashorn-Arten *Diaceratherium lemanense* und *D. aginense* gefunden *(Abb. 7).*

Weitere Fossilien fanden sich auf der Baustelle des Neufeldtunnels (2006–2007), unter anderem ein Unterkiefer eines Marders, ein Teilskelett eines Hirsches, Reste von Schildkrötenpanzern und Armleuchteralgen (Charophyten). Auf der aktuellen Tunnelbaustelle wurden Bänderschnecken *(Cepea* sp. (Landlungenschnecken; gute Ökomarker für Festlandablagerungen, *Abb. 8)* sowie Kieferteile und Zähne von Wühlern (Kleinsäuger, *Abb. 9)* gefunden.

**Abb. 8: Bänderschnecken, Fund 2020, auf dem Ausbruchsmaterial des Hirschenparktunnels durch ein Team des Naturhistorischen Museums.**
Foto: Ursula Menkveld, NMBE.

Hinweise auf das damalige, subtropische Klima erhalten wir insbesondere durch Pflanzenreste, die aber bisher auf den Berner Baustellen der USM noch nicht gefunden worden sind. Zu erwähnen sind Funde von Laubblättern aus der USM des Kantons Bern: Zimtbaum, Sumpfzypresse, Ulme, Hartriegel und Erle. Auch wurden Reste von Palmen entdeckt (siehe Rekonstruktion in der *Abb. 6).*

Eine genaue stratigraphische Einordnung der Unteren Süsswassermolasse ist mit Zähnen von Kleinsäugern möglich, eine Arbeit für Spezialisten. Damit bestimmte man die Säugetierzone MN2b, womit für die USM ein aquitanes Alter (frühstes Miozän) resultiert. Die Ablagerungen sind somit rund 20 bis 20.5 Millionen Jahre alt. Darüber liegen in der Region Bern Sandsteine der Oberen Meeresmolasse (OMM). Diese ergibt am Belpberg ein Alter von rund 18.5 Millionen Jahren (frühes Miozän). Das Meer hat also die Flussebenen des Molassebeckens innerhalb von recht kurzer Zeit von Westen her wieder überflutet.

## Literatur

Isenschmid, Chr. 2020: Die Grenze Untere Süsswassermolasse/Obere Meeresmolasse als Schlüssel zur Tektonik in der Region Bern. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern 2019, 108–133.

## Dank

Reto Wagner und Fritz Schlunegger danken wir für die fachliche Überprüfung des Manuskripts, Christoph Gerber und Beatrice Giger für das sorgfältige Durchlesen der Arbeit und die konstruktive Kritik. Wir danken auch Adrian Wildbolz, Gesamtprojektleiter RBS Ausbau Bahnhof Bern sowie Florian Kiener B+S AG Bauleitung Hirschenpark, die den Zugang der Exkursion zur Baustelle ermöglichten.

**Abb. 9: Kieferast eines Wühlers, Fund 2020, auf dem Ausbruchsmaterial des Hirschenparktunnels durch ein Team des Naturhistorischen Museums.**
Foto: Ursula Menkveld, NMBE.

**Matthias Giger**

Matthias Giger, Jahrgang 1954, promovierte in Isotopengeologie an der Universität Bern. Danach Tätigkeit als Gymnasiallehrer für Geographie sowie Chemie und später als wissenschaftlicher Mitarbeiter für Bevölkerungsschutz (Kanton Bern), wo auch Naturgefahren ein Thema waren. Von 2001 bis 2019 wirkte er als Fachlehrer für Chemie im ABC Zentrum Spiez.

Kontakt: aries1@bluemail.ch

**Ursula Menkveld-Gfeller**

Ursula Menkveld-Gfeller ist seit 2002 Kuratorin für Paläontologie am Naturhistorischen Museum Bern (NMBE). 2006/2007 suchte sie beim Bau des Neufeldtunnels bzw. seit 2019 sucht sie auf der Grossbaustelle des RBS mit ihrem Team in der Unteren Süsswassermolasse nach Fossilien.

2010 bis 2021 amtete sie für die NGB als 1. Aktuarin und Informationsbeauftragte.

# Hüter der Masseinheiten:

## Das Eidgenössische Institut für Metrologie METAS

**Autor**

**Michael Moser**

Nachdem sie im Vorjahr verschoben werden musste, nahmen trotz der noch immer geltenden Corona-Auflagen 27 Mitglieder an der abendlichen Exkursion zum Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) in Wabern teil.

Mit seinen über 200 Mitarbeitern ist das METAS das Kompetenzzentrum des Bundes für alle Fragen des Messens, für Messmittel und Messverfahren. Als nationales Metrologieinstitut sorgt es dafür, dass in der Schweiz mit der Genauigkeit gemessen werden kann, die für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft erforderlich ist.

Nach einem einführenden Vortrag *(Abb. 1)* führte Jürg Niederhauser die Teilnehmenden zuerst durch eine Sammlung historischer Präzisionsmessinstrumente. In dem kleinen Museum, das auch für die Öffentlichkeit zugänglich ist, wird die Entwicklung des Messwesens und der wissenschaftlichen Metrologie anschaulich dargestellt *(Abb. 2)*.

**Abb. 1: 27 Teilnehmende verfolgen die einführende Präsentation.**
Foto: Michael Moser.

**Abb. 2: Jürg Niederhauser stellt ausgewählte Exponate im hauseigenen Museum vor.**
Foto: Michael Moser.

**Abb. 3: Das Akustiklabor ist mit schallabsorbierenden Wänden ausgerüstet, um Kalibrierungen und Eichungen nicht durch Schallreflexionen zu beeinflussen.**
Foto: Michael Moser.

**Abb. 4 und 5: Das METAS in Wabern ist der Ort, an dem die Schweiz am genausten ist. Es ist gewissermassen der Hüter der Masseinheiten für die Schweiz.**
Foto: Michael Moser.

| Definierende Konstante | Symbol | Exakter Wert | Einheit | Symbol |
|---|---|---|---|---|
| Planck-Konstante | $h$ | $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s | Kilogramm | kg |
| Lichtgeschwindigkeit im Vakuum | $c$ | $299\,792\,458$ m $s^{-1}$ | Meter | m |
| Frequenz des Hyperfeinstrukturübergangs des Grundzustands im $^{133}$Cs-Atom | $\Delta v$ | $9\,192\,631\,770$ $s^{-1}$ | Sekunde | s |
| Elementarladung | $e$ | $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ A s | Ampère | A |
| Boltzmann-Konstante | $k$ | $1.380\,649 \times 10^{-23}$ J $K^{-1}$ | Kelvin | K |
| Avogadro-Konstante | $N_A$ | $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ $mol^{-1}$ | Mol | mol |
| Photometrisches Strahlungsäquivalent einer monochromatischen Strahlung von $540 \times 10^{12}$ Hz | $K_{cd}$ | 683 lm $W^{-1}$ | Candela | cd |

**Tab. 1: Sieben physikalischen Konstanten wurde ein exakter Wert zugeordnet, aus denen sich sämtliche Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) ableiten lassen.**

Nebst den Messinstrumenten hat sich in den letzten Jahren auch das Internationale Einheitensystem (SI) entscheidend verändert. Dieses wurde 1978 in der Schweiz gesetzlich eingeführt, um Messergebnisse in eindeutiger und vergleichbarer Weise ausdrücken zu können.

Seit der im November 2018 beschlossenen Revision bilden nun sieben physikalische Konstanten die Grundlage des SI und aller darin verwendeten Einheiten *(Tab. 1)*. Dies gilt auch für die Einheit der Masse, die bis dahin noch durch das Urkilogramm in Paris bestimmt wurde. Fortan ist das Kilogramm einzig über die Naturkonstanten $h$, $c$ und $\Delta v$ definiert.

Auf dem rund zweistündigen Laborrundgang erfuhren die Teilnehmer unter anderem, wie mit Hilfe der sogenannten Wattwaage oder des Avogadroprojekts die Einheit des Kilogramms künftig umgesetzt werden kann.

Atomuhren sind ein weiteres Beispiel, wie mit Hilfe eines Quanteneffekts eine physikalische Einheit realisiert wird. Im Zeitlabor konnten die Teilnehmenden mehrere Cäsium-Normale und einen Wasserstoff-Maser bestaunen, welche die offizielle Schweizer Zeit UTC(CH) repräsentieren.

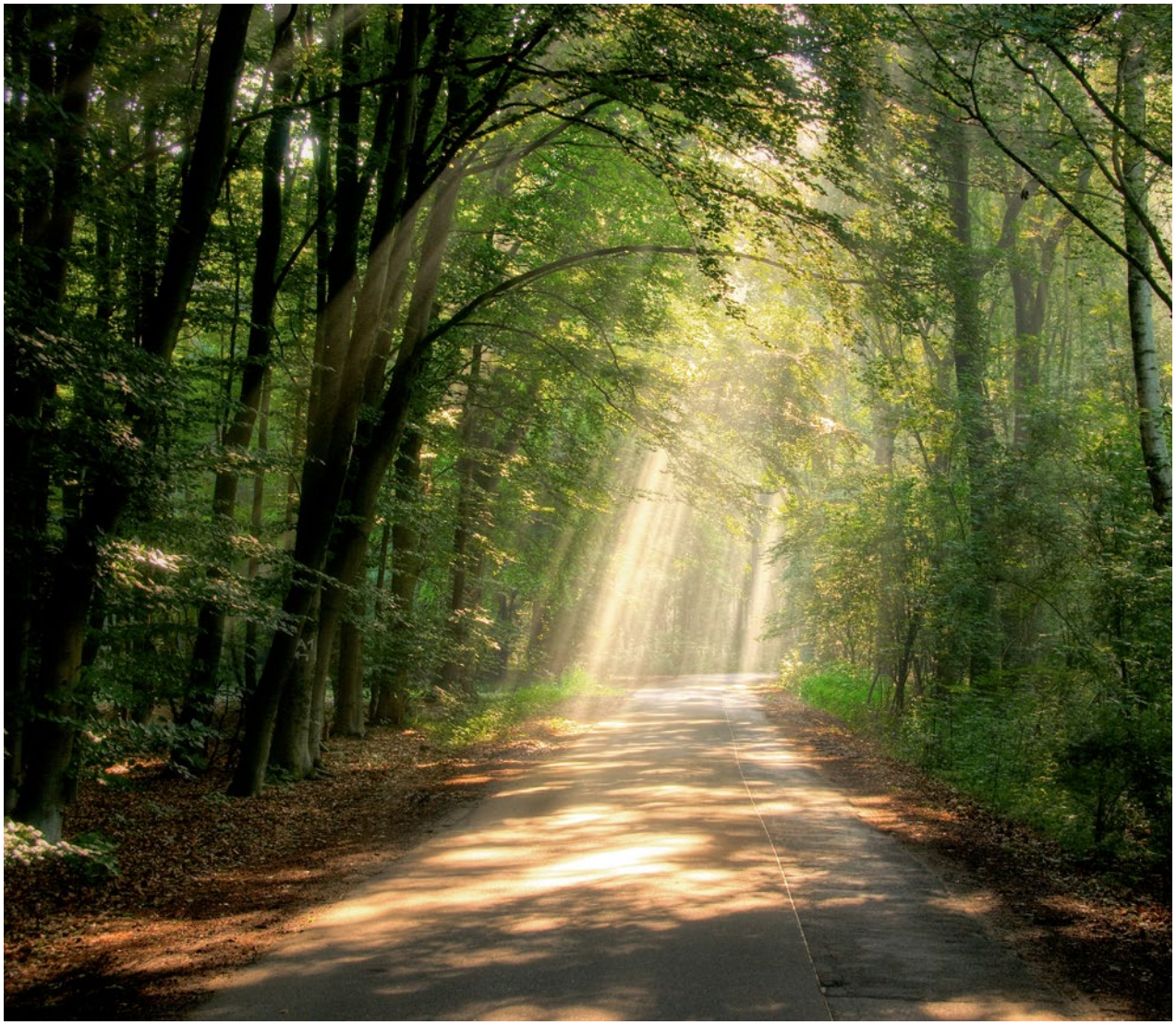
Nach weiteren Stationen im Akustiklabor *(Abb. 3)*, Verkehrslabor und Durchflusslabor endete die Führung schliesslich im grossangelegten Kraftlabor, wo Sensoren mit eindrücklichen 100 Kilonewton (entspricht zirka 10 Tonnen) belastet und exakt kalibriert werden können.

Für den vertieften Einblick in die zahlreichen Konzepte und Methoden der Welt des Messens sowie die sehr kompetenten Erläuterungen bedankt sich die NGB bei den beiden Physikern des METAS ganz herzlich!

**Michael Moser**

Michael Moser studierte Physik an der Universität Bern. Nach seiner Promotion über kosmische Strahlung wechselte er in die Energiebranche – zuerst zum Netzbetreiber BKW, dann zum Bundesamt für Energie. Seit 2008 leitet er den Forschungsbereich Elektrizität, Wasserkraft und Kernenergie. Neben der Förderung und Begleitung von Projekten ist er für die Koordination der Forschungsaktivitäten sowie deren internationale Einbindung zuständig.

Kontakt: michael.moser@bfe.admin.ch



Wissenschaft aber kann nur geschaffen werden von Menschen, die ganz erfüllt sind von dem Streben nach Wahrheit und Begreifen. Hierher gehört auch das Vertrauen in die Möglichkeit, die in der Welt geltenden Gesetzmässigkeiten seien vernünftig, das heisst durch die Vernunft erfassbar. Ohne solchen tiefen Glauben kann ich mir einen wirklichen Forscher nicht vorstellen.

Quelle: Einstein sagt – Zitate, Einfälle, Gedanken,
Herausgegeben von Alice Calaprice; 1997 Piper Verlag München,
ISBN 978-3-492-25089-4, 4. Auflage Februar 2013.

# Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz – Eine geologische Perspektive

**Autor**

**Martin Mazurek**

## Kernenergie: Segen oder Fluch?

Die Frage der Entsorgung nuklearer Abfälle aus Industrie, Forschung und Medizin ist ein viel diskutiertes Thema, wobei die Argumentation vielfach auf einer eher emotionalen Ebene stattfindet. Die friedliche Nutzung von Kernenergie ist zweifellos nicht ohne Gefahren, wie Unfälle in der Vergangenheit gezeigt haben. Allerdings ist keine Art der Energiegewinnung ohne Risiken. Im Falle fossiler Energien erfolgt die Beeinträchtigung eher schleichend und jedenfalls weniger spektakulär als im Fall von Atomunfällen, ist deswegen aber nicht weniger einschneidend. Solange die Menschheit ihren Wohlstand behalten bzw. auf weitere Bevölkerungsgruppen ausweiten will, geht das nicht ohne Einflüsse auf Mensch und Umwelt. Die entscheidende Frage ist das Verhältnis von Nutzen zu Risiko, und spätestens hier wird die Diskussion fachspezifisch, zahlenlastig und somit für weite Teile der Bevölkerung unverständlich. Das Unverständnis wird nur allzuoft durch Bauchgefühle und Ideologien ersetzt, was eine sinnvolle Entscheidungsfindung erschwert.

Kernenergie birgt drei Gruppen von potenziellen Gefahren. Erstens ist der Betrieb von Kernkraftwerken nicht risikolos, wie die bekannten Unfälle illustrieren. Hier sei angemerkt, dass mit jeder Reaktorgeneration die Wahrscheinlichkeit schwerer Unfälle wesentlich sinkt. Eine Möglichkeit wäre, ältere bzw. sicherheitstechnisch nicht aufgerüstete Anlagen durch Kraftwerke der neuesten Technologie zu ersetzen, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit einer unkontrollierten Kernschmelze um Grössenordnungen reduzieren liesse. Zweitens entsteht beim Betrieb eines Kernkraftwerks in Form von Plutonium neues spaltbares Material, welches sich im Prinzip für militärische Zwecke nutzen lässt. Diese Gefahr einer Proliferation besteht heute in gewissen Ländern. Drittens fallen bekanntermassen radioaktive Abfälle an, welche, je nach Abfalltyp, bis einige 100 000 Jahre von Mensch und Umwelt ferngehalten werden müssen. Dies ist eine unvorstellbar lange Zeit, für einen Geologen, der in Jahrmillionen denkt, aber eher ein Augenblick. In der Fachwelt besteht weitgehende Einigkeit, dass von den drei Gefahrenkategorien das Abfallproblem das

kleinste ist. Weil aber im Verlauf der Suche nach geeigneten Standorten die Anwohner jeweils konkret betroffen sind, erhitzen sich die Gemüter eher als bei abstrakten Gedankenspielen zu Atomunfällen – oder den schleichenden Konsequenzen der Klimaerwärmung.

## Entsorgungsstrategien

Für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle wurden international verschiedene Optionen ins Auge gefasst. Dazu gehörten unter anderem heute eher exotisch anmutende Optionen wie Versenkung in der Tiefsee, Einschmelzen ins antarktische Eis oder gar Schiessen ins All. Heute besteht der Konsensus, dass zumindest für die stark radioaktiven Abfallkategorien die geologische Tiefenlagerung der zielführende Lösungsansatz ist. In der Schweiz wurde bereits 1972 die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) gegründet, mit dem Auftrag, geeignete Gesteinseinheiten und Standortgebiete zu erkunden und konkrete Lagerkonzepte zu entwickeln. In den 80er-Jahren wurde ein grosses Untersuchungsprogramm in der Nordschweiz (Raum Schaffhausen bis Olten) lanciert, unter anderem mit seismischen Methoden und 12 geplanten Tiefbohrungen. Die Beschränkung auf die Nordschweiz war u. a. durch die regionalen Hebungsraten begründet, welche in diesem Raum gering bis vernachlässigbar sind. Im Alpenraum erreichen sie hingegen bis über 1 mm pro Jahr und werden weitgehend durch Erosion wieder ausgeglichen. Das heisst, dass nach 100 000 Jahren bis 100 m Gestein abgetragen werden, und nach 1 Million Jahren, dem für die Lagerung hochradioaktiver Abfälle betrachteten Zeitraum, wären es 1000 m. Ein Tiefenlager im Alpenraum würde somit nach einigen 100 000 Jahren an der Oberfläche exhumiert.

## Das Schweizer Kristallin-Programm

Das Untersuchungsziel der Tiefbohrungen der 1980er-Jahre, teilweise bis über 2000 m tief, war das kristalline Grundgebirge, welches im Schwarzwald an der Oberfläche aufgeschlossen ist und in der Nordschweiz mit einer gegen Süden mächtiger werdenden, in Alpennähe bis 6 km mächtigen Abfolge von Sedimentgesteinen überdeckt ist *(Abb. 1)*. Nach damaliger Planung waren als Wirtgesteine für das Tiefenlager tiefgelegene, geringdurchlässige, wenig geklüftete Blöcke im Kristallin vorgesehen, welche von bekannten grossen Bruchzonen begrenzt waren. Die erste Tiefbohrung in Böttstein (AG) ergab unterhalb von 900 m Tiefe tatsächlich standfestes, geringdurchlässiges und wenig geklüftetes Gebirge und entsprach somit den Erwartungen. Im Verlauf der Bohrkampagne kamen dann allerdings Überraschungen zu Tage. In der Bohrung Weiach (ZH)

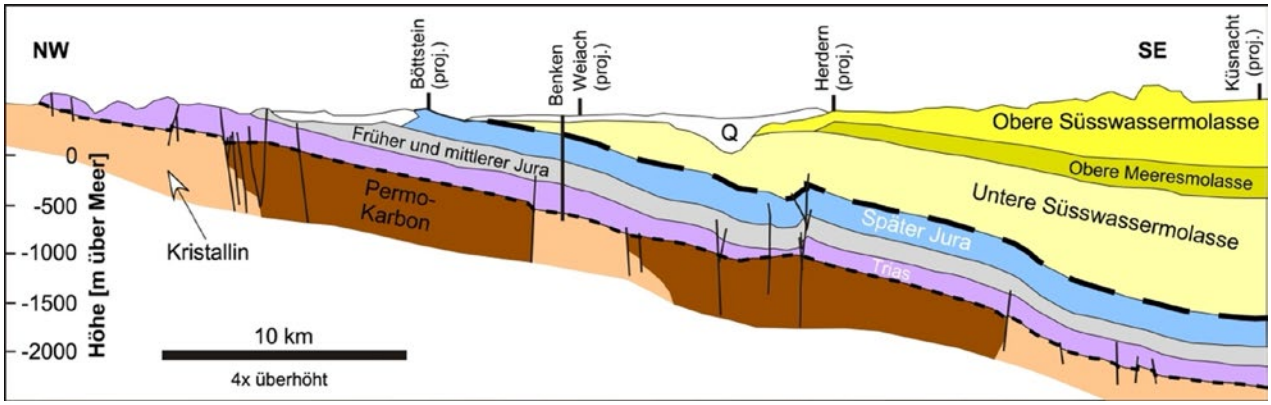



**Abb. 1: Geologisches Profil durch die zentrale Nordschweiz. Profilspur: Randen (SH)–Winterthur–Hörnli (ZH). Der Opalinuston befindet sich innerhalb der grauen Schicht (Früher und mittlerer Jura).**
Abgeändert nach Mazurek et al. (2006)

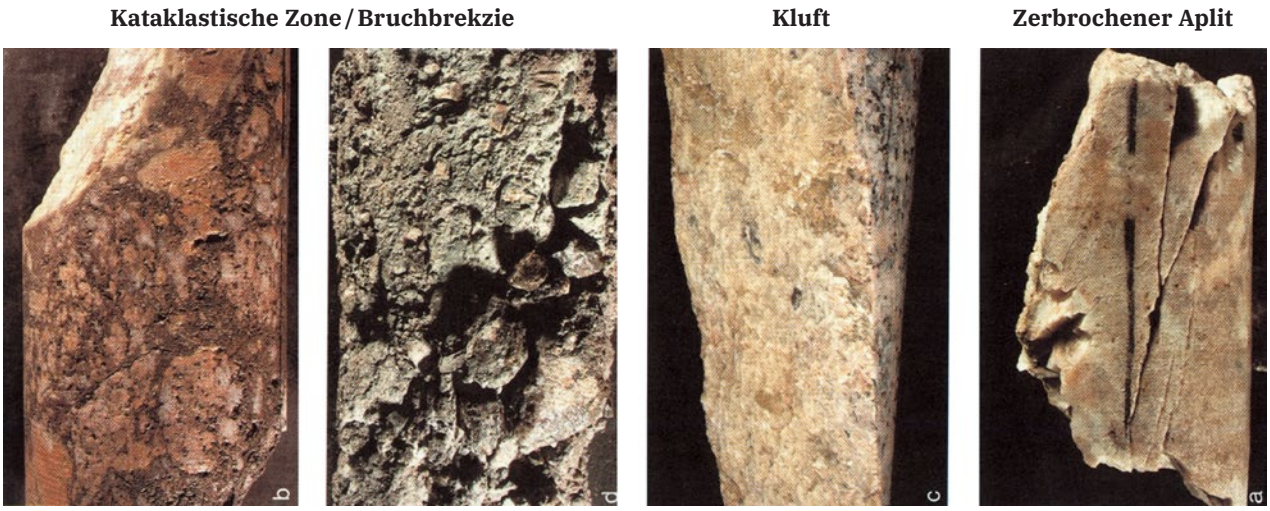



**Abb. 2: Beispiele von Bruchstrukturen in Bohrkernen des Kristallins der Nordschweiz.**

wurde ein über 1000 m mächtiger Trog mit permokarbonischen Sedimentgesteinen durchbohrt, bevor erst in einer Tiefe von über 2000 m das Kristallin erreicht wurde. Solche Tröge sind in ganz Mitteleuropa verbreitet und enthalten die z.B. im Ruhrgebiet oder Südengland abgebauten Kohlevorkommen, welche am Anfang der Industrialisierung gestanden haben. Der Grossteil der Tröge besteht allerdings aus klastischen Gesteinen (Sand- oder Siltsteine, Grauwacken), deren petrophysikalische Eigenschaften denjenigen des Kristallins ähnlich und daher in den seismischen Profilen schwer zu unterscheiden sind. Die zweite Überraschung war die Identifikation stark geklüfteter *(Abb. 2)* und hoch durchlässiger Bereiche auch in Tiefen weit unterhalb von 1000 m, womit die vielversprechenden Befunde von Böttstein nicht bestätigt werden konnten. Nach Abteufen von 7 Bohrungen kam die zuständige Behörde (damals Hauptabteilung für die Sicherheit von Kernanlagen, HSK) zum Schluss, dass die von der Nagra erarbeitete geologisch-hydrogeologische Synthese zwar den prinzipiellen Machbarkeitsnachweis erbracht hat, hingegen nicht den Standortnachweis. Etwas vereinfacht formuliert bedeutet dies, dass in der behördlichen Beurteilung zwar anerkannt wird, dass es im kristallinen Grundgebirge der Nordschweiz geeignete Blöcke gibt, in welchen ein sicheres Lager realisiert werden kann, dass diese Blöcke von der Oberfläche aus (d. h. mittels Bohrungen und seismischen Methoden) nicht mit hinreichender Sicherheit lokalisiert werden können. Die sedimentäre Bedeckung erwies sich hier als Nachteil, indem sie das Kristallin der direkten Beobachtung in Oberflächenaufschlüssen entzieht.

## Hinwendung zu tonreichen Sedimentgesteinen

Nach dem Abbruch des Entsorgungsprogramms im Kristallin verschob sich der Fokus hin zu Sedimentgesteinen. Man erhoffte sich in diesen eine wesentlich geringere räumliche Heterogenität der geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften und somit eine verbesserte Explorierbarkeit. Insbesondere der Opalinuston, eine 100–130 m mächtige Schicht im mesozoischen Sedimentstapel *(Abb. 1)*, zeichnet sich durch eine sehr beschränkte Heterogenität in der Horizontalen (vom Westschweizer Faltenjura bis zum Bodensee) wie auch in der Vertikalen aus. Wie alle mesozoischen Schichten fällt der Opalinuston mit ca. 4–5° nach S-SE ein und liegt in den Voralpen in einer Tiefe von mehreren km. Das heisst auch, dass man die gewünschte Tiefe des Tiefenlagers durch eine entsprechende geographische Lokalisierung steuern kann – je südlicher, umso tiefer. Opalinuston zeigt in seismischen Profilen einen guten Kontrast zu den umliegenden Gesteinsschichten, d. h. er

lässt sich mit dieser Methode sehr gut abbilden. Allfällig vorhandene Brüche mit einem Vertikalversatz von ≥4 m lassen sich ebenfalls erkennen. Somit ist der Opalinuston wesentlich besser explorierbar als etwa das unterliegende Kristallin – ein entscheidender Vorteil bei der Suche nach einem Tiefenlager und der sicherheitstechnischen Argumentation.

## Quellfähigkeit und Selbstversiegelung im Opalinuston

Tonreiche Gesteine im Allgemeinen und Opalinuston im Speziellen zeichnen sich durch eine gewisse Quellfähigkeit aus. Wir alle kennen das Phänomen, dass ein tonreicher Boden bei Austrocknung Schrumpfrisse bekommt, welche sich nach dem nächsten Regenfall durch Quellung schliessen. Analoges geschieht auch in der Tiefe: wenn durch eine Bruchbewegung (z. B. bei Erdbeben) die Öffnungsweite von Brüchen zunimmt und somit die Durchlässigkeit für Wasserfluss erhöht wird, sorgt Quellung für das Verschliessen der tektonisch erzeugten Hohlräume. Dieser Prozess der Selbstversiegelung ist für Gesteine mit ≥40 % Tongehalt sehr effizient und durch eine grosse Anzahl von Beobachtungen gestützt. Im Faltenjura mit seinen zahlreichen Tunneln wurde der Opalinuston auf einer kumulierten Strecke von 6.6 km durchfahren. Bei einer Überdeckung von ≥200 m wurden trotz starker Deformation des Gesteins keine Wasserzutritte identifiziert (Gautschi 2001). *Abb. 3* zeigt eine ca. 1 m mächtige Bruchzone im Opalinuston, welche bei der Faltung des Jurage-

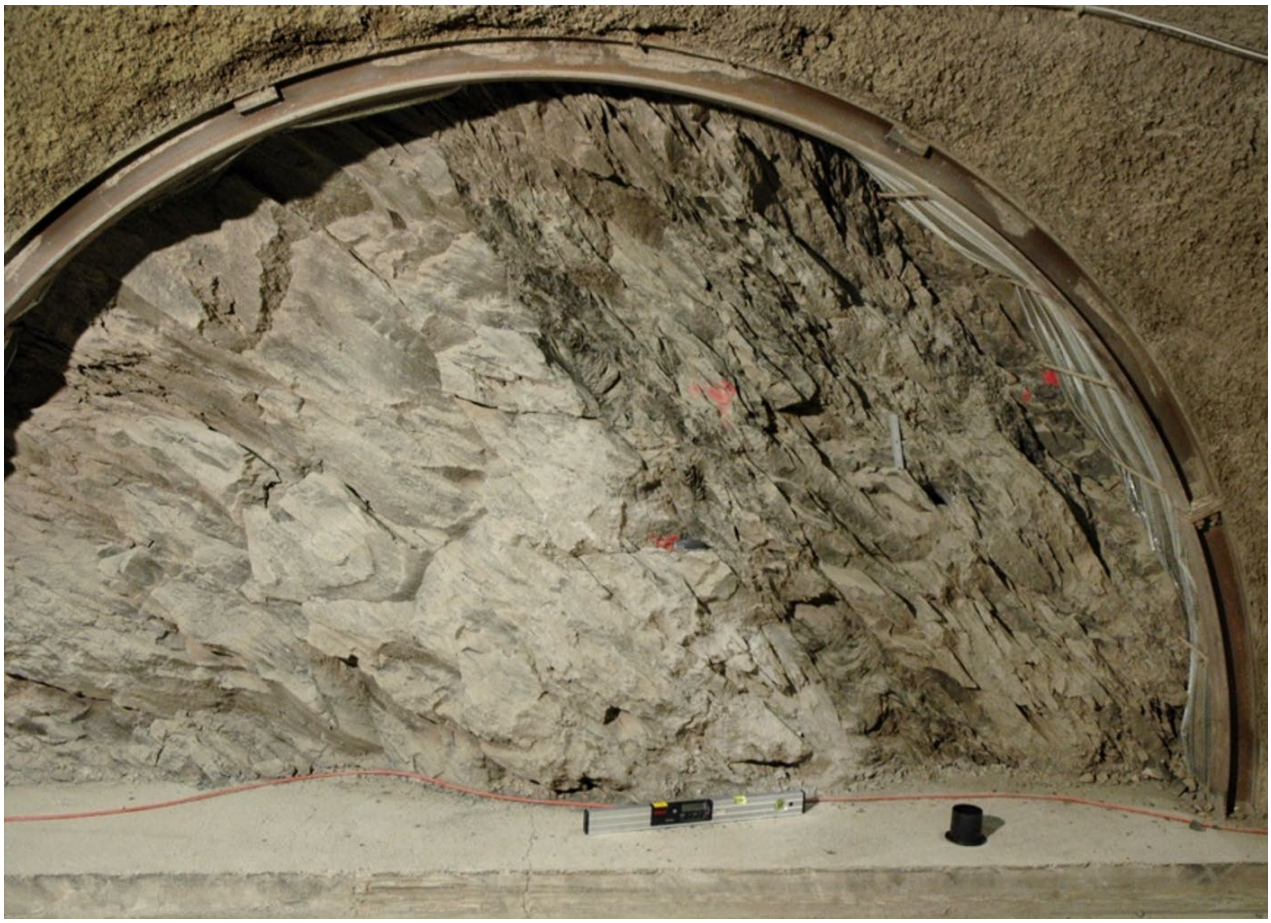


**Abb. 3: Aufschluss des Opalinustons unter einem Stahlbogen im Felslabor Mont Terri (JU). Links (heller) ist das Gestein wenig bis gar nicht deformiert, rechts (dunkler) ist eine grosse, 45° nach rechts einfallende Bruchzone erkennbar. Bildbreite ca. 3 m.**

**Abb. 4: Dünnschliffbild einer besonders Quarz-reichen Fazies des Opalinustons im Felslabor Mont Terri. Dunkle Lagen bestehen weitgehend aus Tonmineralien, helle Lagen sind Quarz-reich. Von den 12 % Porosität ist auf diesem Massstab nichts zu sehen (die Risse am unteren Bildrand sind bei der Probenpräparation entstanden). Bildformat 4 × 2.5 cm².**

birges entstanden ist. Diese Struktur wurde in unmittelbarer Nähe des illustrierten Aufschlusses mehrfach durchbohrt und hydraulisch betestet. Die Wasserdurchlässigkeit der Bruchzone war nicht von derjenigen des undeformierten Opalinustons unterscheidbar, also extrem tief – dies trotz des hohen Deformationsgrads.

In den potenziellen Lagerstandorten der Nordschweiz ist die Gesteinsdeformation im Vergleich zum Faltenjura gering, und grösseren Strukturen, die seismisch erkennbar sind, kann zudem durch entsprechende Platzierung ausgewichen werden. In der Ölindustrie sind tonreiche Gesteine weltweit bekannt als «Caprocks», d.h. Schichten, welche das Aufsteigen von Öl und Gas zur Oberfläche wegen ihrer abdichtenden Eigenschaften aufhalten und zur Akkumulation von nutzbaren Kohlenwasserstoff-Vorkommen führen.

Dank Selbstversiegelung sind die hydrogeologischen Eigenschaften des Opalinustons, vorab die Durchlässigkeit, im Wesentlichen unabhängig vom Vorkommen von Bruchstrukturen. Dies bedeutet, dass aus hydrogeologischer Perspektive der Opalinuston als Schicht mit im weitgehend homogenen Eigenschaften betrachtet werden

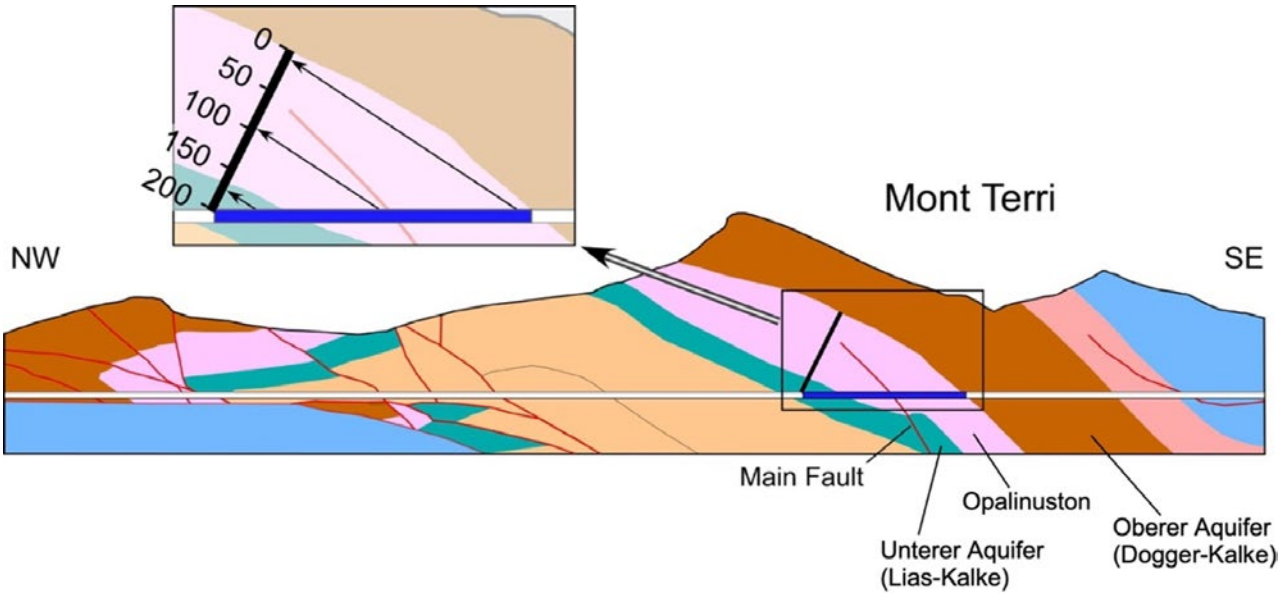



**Abb. 5: Geologisches Profil durch die Mont Terri-Antiklinale. Die Position des Felslabors ist blau markiert.**

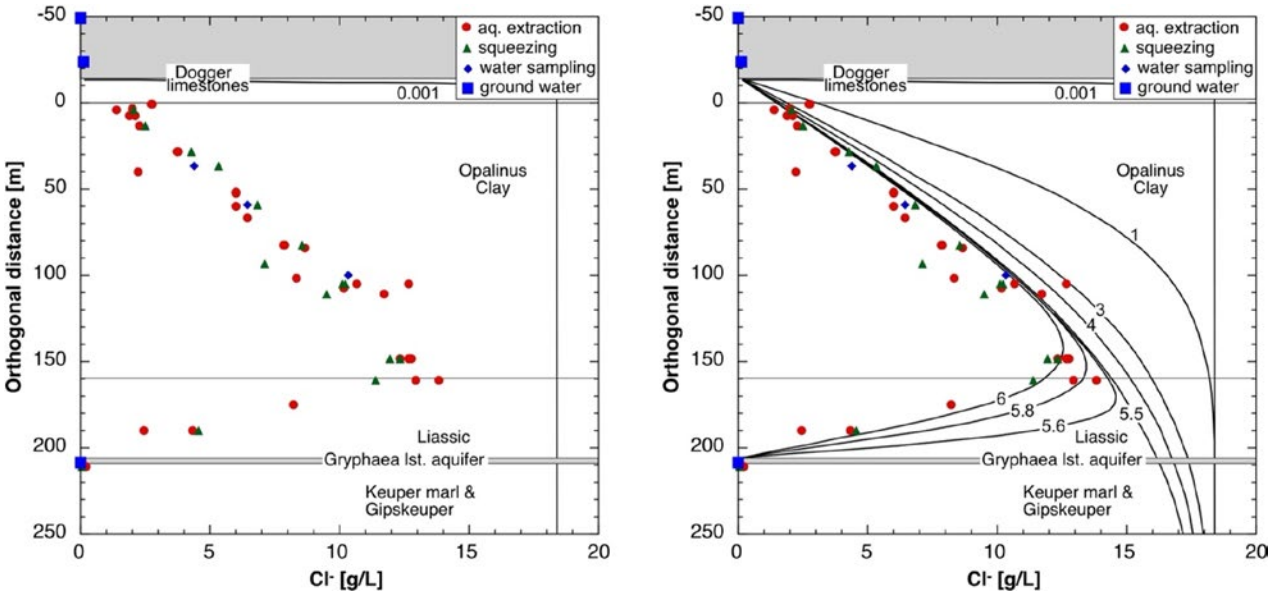



**Abb. 6: $Cl^-$-Gehalte im Porenwasser des Opalinustons im Felslabor Mont Terri. Nach Mazurek et al. (2011). Zahlen bei den modellierten Kurven markieren die Zeitdauer seit Aktivierung des oberen Aquifers in Millionen Jahren.**

kann, mit entsprechenden vorteilhaften Konsequenzen für die Explorierbarkeit. In einem homogenen Medium braucht es weniger Aufwand (z. B. Tiefbohrungen), um eine robuste Charakterisierung des Lagersystems herzuleiten.

## Das Felslabor Mont Terri

Im Jahre 1996 wurde auf Schweizer Initiative hin das Internationale Felslabor Mont Terri (mont-terri.ch) gegründet. Es wird vom Bundesamt für Landestopografie swisstopo betrieben, und derzeit beteiligen sich 22 Organisationen aus aller Welt an einer Vielzahl von Experimenten (Thury & Bossart 1999, Bossart & Thury 2007). Im Rahmen der Endlagerforschung steht die Wissenschaft vor dem Problem, Aussagen über das Systemverhalten über lange Zeiträume und Dimensionen im Bereich von Hunderten von Metern zu machen. Experimente im Labor sind demgegenüber kleinskalig in Raum und Zeit. In situ-Experimente im Felslabor dienen unter anderem dazu, diese Lücke teilweise zu füllen. Zudem können Untersuchungsmethoden und -geräte entwickelt und getestet werden. Seit einigen Jahren finden auch Experimente in den Bereichen Geothermie und $CO_2$-Speicherung statt.

## Porenwasserprofile als natürliche Experimente

Opalinuston entstand durch Ablagerung feiner Sedimentpartikel als Schlamm am Boden eines flachen Meeres. Anschliessend wurde er von jüngeren Sedimenten überdeckt und somit stark kompaktiert. Heute hat er eine wassergefüllte Porosität von ca. 12 Vol.-%. Die chemische Zusammensetzung des Porenwassers liefert Information über die geochemische Entwicklung der letzten Tausende bis Millionen von Jahren: welche Prozesse haben den Stofftransport im wassergefüllten Porenraum bestimmt, wie hat das Porenwasser mit den mobilen Grundwässern interagiert, und über welche Zeiträume? Dies sind Fragen, welche für die Endlagerforschung von zentraler Bedeutung sind. Wenn wir die Prozesse in der Vergangenheit verstehen, können wir daraus für die Zukunft lernen – Paläohydrogeologie als prognostisches Werkzeug sozusagen.

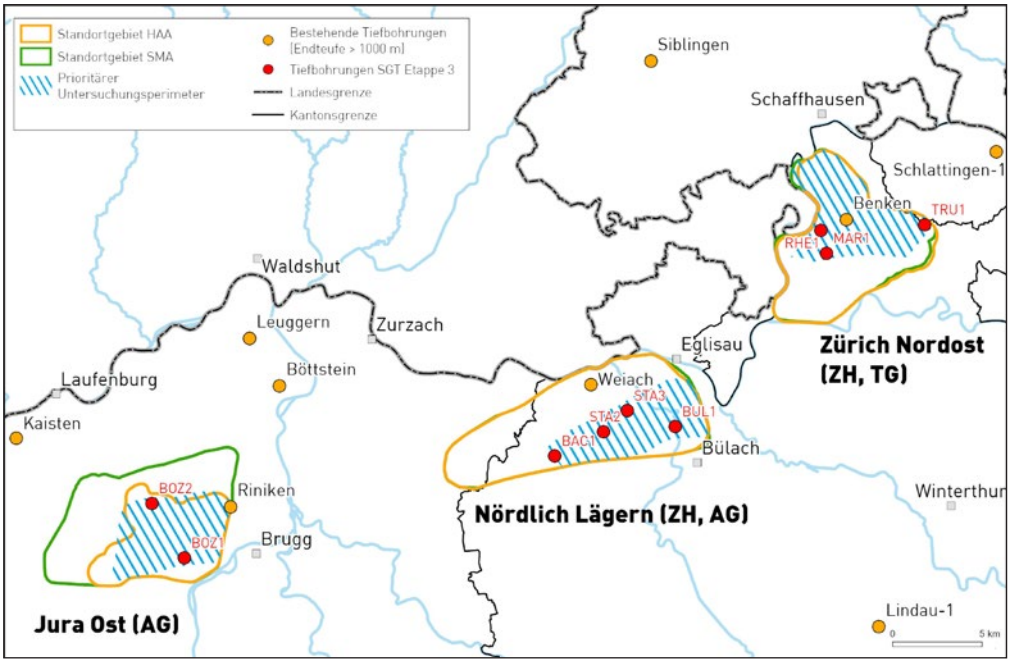



**Abb. 7: In Etappe 3 des Sachplanverfahrens untersuchte potenzielle Standortgebiete.**

Leider gibt der Opalinuston seine Geheimnisse nicht auf einfache Art und Weise preis. Obwohl 1 $dm^3$ Opalinuston 0.12 Liter Wasser enthält – mehr als genug für eine vollständige chemische und Isotopen-Analyse – lässt sich dieses nur schwer extrahieren. Dies liegt an der Architektur des Porenraums mit einer mittleren Porengrösse von gerade mal 2 nm (0.000 002 mm). Dies ist weit unterhalb der Auflösung optischer Bildgebungsverfahren – man kann den Porenraum also nicht direkt sehen *(Abb. 4)*. Am Institut für Geologie der Universität Bern wurden zahlreiche Methoden entwickelt und angewendet, um Porenwasser aus einem derart feingliedrigen Porenraum mit möglichst wenigen experimentellen Artefakten zu erhalten. Diese umfassen unter anderem das Anlegen eines hydraulischen Gradienten oder die Verwendung einer Presse, um einige Milliliter Wasser aus dem Gestein auszupressen. Dazu kommt eine Vielzahl weiterer Methoden (Uebersicht in Sacchi et al. 2001 und im Anhang von Mazurek et al. 2009). Ein Anwendungsbeispiel ist in *Abb. 5* und *Abb. 6* illustriert.

*Abb. 5* zeigt ein geologisches Profil durch die Mont Terri-Antiklinale sowie in blau die Position des Felslabors. Die Figur zeigt, dass die Falte teilweise erodiert ist und auch der Opalinuston im zentralen Teil vollständig fehlt. Aus hydrogeologischer Perspektive lässt sich die Entwicklung wie folgt beschreiben: Die Faltung des Juras (3–10 Millionen Jahre vor heute) erzeugt eine Topographie, welche die treibende Kraft für die nachfolgende Erosion darstellt. Zunächst werden die Kalke des oberen Doggers exhumiert, was zur Aktivierung dieses Aquifers führt. Damit gelangen schwach mineralisierte Oberflächenwässer in die Tiefe, und der $Cl^-$-Gehalt an der oberen Grenze des Opalinustons sinkt drastisch. Mit fortschreitender Erosion wird der Opalinuston selbst teilweise erodiert und danach der unterliegende Aquifer freigelegt und ebenfalls hydrogeologisch aktiviert, was ebenfalls mit einer abrupten Abnahme der Salinität bzw. des $Cl^-$-Gehalts einhergeht.

Entlang des Laborstollens wurden Analysen des Porenwassers durchgeführt, und *Abb. 6* links zeigt die Verteilung der $Cl^-$-Konzentration, projiziert auf eine Ebene senkrecht zur Schichtung (wie im Einschub von *Abb. 5* dargestellt). Die verschiedenen Methoden ergeben konsistente Resultate und zeigen ein asymmetrisches Profil, welches ein Maximum im unteren Drittel und ein steiles Abfallen zu den beiden einbettenden Aquiferen (grau) über und unter dem Opali-

nuston hin. Man kann nun versuchen, das Profil mit einem einfachen Diffusionsmodell zu erklären. Ausgehend von einer anfänglich konstanten $Cl^-$-Konzentration um 18 g/L wird zunächst der obere Aquifer aktiviert, was zu einer Ausdiffusion von $Cl^-$ gegen oben führt. Wie *Abb. 6* rechts zeigt, kann man nach einer Diffusionszeit von 5.5 Millionen Jahren den oberen Teil des beobachteten Profils gut reproduzieren. Zu diesem Zeitpunkt wird nun auch der untere Aquifer aktiviert, und nach einer Diffusionszeit von total 6 Millionen Jahren lässt sich das ganze Profil allein durch Diffusion erklären. Die Asymmetrie des Profils ist also die Folge der zeitlichen Verzögerung zwischen der Aktivierung des oberen und unteren Aquifers. Aus diesem Fallbeispiel kann man verschiedene Schlussfolgerungen ziehen, welche für den Stofftransport im Opalinuston eine Bedeutung haben:

- Es gibt starke Hinweise, dass molekulare Diffusion (getrieben durch Konzentrationsgradienten) der dominante Transportprozess im Opalinuston ist. Es wurden auch Modellrechnungen unter Berücksichtigung von Advektion (getrieben von Druckgradienten) gemacht, allerdings waren die Fits auf die Daten durchwegs schlechter.
- Die Diffusionszeiten (5.5 + 0.5 Millionen Jahre) wurden bei den Rechnungen als unabhängige Fitparameter verwendet. Sie liegen innerhalb des Bereichs, welcher durch die (mit anderen Methoden zeitlich eingegrenzte) Erosionsgeschichte der Antiklinale abgeleitet worden ist. Dies bestätigt, dass die im Labor gemessenen Diffusionskoeffizienten für $Cl^-$, welche der Modellrechnung zugrundeliegen, auch auf einer grossräumigen Skala gültig sind.
- Innerhalb des Profils befindet sich eine grosse Bruchzone im Opalinuston («Main Fault», s. *Abb. 3 und Abb. 5).* Diese findet aber keinen Ausdruck im $Cl^-$-Profil, was die oben beschriebene Selbstversiegelung illustriert.

## Einige Herausforderungen des Opalinustons

Dennoch, der Opalinuston hat nicht nur Vorteile. Seine Quellfähigkeit, ein Segen für die Selbstversiegelung, macht verschiedene Experimente im Labor wie auch in situ anspruchsvoller. Bohrlochstabilität ist ein vieldiskutiertes Thema auch in der Ölindustrie und erfordert angepasste Bohrverfahren. Untertagebauwerke wie Tunnel und Schächte sind, wie zahlreiche Beispiele im Faltenjura zeigen, machbar, wenn auch im Bau aufwändiger als in standfesteren Gesteinen.

**Abb. 8: Ein frisch erbohrter Gesteinskern wird vom Bohrturm abgeholt (links). Ein Bohrstellengeologe untersucht den Kern und wählt Proben für Laboruntersuchungen aus (rechts).**

Hochradioaktive Abfälle erzeugen nach der Einlagerung noch Jahrhunderte lang Wärme. In tonreichen Gesteinen mit ihrer im Vergleich geringen Wärmeleitfähigkeit führt dies zu einer lokalen Wärmeakkumulation und Temperaturen von >100 °C im unmittelbarer Nähe der Abfallkanister. Potenzielle Effekte dieses Hitzepulses, auch wenn dieser im Vergleich zur Lebensdauer des Lagersystems sehr kurz ist, werden in der Schweiz wie auch international untersucht. Ein einfacher Ansatz zur Bewältigung dieses Phänomens ist ein Lagerdesign mit grösseren Abständen zwischen den einzelnen Abfallkanistern.

## Aktueller Projektstand in der Schweiz

Der Prozess von Planung bis Realisierung eines Tiefenlagers beansprucht mehrere Jahrzehnte. Der «Sachplan geologische Tiefenlager» wurde vom Bundesamt für Energie entwickelt und in 3 Etappen unterteilt. Die fachliche Kompetenz liegt weitgehend bei der Nagra (einschliesslich deren unterstützenden Organisationen, Firmen und Beratern), und das Eidgenössische Nuklearsicherkeitsinspektorat (ENSI) ist die zuständige regulatorische Behörde. Etappe 1 (2008–2011) begann mit einer weissen Karte der Schweiz, gefolgt von einer geographischen Einengung nach klar festgelegten Kriterien. In Etappe 2 (2011–2018) erfolgte eine vertiefte Untersuchung der ausgewählten Standortregionen und eine weitere Einengung auf die Gebiete Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura Ost *(Abb. 7).* In allen 3 Gebieten ist Opalinuston das angepeilte Wirtgestein für das Tiefenlager. Derzeit läuft Etappe 3, welche eine vertiefte Charakterisierung dieser 3 Gebiete beinhaltet, unter anderem mittels 3D-Seismik und einer Bohrkampagne *(Abb. 8).* Die letzte der total 9 Tiefbohrungen wurde im Frühling 2022 abgeschlossen, und eine Standortwahl auf der Basis der erhaltenen Resultate wird Ende Jahr erwartet. Im Jahr 2024 soll ein Rahmenbewilligungsgesuch für den Bau des Tiefenlagers eingereicht werden.

## Literatur


Bossart, P., Thury, M., 2007. Research in the Mont Terri Rock laboratory: Quo vadis? Physics and Chemistry of the Earth 32, 19–31.

Gautschi, A., 2001. Hydrogeology of a fractured shale (Opalinus Clay) – implications for the deep disposal of radioactive wastes. Hydrogeol. J. 9, 97–107.

Mazurek, M., Hurford, A.J., Leu, W., 2006. Unravelling themulti-stage burial history of the Swiss Molasse Basin: integration of apatite fission track, vitrinite reflectance and biomarker isomerisation analysis. Basin Res. 18, 27–50.

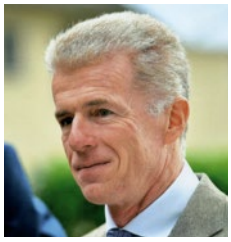
Mazurek, M., Alt-Epping, P., Bath, A., Gimmi, T., Waber, H.N., 2009. Natural tracer profiles across argillaceous formations: The CLAYTRAC project. OECD/NEA Rep. 6253, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France. www.oecdbookshop.org.

Mazurek, M., Alt-Epping, P., Bath, A., Gimmi, T., Waber, H.N., Buschaert, S., De Canni re, P., De Craen, M., Gautschi, A., Savoye, S., Vinsot, A., Wemaere, I., Wouters, L., 2011. Natural tracer profiles across argillaceous formations. Appl. Geochem. 26, 1035–1064.

Sacchi, E., Michelot, J.L., Pitsch, H., Lalieux, P., Aranyossy, J.F., 2001. Extraction of water and solutes from argillaceous rocks for geochemical characterisation: methods, processes and current understanding. Hydrogeol. J. 9, 17–33.

Thury, M., Bossart, P., 1999. The Mont Terri rock laboratory, a new international research project in a Mesozoic shale formation, in Switzerland. Engineering Geology 52, 347–359.

**Martin Mazurek**



Martin Mazurek promovierte 1988 an der Universität Basel in metamorpher Petrologie. Danach war er in verschiedenen Funktionen am Institut für Geologie der Universität Bern tätig, seit 2011 als assoziierter Professor im Themenbereich Geochemie und Angewandte Geologie. Geochemische Wechselwirkungen zwischen geringdurchlässigen, oft tonreichen Gesteinen und deren Porenwässern sowie die Beziehung zwischen bruchhafter Gesteinsdeformation und Wasserfluss gehören zu den Forschungsschwerpunkten.

Kontakt: mazurek@geo.unibe.ch

Weisheit ist nicht das Ergebnis der Schulbildung, sondern des lebenslangen Versuchs, sie zu erwerben.

Quelle: Einstein sagt – Zitate, Einfälle, Gedanken,
Herausgegeben von Alice Calaprice; 1997 Piper Verlag München,
ISBN 978-3-492-25089-4, 4. Auflage Februar 2013.

# Tsunami am Genfersee

**Autor**

**Matthias Giger**

Obwohl es historische Quellen gibt, die das Ereignis im Jahre 563 gut beschreiben, war die Ursache lange nicht klar. Der Gelehrtenstreit dauerte von der Mitte des 19. Jahrhunderts bis Anfang des 21. Jahrhunderts. Seitdem sind wichtige, neue Forschungsergebnisse publiziert worden, die eine plausible Erklärung ermöglichten und eine verhängnisvolle Ereigniskette aufzeigten.

**Abb. 1: Der Ort Saint Saphorin in der Lavaux (Waadt). In der Ferne sind hinten von links bis in die Bildmitte die Waadtländer Alpen und rechts die Savoyer Alpen zu sehen. Dort löste sich der grosse Bergsturz, dessen Massen auf die Feuchtgebiete am Rhônedelta (aber nicht in den See) fielen. Weil der See vor den Gewässerkorrektionen im 19. Jahrhundert von Hochwässern bedroht war, liegen sowohl die Siedlung wie auch die alte Landstrasse etliche Meter oberhalb des Sees (heutiger Normalpegel 372 m ü. Meer).** Bild: www.region-du-leman.ch

Wer an einer kulturellen und önologischen Führung durch das Lavaux-Dorf Saint Saphorin[1] teilnimmt, bekommt zu hören, dass einmal ein gewaltiger Tsunami das Dorf erfasst und Vieles zerstört habe. Einen grossen Bergsturz kann man sich aber, an den relativ sanften, mit Reben bebauten Molasse-Hängen der Lavaux nicht vorstellen *(Abb. 1)*. Die Kirche und der alte Dorfkern liegen übrigens rund 30 m über dem heutigen Seespiegel. Das ist aber damit zu begründen, dass der Genfersee, vor den Flussregulierungen im 19. und 20. Jahrhundert, oft über die Ufer trat. Die in Saint Saphorin gehörte Geschichte war auf jeden Fall eine Motivation der «grossen Welle» näher auf den Grund zu gehen und passt gut zum Thema «Zeitreisen».

## Alte Schriften berichten über grosse Welle

Zwei alte, historische Quellen beschreiben eine Naturkatastrophe am Genfersee und geben mit 563 n. Chr. dafür auch eine Jahrzahl an. Der erste Bericht stammt vom Bischof und Heiligen Marius von Avenches, der in der *Chronica ad annum 563*[2] beschreibt, dass ein Bergsturz bei der Burg Tauredunum am Alpenrand auf dem Genfersee eine grosse Welle ausgelöst habe, die am Seeufer Siedlungen und in Genf eine Brücke sowie Mühlen zerstörte und in der Innenstadt (genauer Unterstadt; siehe *Abb. 6)* etliche Menschen tötete. Ein ähnlich lautender, zeitgenössischer Bericht stammt von Gregor (Grégoire) von Tours und befindet sich in der französischen Nationalbibliothek. Da sich Historiker ein solches Ereignis am «friedlichen Genfersee» nicht vorstellen konnten, wurde die Geschichte der «grossen Welle» lange als Metapher bzw. Legende gewertet, eine Darstellung der politischen Stürme in der unsicheren Völkerwanderungszeit[3].

## Forscher suchen nach Tauredunum

Im 19. Jahrhundert wurden neue wissenschaftliche Methoden angewandt: In der Archäologie hat man nicht nur Zufallsfunde an der Oberfläche gesammelt, vielmehr versuchte man durch Grabungen mehr über die Vergesellschaftung und Schichtabfolge der Funde zu erfahren. Die Geologen wandten das Aktualismus-Prinzip von Charles Lyell[4] und anderen an, wonach heute beobachtete, geomorphologische Prozesse auch in der Vergangenheit (Erdgeschichte) wirkten. So ist zu erwarten, dass die Ablagerungen rezenter Bergstürze jenen von erdgeschichtlich älteren Bergstürzen ähneln.

In der Region des Genfersees waren Frédéric Troyen (1815–1866), ein Archäologe und Adolphe Morlat (1820–1867), ein brillanter Geologe aus Bern, die Pioniere des neuen Vorgehens. Sie glaubten nicht, dass die Geschichte des Heiligen Marius nur eine Legende ist und machten sich auf die Suche nach Spuren des Tauredunum-Ereignisses im Gelände. Beide neigten dazu, das Ereignis in der Ostflanke des «Le Grammont» (2172 m; SW von Bouveret) zu verorten, genauer auf der Alp «La Dérotchia» («nomen est omen»[5]). Diese Idee wurde vom Naturforscher und Konservator Rodolphe Blanchet (1807–1864) aufgenommen. Er hielt fest, dass das Seeufer in der spätrömischen Zeit noch einige Kilometer östlich von Le Bouveret lag und die Bergsturztrümmer direkt in den See fielen, diesen dort teilweise auffüllten und so eine grosse Flutwelle auslösten.

1 2007 erfolgte die Aufnahme der Lavaux ins UNESCO Weltkulturerbe.
2 Marius von Avenches lebte von 530 (oder 531) bis 594 n. Chr. Galt schon zu Lebzeiten als Heiliger. Approbation durch Rom 1605. Eine Abschrift seiner Chronik findet sich heute in der British Library (Nationalbibliothek; London).
3 Sogenannt barbarische Völker aus dem Osten bedrohten damals Westeuropa.
4 Der Geologe Charles Lyell (1797–1875) war der wichtigste (aber nicht der erste und einzige) Verfechter des Aktualismus-Prinzips.
5 Name wohl abgeleitet von dérocher = «faire tomber des pierres».

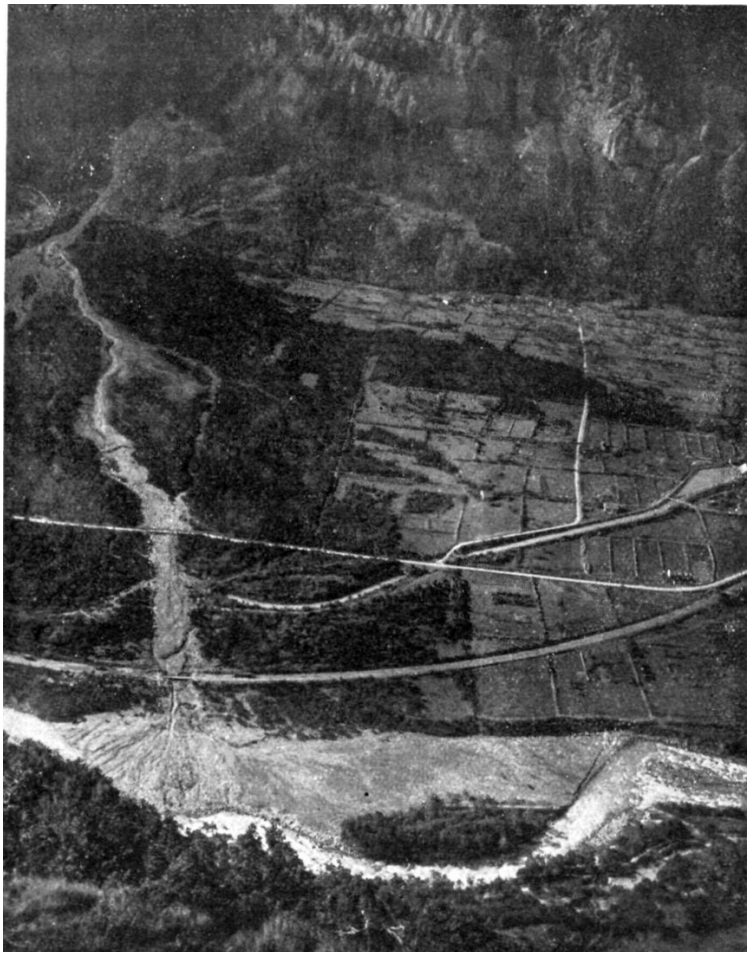


**Abb. 2: Quelle allen Unheils? Anhänger der «Bois-Noir»-Hypothese sahen den heute bewaldeten Schuttkegel südlich von St. Maurice als Auslöser des Tsunami-Ereignisses. Instabile Felsen im Quellgebiet liefern Lockermaterial, das vom Wildbach «Torrent Saint Barthélemy» bis in die Rhône geschwemmt wird und diese stauen kann. Ein grösseres Ereignis 1926 wurde beispielsweise dokumentiert in einem Bericht von Ignace Marietan, der auch auf das Tauredunum-Ereignis Bezug nimmt.** Bild: Ignace Marietvan

## Ursache? Zwei ältere Hypothesen!

Eine andere Hypothese war im 19. Jahrhundert populärer als die Verortung am Grammont bei Le Bouveret. Sie postulierte einen grossen Bergsturz unweit südlich St. Maurice gefolgt von einem Stau im Rhônetal. Von der instabilen Felsflanke der «Rochers des Gagneries» (2735 m), ein Grat der markanten Dents du Midi, soll sich ein gewaltiger Bergsturz gelöst und dessen Schutt sich bis ins Tal ergossen habe. Dort entstand gemäss der **«Bois Noir»-**Hypothese ein grosser Schuttkegel, der heute bewaldet ist (siehe *Abb. 2).* Der Schutt soll die Rhône vorübergehend zurückgestaut haben. Ein späterer Dammbruch hätte demnach zu einer Flutwelle geführt, die bis nach Genf zu spüren war. Diese Hypothese war auch bei den Historikern beliebt, weil der alte Chronist Gregor (Grégoire) von Tours nur den Fluss Rhône, aber nirgends einen See erwähnt.

Aus aktueller Sicht erklärt ein solches Dammbruchereignis die 563 beobachtete Hydrodynamik auf dem Genfersee aber keineswegs: Angesichts seiner grossen Fläche hätte der See ausgleichend gewirkt und der Spiegel des Genfersees wäre nur leicht angestiegen (vielleicht maximal 1 m). Vor allem im Rhônetal selbst hätte die Flut aber grosse Zerstörungen angerichtet. Es gibt jedoch z. B. im Kloster St. Maurice, wo schon um etwa 400 n. Chr. der erste Bischof des Wallis Theodul (auch Theodor) wirkte, keine schriftlichen Belege für einen grossen Bergsturz gleich nebenan und eine grosse Flut, wohl aber zeitnahe Beschreibungen eines Langobarden-Überfalls um 574.

Die Kontroverse der Anhänger der «Le Grammont» – Hypothese und der «Bois Noir»-Hypothese ging jahrzehntelang weiter bis etwa in die 1930er-Jahre, dann kamen neuere Ideen auf, was 563 passiert sein könnte.

Spezialisten für Felsbewegungen und Bergstürze, so der Geomorphologe Philippe Schoeneich (aus Grenoble), sind mittlerweile geneigt die Ursache für das Tauredunum Ereignis an der Felsnase der **«La Suche»** (1541 m), unweit nördlich von Vouvry (VS), zu verorten. Die Felsnase der «La Suche» ist stark zerklüftet, immer noch instabil und

somit Quelle von Steinschlag sowie kleineren Felsstürzen. In der Talebene, östlich der Rhône zwischen Bouveret und Villeneuve, gibt es kleinere Unebenheiten und Hügel, deren innerer Aufbau bei Tiefbauarbeiten punktuell untersucht werden konnte (siehe *Abb. 3).* Es zeigte sich, dass diese Erhebungen zertrümmertes, kalkiges Material von der «La Suche» enthalten, insbesondere helle Malmkalke, aber auch Gesteine der «Couches Rouges», also dunkelrote, dünnbankige und schiefrige Mergel sowie Kalke (Alter: Oberkreide bis Alttertiär). Insgesamt umfasst die Bergsturzmasse mindestens 30 Millionen Kubikmeter, was einem Felswürfel von rund 310 m Kantenlänge entspricht und die Bergsturzmasse von Bondo (GR) im Jahr 2017 um das Zehnfache übertrifft! Die *Abb. 3* zeigt auch, dass die Bergsturztrümmer zwar Feuchtgebiete zugedeckt haben, der damalige See aber nur ganz am Rande berührt wurde, was nicht ausreichte, einen grossen, bis nach Genf wirkenden Tsunami auszulösen.

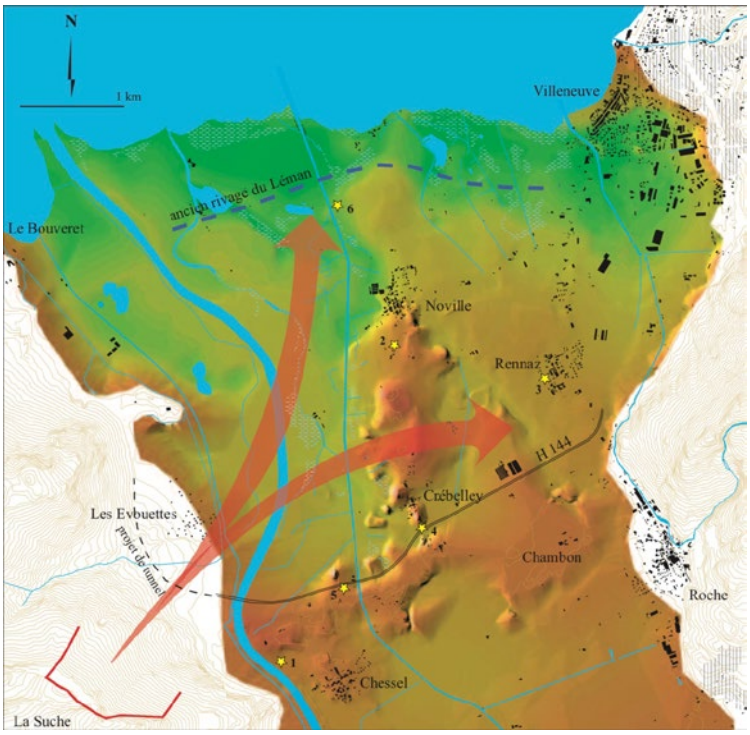



**Abb. 3: Die Ausbruchnische, der Transport (orange Pfeile) und die hügeligen Ablagerungen (braun bis orange dargestellt) des «Suche»-Bergsturzes zwischen Le Bouveret, Villeneuve, Chessel und Vouvry (liegt links unten; gerade ausserhalb des Kartenausschnitts). Verschiedene Tiefbauarbeiten (gelbe Sterne) erlaubten es, den Aufbau der Hügel punktuell zu studieren*.** Bild: Philippe Schoeneich, Marc Weidmann und Carole Blomjous (2015).

* Mittlerweile ist die Ansicht, dass der Bergsturz von der Suche das alte Tauredunum zerstörte, bestätigt worden. Unter den Bergsturztrümmern fand man 2018 gallo-römische Siedlungsreste (Mauern) und Gegenstände!

## Blick in die Tiefen des Sees

Die Vorgänge im Jahr 563 konnte man aber erst richtig deuten, als man die Entstehung des Sees, die Formen des Seebodens sowie die Seeablagerungen limnologisch[6] und limnogeologisch umfassend studierte und verstand. Der See hat eine Fläche von 580 km² und einen Inhalt von 89 km³, was ihn zum wasserreichsten See von Mitteleuropa macht. Entstanden ist die Vertiefung des heutigen Sees in der letzten Kaltzeit. Das letzte glaziale Maximum (Last Glacial Maximum, LGM) erreichte seinen Höhepunkt vor etwa 21 000 bis 18 000 Jahren, als der Rhône-Gletscher bei Genf noch 1 km dick war und bis in die Region von Lyon reichte. Durch die Einwirkung des Gletschers entstand am Alpenrand im Felsuntergrund ein stark übertieftes, gewaltiges Trogtal von bis zu 1100 m Tiefe! Mit dem Zurückweichen des Gletschers wurde das Trogtal mit Wasser und Sedimenten gefüllt. Trotz der Verfüllung dieser glazialen Übertiefung über viele Jahrtausende ist der Genfersee zwischen Evian und Lausanne noch immer 310 m tief.

Entscheidend war die Untersuchung der Sedimente an der tiefsten Stelle des Sees, einer flachen Unterwasserebene zwischen Lausanne (VD) und Evian (F). Dabei wurde ein Sonar eingesetzt, dessen Quelle ein akustisches Signal erzeugt. Die Echos werden von einem Detektor aufgefangen und zeigen mehr oder weniger stark reflektierende Schichten im Untergrund. Aus der

6 Limnologie: Ist die Wissenschaft von Binnengewässern. Limnogeologie befasst sich mit den Ablagerungen in Binnengewässern.

Laufzeit des Echos kann auf die Tiefe der Schicht geschlossen werden. Das Signal ist breitbandig (2 bis 4 kHz) und für die Erkundung des Sedimentstapels bis in Tiefen von 40 m geeignet. Die Resultate der Erkundung sind auf der *Abb. 4* zu sehen.

Schliesslich wurde von der vermuteten «Tauredunum»-Schicht vier bis zwölf Meter lange Bohrkerne entnommen. Diese im Mittel 5 m bis 7 m mächtige Schicht (maximale Mächtigkeit 11 m) weist wenig interne Struktur auf und ist heller, siltiger[7] als die tonigen (dunkleren) Seesedimente darunter und darüber. An Blattresten aus diesem Sedimentkörper konnte eine Radiokarbondatierung ($^{14}$C-Datierung; siehe dazu auch Artikel in diesen Mitteilungen) durchgeführt werden. Dadurch liess sich ein Zeitfenster zwischen 381 n. Chr. und 612 n. Chr. ermitteln, was mit den historischen Angaben des Heiligen Marius («annum 563») und des Gregor von Tours gut übereinstimmt.

## Verständnis für den Gesamtprozess

Fasst man alle Erkenntnisse zusammen, kann man das «Tauredunum»-Ereignis heute plausibel erklären und numerisch modellieren. Man geht davon aus, dass der Bergsturz von Gipfel der «La Suche» auf die weichen und feuchten Ablagerungen im unteren Rhônetal der Auslöser der ganzen Ereigniskette war *(Abb. 3)*. Die Erschütterungen waren so stark, dass die feinen, siltigen Ab-

7 Sehr feine Tone und Sande mit einer Korngrösse von maximal 0.063 mm. Silt ist typisch für die Trübung von Gletscherflüssen, wie eben auch der alpinen Rhône im Wallis.

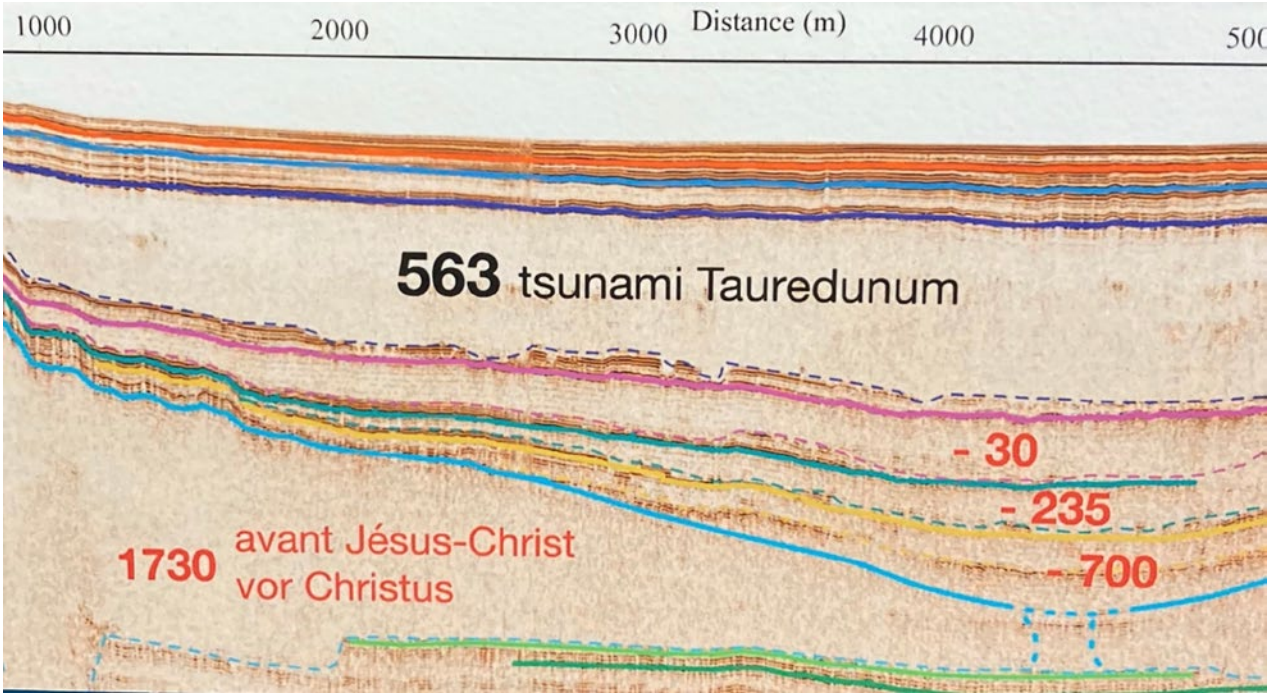



**Abb. 4: Stark überhöhte Ansicht des Sedimentprofils am Seegrund (insgesamt etwa 22 m). An der Oberfläche liegen ungestörte, parallelgeschichtete Sedimente des Seegrunds (Mächtigkeit ca. 2.5 m bis 4 m in 1450 Jahren). Darunter folgt eine 5 m bis 11 m mächtige, wenig strukturierte Schicht, die sich über viele Kilometer erstreckt. Sie ist im Jahr 563 durch einen Unterwasser-Rutsch innerhalb von Minuten bis Stunden entstanden. Weitere Schichten, die auf solche Massenverschiebungen im See hindeuten, finden sich ca. 30 v. Chr., 235 v. Chr., 700 v. Chr. und 1730 v. Chr. («bronzezeitlicher Tsunami»).** Quelle: Stéphanie Girardclos und Katrina Kremer. Bild ausgestellt im Musée du Léman (Nyon).

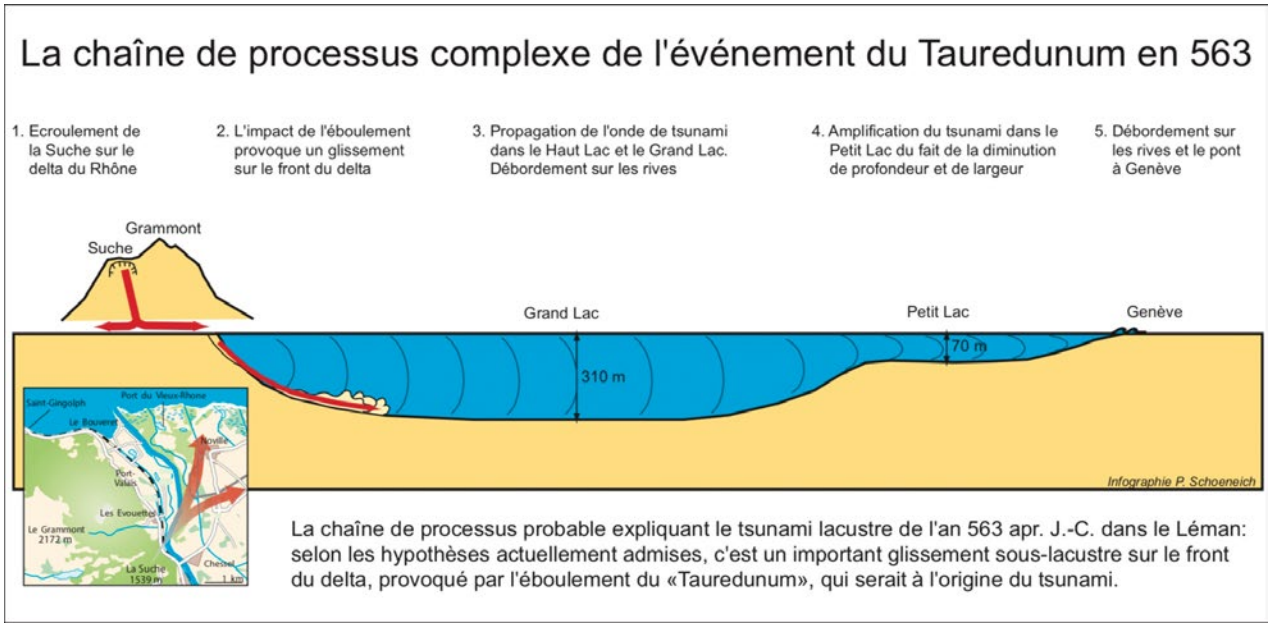



**Abb. 5: Die Ereigniskette des Tauredunum-Ereignisses: Alles begann mit einem grossen Bergsturz von der «La Suche» (1). Die Erschütterungen lösten am Rhônedelta einen grossen Rutsch und Trübestrom unter dem Seespiegel aus, dessen Schubwirkung den Tsunami auslöste (2). Der Tsunami bewegte sich in etwa 70 Minuten bis nach Genf (3). Man beachte das Tiefenprofil des Sees vom Grand Lac zum Petit Lac. Die Einengung im Petit Lac führte zu einer Verstärkung (Erhöhung) des Tsunamis, der schliesslich in Genf wieder 8 m Höhe erreichte (5) und zerstörerisch wirkte.** Bild: Philippe Schoeneich, Marc Weidmann und Carole Blomjous (2015). Erstpublikation: Kremer, K., Simpson, G., Girardclos, S. (2012).

lagerungen vor der Rhônemündung destabilisiert wurde. Es ist ein bekannter Effekt, dass wasserhaltige, feinkörnige Sedimente durch Erschütterungen destabilisiert werden. In unserem Fall war die Erschütterung Folge eines Bergsturzes, es könnte aber auch ein starkes Erdbeben als Auslöser wirken. Man nennt diesen Effekt Thixotropie[8]. Aufgrund der Ausdehnung des «Tauredunum»-Sedimentkörpers *(Abb. 4)* nimmt man an, dass sich dabei 250 Millionen (!) Kubikmeter Sediment als Trübestrom vom Rhônedelta in die Tiefen des Genfersees zwischen Lausanne und Evian bewegt haben, was genügend kinetische Energie für ein grosses Tsunami-Ereignis lieferte. Die Dauer des Trübestroms ist unbekannt, aber es wird vermutet, dass in einer halben Stunde schon die Hauptmasse transportiert war. Die restliche Trübung sedimentierte in Stunden bis Tagen.

Die numerische Modellierung der Tsunami-Vorgänge hat ein Spezialist der Universität Genf, Guy Simpson, übernommen. Er hat viel Erfahrung mit der Modellierung von Naturkata-strophen weltweit, z. B. in Neuseeland. Die Modellierung für den Genfersee war aber eine grosse Herausforderung. Im Längsprofil variiert die Tiefe nämlich stark, wie auch die *Abb. 5* zeigt. Der über 300 m tiefe «Grand Lac» liegt oberhalb von Nyon. Von Nyon bis Genf erstreckt sich der «Petit Lac», der deutlich weniger tief (bis 76 m) und zudem weniger breit ist, als der «Grand Lac». Je schmaler der See wird, desto komplexer ist das Modell zur Ableitung der maximalen Wellenhöhen, weil z. B. Wellen von der Gegenküste zurückschwappen

8 Phasenübergang in feinkörnigem Sediment durch mechanische Beanspruchung (typisch ist ein Wechsel fest → flüssig durch eine Erschütterung).

**Abb. 6: Genf zur Zeit der Völkerwanderung («Fränkisches Genf»). Die Kernsiedlung mit Kirche lag auf dem Hügel (links), wo noch heute die Kathedrale Saint-Pierre steht. Von der Überflutung betroffen waren vor Allem die befestigte Unterstadt am Seeufer (Bildmitte) sowie die grosse Brücke über die Rhône (Mitte; rechts). Die heutige Innenstadt rund um den Pont du Mont Blanc existierte damals noch nicht, wäre aber bei einem gleichartigen Tsunami-Ereignis heute sehr stark betroffen!** Bild ausgestellt im Musée du Léman (Nyon).

können (Reflexion und Interferenzen). Die Strände wurden wohl nicht nur von einer einzigen Welle getroffen, sondern es gab wohl mehrere Wellen (Effekt des «hin und her Schwappens»). So ist die alte Beschreibung des Marius von Avenches wohl treffend: «Der See wurde so aufgewühlt, dass er über seine Ufer trat und Dörfer mit Mensch und Vieh zerstörte». Gemäss Guy Simpsons Modell war der Tsunami in Vevey (Vilette) 6 m hoch, Lausanne bis 13 m (!), in Evian 8 m, in Nyon 4 m und in Genf (maximale Verengung) wieder 8 m. Im Bereich des Rhône-Deltas gab es dagegen einen Sog und der See wich zurück. Für Montreux wird gemäss dem numerischen Modell ein Absinken des Seespiegels von 2 m angenommen!

Auch die Vorgänge im Jahre 563 in Genf[9] kann man nun besser verstehen *(Abb. 6)*. Marius von Avenches hat sie treffend beschrieben (siehe weiter oben). Gregor von Tours hielt auch fest, dass die Stadtmauer überflutet wurde, was mit den 8 m Überflutungshöhe gemäss dem numerischen Modell übereinstimmt. Würde sich ein solcher Tsunami heute wiederholen, würden etwa 2 bis 3 $km^2$ der Genfer Innenstadt überflutet, alles tieferliegende Gebiete, die 563 n. Chr. noch nicht besiedelt waren! Die Verluste an Menschenleben und der Schaden wäre also heute wohl wesentlich grösser, als in fränkischer Zeit.

## Tsunami-Gefahr heute

Im Sedimentprofil *(Abb. 4)* gibt es Hinweise auf mehrere ähnliche Ereignisse, wobei beim Tauredunum Ereignis weitaus das grösste Volumen bewegt wurde (die Ablagerung ist grossflächig und mächtig). Der bronzezeitliche Tsunami[10] war vor Allem zwischen Lausanne und Evian zu spüren. Quelle ist in diesem Fall nicht das Rhône-Delta, sondern der Unterwasserrutsch bewegte sich vom Nordufer über den Steilhang des eiszeitlichen Trogtals in die Tiefen des Sees. Die Mächtigkeit der Ablagerungen am

9 Zusammen mit Burgund fiel Genf im Jahre 532 an die Franken.

10 Alter etwa 1730 Jahre v. Christus; siehe auch Abbildung 4

Seegrund schwankt stark und das Volumen war nur halb so gross wie beim Tauredunum-Ereignis. Einige bronzezeitliche Seesiedlungen waren dennoch von diesem Ereignis stark betroffen und die Untersuchung von bronzezeitlichen Holzpfählen deutet auf eine etwa 129 Jahre dauernde Siedlungspause.

Es ist keineswegs auszuschliessen, dass sich auch heute ein ähnliches Ereignis wiederholt, z. B. bei starken Erschütterungen durch ein Erdbeben.

Tsunamis sind auch von anderen Alpenrandseen bekannt, so vom Vierwaldstättersee (1601 und 1687; maximale Höhe 4 bis 5 m), vom Lac de Bourget (Savoyen; 1822; Höhe mehrere Fuss) oder vom Comersee (nicht datierte Ablagerungen am Seegrund).

Auch Bergstürze, die in Seen hineinfahren, können Flutwellen auslösen. So wurde der Lauerzersee (SZ) 1806 randlich vom Bergsturz am Rossberg aufgefüllt, was eine bis zu 9 m hohe, zerstörerische Flutwelle auslöste.

Der interdisziplinäre Ansatz von Geologen, Limnologen, Archäologen und Historikern half, die Gefahr von See-Tsunamis zu erkennen und deren Häufigkeit abzuschätzen. Die Ergebnisse sind sehr wichtig für die Behörden, welche für die Gefahrenprävention und -abwehr zuständig sind.

## Literatur

Kremer, K., Simpson, G., Girardclos, S. Giant Lake Geneva tsunami in AD 563. Nature Geoscience 5, 756–757 (2012).

L'énigme du Tauredunum enfin résolue? Philippe Schoeneich, Marc Weidmann, Carole Blomjous, p. 153–174 dans de «Le Rhône, entre nature et société», textes réunis par Emmanuel Reynard, Myriam Evéquoz-Dayen, Gilles Borel, Sion, 2015 (Cahiers de Vallesia, 29).

Un tsunami sur le Léman – Tauredunum 563 – Pierre-Yves Frei, Sandra Marongiu; Buch; EPFL Press; 2019

## Dank

Beatrice Giger sei gedankt für das sorgfältige Korrigieren der Orthographie.

**Matthias Giger**

Matthias Giger, Jahrgang 1954, promovierte in Isotopengeologie an der Universität Bern. Danach Tätigkeit als Gymnasiallehrer für Geographie sowie Chemie und später als wissenschaftlicher Mitarbeiter für Bevölkerungsschutz (Kanton Bern), wo auch Naturgefahren ein Thema waren. Von 2001 bis 2019 wirkte er als Fachlehrer für Chemie im ABC Zentrum Spiez.

Kontakt: aries1@bluemail.ch

# Mikroplastik im Boden

Plastik wird heute überall eingesetzt und gelangt leider auch in die Umwelt. Seit 1950 wurden weltweit etwa 8300 Millionen Tonnen Plastik produziert, von denen 79 % auf Mülldeponien oder in der Umwelt landen (Geyer et al. 2017). Böden sind das Hauptreservoir für Kunststoffabfälle und weisen im Vergleich zu aquatischen Systemen 4 bis 23-mal höhere Kunststoffkonzentrationen auf (Horton et al. 2017). Damit sind Böden wahrscheinlich die wichtigsten Senken für Mikroplastik. Gleichzeitig sind sie aber ein wichtiger Teil des terrestrischen Ökosystems und die Grundlage für die menschliche Nahrungsmittelproduktion und Trinkwassergewinnung.

**Autor**

**Moritz Bigalke**

Der emittierte Kunststoff kann unterschiedliche Grössen haben, aber auch grosse Plastikstücke zerfallen mit der Zeit und bilden schliesslich Mikroplastik (1–5000 µm; *Abb. 1;* van Cauwenberghe et al. 2015). In der Schweiz ist der Reifenabrieb die häufigste Quelle von Mikroplastik-Freisetzung *(Abb. 2)* (Sieber et al. 2020). Neben dem Reifenabrieb bildet die Landwirtschaft eine der Hauptquellen für Mikroplastik in Böden *(Abb. 3)* (Kawecki und Nowack 2019; Blasing und Amelung 2018). Die Hauptquellen für Mikroplastik in landwirtschaftlich genutzten Böden sind die Ausbringung von Klärschlamm, Kompost, die Verwendung von Folien in der Landwirtschaft und Bewässerung. Für die Schweiz ergaben Flussberechnungen für landwirtschaftlich genutzte Böden eine prognostizierte Umweltkonzentration von 200±100 mg $kg^{-1}$ und zeigten, dass Klärschlamm die Hauptquelle für Mikroplastik ist, gefolgt von der Verwendung von Folien und der Kompostausbringung, während die Streuung nur eine sehr geringe Rolle spielt (Kalberer et al. 2019). Darüber hinaus gibt es diffuse Quellen wie atmosphärische Deposition, oder Littering (Blasing und Amelung 2018; Dris et al. 2017; Zhang et al. 2016).

Etwa 0–13.000 Mikroplastik-Partikel $kg^{-1}$ wurden in landwirtschaftlichen Böden gefunden (Büks und Kaupenjohann 2020). Mikroplastik kann entlang präferentieller Fliesswege und durch Bioturbation in Böden transportiert werden (Lwanga et al. 2016; Maass et al. 2017; Zubris und Richards 2005). Es kann aus dem Boden in Grund- und Oberflächengewässer ausgewaschen und durch Erosion transportiert werden (Bigalke et al. 2021; Wanner 2021; Rezaei et al. 2019). Mikroplastik wird in Böden nur langsam abgebaut (Brandon et al. 2016; Ding et al. 2022) und beeinflusst in hohen Konzentrationen die biophysikalischen Eigenschaften des Bodens, indem es Bodeneigenschaften wie die Schüttdichte, das Wasserhaltevermögen, aber auch die mikrobielle Aktivität im Boden verändert, wobei die Stärke der Wirkung hauptsächlich von der Form der Kunststoffe abhängt (Machado et al. 2018). Letale Wirkungen auf Regenwürmer treten bei sehr hohen Konzentrationen von >28 % in der Streu auf (1,2 % im Boden; (Lwanga et al. 2016)), Entzündungen bei Regenwürmern

**Abb. 1: Mikroplastikpartikel, die auf einer Weide in den Alpen nahe Innsbruck, Österreich, gefunden wurden.**

**Abb. 2: Filter mit aus dem Boden extrahierten Mikroplastik. Die schwarzen Partikel stellen Reifenabrieb dar, die weissen und transparenten Partikel Bruchstücke von Verpackungsmaterial. Ausserdem sind deutlich rote Plastikfasern zu sehen. Neben Mikroplastik sind auf dem Filter auch noch Reste organischen Materials (Holz usw.). Das Mikroplastik in der Abbildung ist aus 5 g Boden extrahiert.**

**Abb. 3: Einsatz von Plastik in der Landwirtschaft.**

aber bereits bei 62,5–1000 mg Mikroplastik $kg^{-1}$ Boden (Rodriguez-Seijo et al. 2017). Nur kleine PE-Partikel lösten bei Landschnecken oxidativen Stress aus, ohne jedoch quantifizierbare zyto- oder genotoxische Effekte zu verursachen (Colpaert et al. 2021). Mikroplastik kann das Pflanzenwachstum und die Eigenschaften von Pflanzen beeinträchtigen (Machado et al. 2019; Meng et al. 2020). Kleines Mikroplastik (<10 µm) und Nanoplastik können von Pflanzen aufgenommen werden und toxische Wirkungen haben (Jiang et al. 2019; Li et al. 2020; Ren et al. 2021). Biologisch abbaubare Polymere können stärkere Auswirkungen haben als Polyethylen-Reste von Mulchfolien (Qi et al. 2018; Meng et al. 2020). Allerdings verwenden die meisten der Studien, die bisher die Auswirkungen von Mikroplastik untersucht haben, sehr hohe Mikroplastik-Konzentrationen. Solche Konzentrationen kommen heute im Boden praktisch nicht vor, und damit sind die Resultate nicht auf die Böden im Allgemeinem zu übertragen.

Mikroplastik kommt heute in allen Böden vor. In Industriegebieten können sehr hohe Konzentrationen erreicht werden, aber auch in der Landwirtschaft und entlang von Strassen kommt es zu erhöhten Einträgen. Da Mikroplastik sich nur sehr langsam abbaut, ist davon auszugehen, dass es sich im Boden anreichert. Mikroplastik kann die Bodeneigenschaften, Bodenlebewesen und Pflanzen beeinflussen. Allerdings treten solche Effekte meist erst bei sehr hohen Konzentrationen auf, die in normalen Böden heute nicht erreicht werden.

## Literatur


Bigalke, Moritz; Fieber, Milo; Foetisch, Alexandra; Reynes, Julien; Tollan, Peter (2021): Microplastics in agricultural drainage water: A link between terrestrial and aquatic microplastic pollution. In: Sci Total Environ, S. 150709. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150709.

Blasing, M.; Amelung, W. (2018): Plastics in soil. Analytical methods and possible sources. In: Sci Total Environ 612, S. 422–435. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.086.

Brandon, Jennifer; Goldstein, Miriam; Ohman, Mark D. (2016): Long-term aging and degradation of microplastic particles: Comparing in situ oceanic and experimental weathering patterns. In: Mar Pollut Bull 110 (1), S. 299–308. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.048.

Büks, Frederick; Kaupenjohann, Martin (2020): Global concentrations of microplastics in soils – a review. In: SOIL 6 (2), S. 649–662. DOI: 10.5194/soil-6-649-2020.

Colpaert, Romain; Petit Dit Grézériat, Lucas; Louzon, Maxime; Vaufleury, Annette de; Gimbert, Frédéric (2021): Polyethylene microplastic toxicity to the terrestrial snail Cantareus aspersus: size matters. In: Environmental science and pollution research international. DOI: 10.1007/s11356-021-15824-z.

Ding, Ling; Ouyang, Zhuozhi; Liu, Peng; Wang, Tiecheng; Jia, Hanzhong; Guo, Xuetao (2022): Photodegradation of microplastics mediated by different types of soil: The effect of soil components. In: Sci Total Environ 802, S. 149840. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149840.

Dris, R.; Gasperi, J.; Mirande, C.; Mandin, C.; Guerrouache, M.; Langlois, V.; Tassin, B. (2017): A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. In: Environ Pollut 221, S. 453–458.

Geyer, Roland; Jambeck, Jenna R.; Law, Kara Lavender (2017): Production, use, and fate of all plastics ever made. In: SCIENCE ADVANCES 3 (7), e1700782. DOI: 10.1126/sciadv.1700782.

Horton, Alice A.; Walton, Alexander; Spurgeon, David J.; Lahive, Elma; Svendsen, Claus (2017): Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. In: Sci Total Environ 586, S. 127–141. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.190.

Jiang, Xiaofeng; Chen, Hao; Liao, Yuanchen; Ye, Ziqi; Li, Mei; Klobučar, Göran (2019): Ecotoxicity and genotoxicity of polystyrene microplastics on higher plant Vicia faba. In: Environ Pollut 250, S. 831–838. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.04.055.

Kalberer, Andreas; Kawecki-Wenger, Delphine; Bucheli, Thomas D. (2019): Plastic waste flows in Swiss agriculture and their risk potential for soils. In: Agrarforschung Schweiz 10 (11–12), S. 416–423.

Kawecki, Delphine; Nowack, Bernd (2019): Polymer-Specific Modeling of the Environmental Emissions of Seven Commodity Plastics As Macro- and Microplastics. In: Environ Sci Technol 53 (16), S. 9664–9676. DOI: 10.1021/acs.est.9b02900.

Li, Lianzhen; Luo, Yongming; Li, Ruijie; Zhou, Qian; Peijnenburg, Willie J. G. M.; Yin, Na et al. (2020): Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. In: NATURE SUSTAINABILITY. DOI: 10.1038/s41893-020-0567-9.

Lwanga, E. H.; Gertsen, H.; Gooren, H.; Peters, P.; Salanki, T.; van der Ploeg, M. et al. (2016): Microplastics in the Terrestrial Ecosystem. Implications for Lumbricus terrestris (Oligochaeta, Lumbricidae). In: Environ Sci Technol 50 (5), S. 2685–2691.

Maass, S.; Daphi, D.; Lehmann, A.; Rillig, M. C. (2017): Transport of microplastics by two collembolan species. In: Environ Pollut 225, S. 456–459. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.03.009.

Machado, A.A.D.; Lau, C. W.; Till, J.; Kloas, W.; Lehmann, A.; Becker, R.; Rillig, M. C. (2018): Impacts of Microplastics on the Soil Biophysical Environment. In: Environmental Science and Technology in press.

Machado, Anderson Abel de Souza; Lau, Chung W.; Kloas, Werner; Bergmann, Joana; Bacheher, Julien B.; Faltin, Erik et al. (2019): Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. In: Environ Sci Technol 53 (10), S. 6044–6052. DOI: 10.1021/acs.est.9b01339.

Meng, Fanrong; Yang, Xiaomei; Riksen, Michel; Xu, Minggang; Geissen, Violette (2020): Response of common bean (Phaseolus vulgaris L.) growth to soil contaminated with microplastics. In: Sci Total Environ 755 (Pt 2), S. 142516. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142516.

Qi, Yueling; Yang, Xiaomei; Pelaez, Amalia Mejia; Huerta Lwanga, Esperanza; Beriot, Nicolas; Gertsen, Henny et al. (2018): Macro- and microplastics in soil-plant system: Effects of plastic mulch film residues on wheat (Triticum aestivum) growth. In: Sci Total Environ 645, S. 1048–1056. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.229.

Ren, Xinwei; Tang, Jingchun; Wang, Lan; Liu, Qinglong (2021): Microplastics in soil-plant system: effects of nano/microplastics on plant photosynthesis, rhizosphere microbes and soil properties in soil with different residues. In: Plant Soil. DOI: 10.1007/s11104-021-04869-1.

Rezaei, Mahrooz; Riksen, Michel J. P. M.; Sirjani, Elham; Sameni, Abdolmajid; Geissen, Violette (2019): Wind erosion as a driver for transport of light density microplastics. In: Sci Total Environ 669, S. 273–281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.382.

Rodriguez-Seijo, A.; Lourenco, J.; Rocha-Santos, T. A. P.; da Costa, J.; Duarte, A. C.; Vala, H.; Pereira, R. (2017): Histopathological and molecular effects of microplastics in Eisenia andrei Bouche. In: Environ Pollut 220, S. 495–503. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.09.092.

Sieber, Ramona; Kawecki, Delphine; Nowack, Bernd (2020): Dynamic probabilistic material flow analysis of rubber release from tires into the environment. In: Environ Pollut 258. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113573.

van Cauwenberghe, L.; Devriese, L.; Galgani, F.; Robbens, J.; Janssen, C. R. (2015): Microplastics in sediments. A review of techniques, occurrence and effects. In: Mar Environ Res Mar Environ Res 111, S. 5–17.

Wanner, Philipp (2021): Plastic in agricultural soils – A global risk for groundwater systems and drinking water supplies? – A review. In: Chemosphere 264 (Pt 1), S. 128453. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128453.

Zhang, D.; Liu, H. B.; Hu, W. L.; Qin, X. H.; Ma, X. W.; Yan, C. R.; Wang, H. Y. (2016): The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China. In: J Integr Agr 15 (11), S. 2639–2646. DOI: 10.1016/S2095-3119(15)61240-0.

Zubris, K. A. V.; Richards, B. K. (2005): Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. In: Environ Pollut 138 (2), S. 201–211.

**Moritz Bigalke**

Seit 2022 Professor für Bodenmineralogie und Bodenchemie am Institut für Angewandte Geowissenschaften an der TU Darmstadt

2013–2022 Dozent und Laborleiter am Geographischen Institut der Universität Bern

2010–2013 Postdoc am Geographischen Institut der Universität Bern

2006–2010 Doktorand an der Johannes Gutenberg Universität Mainz

2000–2006 Studium der Umweltwissenschaften an der Universität Duisburg-Essen

Kontakt: moritz.bigalke@giub.unibe.ch

Gott stelle ich mir überhaupt nicht vor, sondern begnüge mich damit, die Struktur der Welt zu bewundern, soweit sie sich unserem schwachen Erkenntnisvermögen überhaupt offenbart.

Quelle: Einstein sagt – Zitate, Einfälle, Gedanken,
Herausgegeben von Alice Calaprice; 1997 Piper Verlag München,
ISBN 978-3-492-25089-4, 4. Auflage Februar 2013.

# Klimakrise: Was Modelle vor 50 Jahren vorhergesagt haben, ist heute Realität

## Zusammenfassung des Vortrags von Thomas Stocker vom 08.03.2022

**Autorin**
**Kirsten Blohm**

Eines der grössten Probleme dieser Zeit ist die Klimakrise. Die Häufung von Extremwetterereignissen, der Meeresspiegelanstieg und die Zunahme von Todesfällen, welche auf den Klimawandel zurückzuführen sind, sind nur ein Teil der Folgen.

Um die massiven Veränderungen in Grenzen zu halten, hat sich die Weltgemeinschaft 2015 durch das Pariser Klimaabkommen darauf verständigt, den Temperaturanstieg auf 1,5 °C, maximal jedoch 2 °C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit zu begrenzen.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind wir global gesehen bei einer menschengemachten Erwärmung der Erdoberfläche von 1,07 °C. Die Schweiz ist jedoch überdurchschnittlich stark betroffen, so hat sich das Klima in den letzten 150 Jahren um etwa 2 °C erwärmt.

Die Entwicklung des Klimas hängt massgeblich von den globalen Treibhausgasemissionen ab. Dies war schon vor über 50 Jahren durch einfache Modelle bekannt, und Wissenschaftler warnten vor einem gefährlichen weiteren Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen, insbesondere von $CO_2$.

Heutzutage können, statt den damals vorwiegend global getroffenen Aussagen, die Auswirkungen des Klimawandels auch auf regionaler Ebene bestimmt werden.

Als Pioniere wurden 2021 Syukuro Manabe und Klaus Hasselmann neben Giorgio Parisi mit dem Nobelpreis in Physik für die physikalische Modellierung des Klimas der Erde, die Erfassung der Variabilität und der zuverlässigen Voraussage der globalen Erwärmung ausgezeichnet.

Bereits im Jahr 1978 machten erste Wissenschaftler wie Uli Siegenthaler und Hans Oeschger von der Universität Bern darauf aufmerksam, dass «… eine maximal zulässige $CO_2$-Konzentration gefunden werden kann, die nicht überschritten werden sollte, wenn der atmosphärische Strahlungshaus-

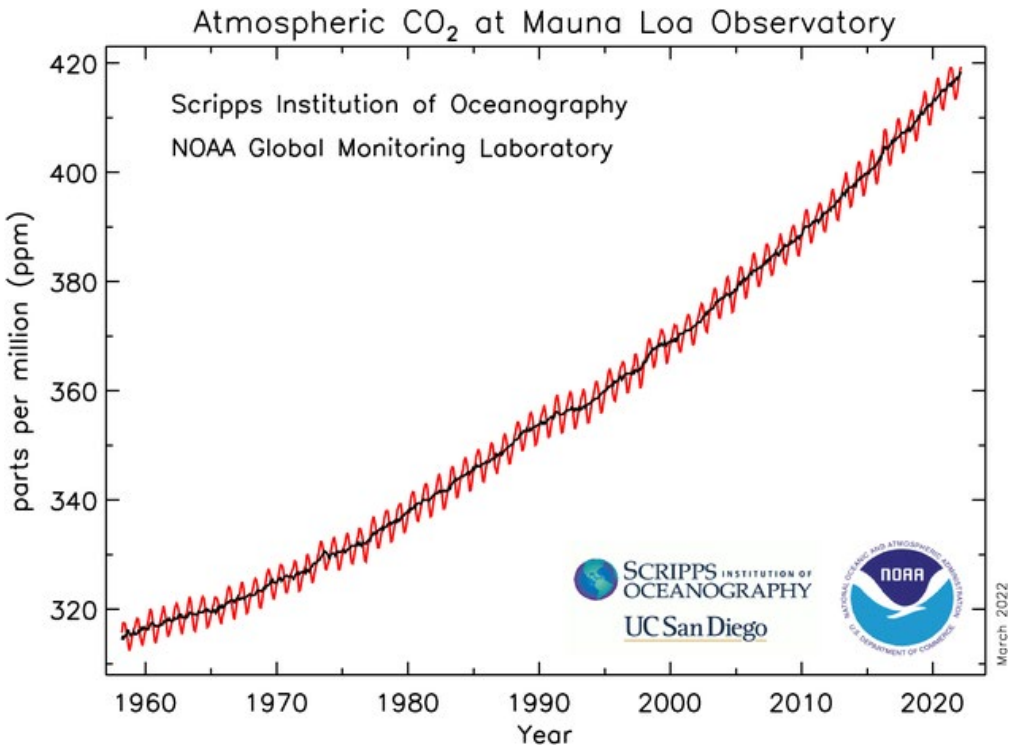



**Abb. 1: Mittlere monatliche Messungen der $CO_2$-Konzentration des Mauna Loa Observatory, Hawaii von 1958 bis Februar 2022, auch Keeling-Kurve genannt (NOAA, 2022).**

Charles David Keeling konnte durch präzise langjährige Messungen des Treibhausgases $CO_2$ in der Atmosphäre erstmals zeigen, dass die Verbrennung von fossilen Brennstoffen und die Landnutzungsänderung zu einem Anstieg der $CO_2$-Konzentration führen. Somit konnten bislang hypothetisch aufgestellte Aussagen durch Messdaten untermauert werden.

Das Besondere an der Keeling-Kurve (siehe *Abb. 1)* ist ihre klare Datenlage durch die kaum von lokalen Einflüssen betroffenen Messungen in der mittleren Troposphäre auf dem Vulkan Mauna Loa auf Hawaii. Dies sind die ersten kontinuierlichen Messungen der $CO_2$-Konzentration in der Atmosphäre. Um weiter in die Vergangenheit zu schauen, rekonstruiert man die $CO_2$-Konzentration durch in Eisbohrkernen eingeschlossener Luft (bislang bis zu 800 000 Jahre weit möglich), eine Spezialität der Abteilung für Klima- und Umweltphysik am Physikalischen Institut der Universität Bern.

In Abbildung 1 ist die kontinuierliche Messung der $CO_2$-Konzentration in ppm (parts per million – also einem Millionstel) seit dem Jahr 1958 abgebildet. Diese ist von 316 ppm im Jahr 1959 auf 416 ppm im Jahr 2021 gestiegen und nimmt jährlich mit steigender Rate zu. Für das Jahr 2021 ist die mittlere jährliche Wachstumsrate 2,4 ppm/Jahr (NOAA, 2022). Insgesamt ist die $CO_2$-Konzentration um 50 % höher als vor der Industrialisierung.

In der Abbildung ist zu sehen, dass die $CO_2$-Konzentration auch einer Jahresvariation unterliegt, welche durch die Aufnahme von $CO_2$ durch die Vegetation verursacht wird. Der grösste Teil der Landfläche befindet sich auf der Nordhemisphäre, wodurch die damit verbundene grössere Biomasse im Nordsommer als Senke der $CO_2$-Konzentration fungiert.

Alles in allem sieht man die beschleunigte Zunahme der $CO_2$-Konzentration, welche dem Treibhausgas die dominante Rolle in der Erderwärmung zuweist.

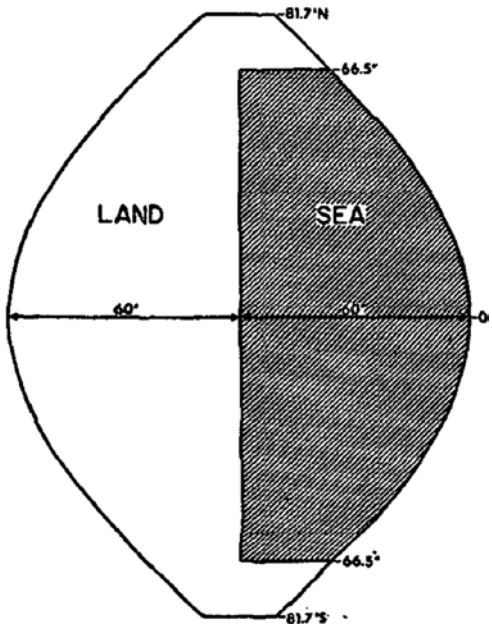



**Abb. 2: Erstes gekoppeltes Atmosphäre-Ozean-Modell (Manabe & Bryan, 1969).**

halt nicht in gefährlicher Weise gestört werden soll» (Siegenthaler und Oeschger, 1978). In der Wissenschaft bestand also schon zu diesem Zeitpunkt der Konsens, dass eine ansteigende $CO_2$-Konzentration zu einer wärmeren Erde führen wird.

> «Das Ziel der Konvention [...] ist die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre, sodass eine gefährliche Wirkung des Menschen auf das Klimasystem verhindert wird.»
>
> United Nations, 1992

Dies führte 1992 zum 2. Artikel des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaveränderungen. Des Weiteren sagten die Berner Forscher vorher, dass die $CO_2$-Konzentration bis zur Jahrtausendwende um 50 % ansteigen werde, was sich leider bewahrheitet hat.

## Nobelpreis für Physik 2021

Kommen wir nun zu einer genaueren Vorstellung der Nobelpreisträger in Physik des Jahres 2021 für grundlegende Beiträge zum Verständnis komplexer physikalischer Systeme. Giorgio Parisi erhielt eine Hälfte des Preises «für die Entdeckung des Zusammenspiels von Unordnung und Fluktuationen in physikalischen Systemen vom atomaren bis zum planetarischen Massstab» (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2021).

Die andere Hälfte ging an Syukuro Manabe und Klaus Hasselmann «für die physikalische Modellierung des Erdklimas, die Quantifizierung der Variabilität und die zuverlässige Vorhersage der globalen Erwärmung» (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2021).

Manabe und Hasselmann haben mit ihren Arbeiten die Grundsteine für das Verständnis des Klimas und den menschlichen Einfluss darauf gelegt.

## Syukuro Manabe

Manabe veröffentlichte 1967 ein Paper, in dem er die Auswirkungen von Änderungen der $CO_2$-Konzentration auf die Atmosphärentemperatur untersuchte. Er beschreibt darin, dass sich die untere Atmosphäre (Troposphäre, bis ca. 15 km) bei einer Verdoppelung der $CO_2$-Konzentration um 2 °C erwärmen wird. In der Stratosphäre (bis ca. 50 km) kommt es hingegen zu einer Abkühlung (Manabe und Wetherald, 1967).

2 Jahre später entwickelte er mit Kirk Bryan das erste gekoppelte Atmosphäre-Ozean-Modell, welches das Atmosphärenmodell von Manabe[1] mit dem Ozeanmodell von Bryan[2] verbindet. Mit diesem Modell werden sowohl die Ozean- und die atmosphärische Zirkulation als auch der Effekt des Ozeans auf den Niederschlag an Land über verschiedene Breitengrade simuliert (Manabe & Bryan, 1969).

1 Bis zur unteren Stratosphäre in 9 Schichten eingeteilt, Gitterpunkte ca. 500 km voneinander entfernt.
2 Ozean in 5 Schichten aufgeteilt, Packeis in Polarregionen wird vereinfacht modelliert, gleiche Auflösung wie beim Atmosphärenmodell von Manabe.

Andere Wissenschaftler lieferten ebenso entscheidende Beiträge zur Klimaforschung. Hans Oeschger und Willy Dansgaard haben 1984 mit Isotopenuntersuchungen von Seekarbonaten aus europäischen Seen und Eisbohrkernen aus Grönland genauere Datierungen der letzten Kaltzeiten dargelegt. Es konnte gezeigt werden, dass Messungen grönländischer Eisbohrkerne bedeutsam für Klimaereignisse auf globaler Ebene sind (Oeschger et al., 1984).
Broecker hat mit einer vereinfachten Grafik der Ozeanströmungen Aufsehen erregt und somit viele weiterführende Studien zur ozeanischen Wärmepumpe ausgelöst. Ausserdem hat er in einer wissenschaftlichen Publikation erstmals den Ausdruck «global warming», also «globale Erwärmung» erwähnt (Broecker, 1975 und 1991).

Im Jahr 1975 erweiterten sie ihr Modell mit einer realistischen Geometrie der Topographie. So wurden die Ränder der Kontinente, Berge und die Tiefen im Ozean modelliert. Der Ozean wurde deutlich langsamer berechnet als die Atmosphäre[3], wodurch sich aufgrund der damaligen Rechenleistung kein Gleichgewicht im Ozean einstellen konnte. Trotzdem stellte das Modell eine gute Simulation der meridionalen Wärmeflüsse und der grossräumigen Verteilung der Temperatur sowie der Salinität (Salzgehalt) im Ozean dar.

Im Jahr 1988 veröffentlichte Manabe eine Arbeit, in der er für das gekoppelte Zirkulationsmodell der Atmosphäre und des Ozeans unter identischen Rahmenbedingungen zwei Gleichgewichtszustände beschreibt.

Das eine Gleichgewicht besteht aus einer thermohalinen Zirkulation[4] mit hohem Salzgehalt und warmem Oberflächenwasser im Nordatlantik. Im anderen Gleichgewicht gibt es keine thermohaline Zirkulation und eine intensive Halokline[5] in hohen Breiten.

Im ersten Gleichgewicht werden warme Strömungen nach Norden und in der Tiefe

3 Im Verhältnis 1:320.
4 Umgangssprachlich: Globales Förderband im Ozean.
5 Übergangszone, in welcher sich Wasser mit unterschiedlichem Salzgehalt trifft, sich jedoch nicht vermischt.

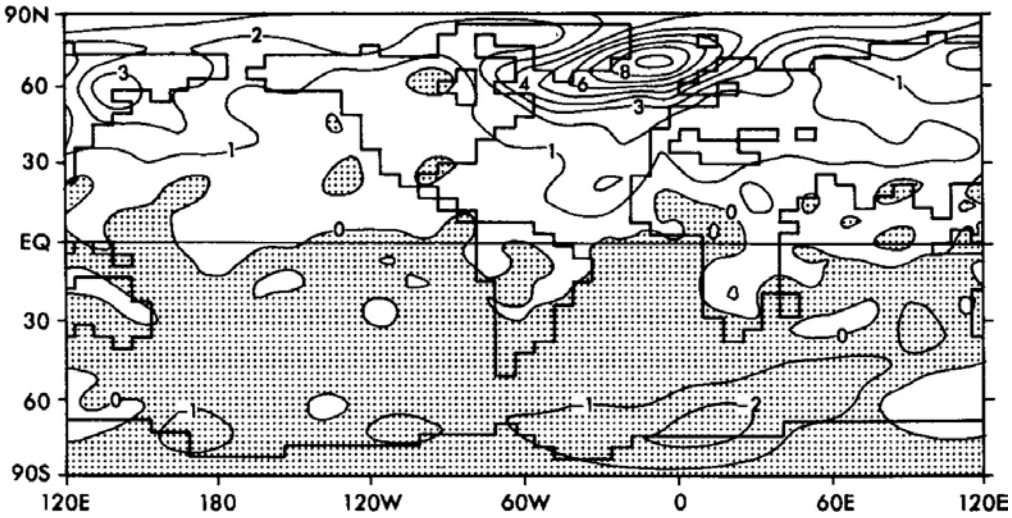



**Abb. 3: Wirkung der Wärmepumpe im Atlantischen Ozean: Erwärmung im Nordatlantik und Abkühlung auf der Südhemisphäre (Manabe & Stouffer, 1988).**

kalte Strömungen nach Süden transportiert, sodass durch den Wasser- und Wärmetransport eine Erwärmung von ca. 10 °C im Nordatlantik bewirkt wird. In der Südhemisphäre kommt es hingegen zu einer Abkühlung (siehe *Abb. 3).*

Die Modellierung der thermohalinen Zirkulation erklärt ebenfalls, wieso der Oberflächensalzgehalt des nördlichen Nordatlantiks höher ist als der des nördlichen Nordpazifiks (Manabe & Stouffer, 1988).

Darüber hinaus modellierte Manabe in seinem 1991 veröffentlichten Paper zum einen die Temperaturtrends für einen Anstieg der $CO_2$-Konzentration von 1 % pro Jahr und zum anderen die für eine sich nicht ändernde Konzentration über einen Zeitraum von 100 Jahren. Die Differenz zwischen diesen beiden Simulationen wird in *Abb. 4* dargestellt. Besonders gut sieht man sowohl die Erwärmung im Ozean und der Troposphäre als auch die Abkühlung in der Stratosphäre (Manabe et al., 1991).

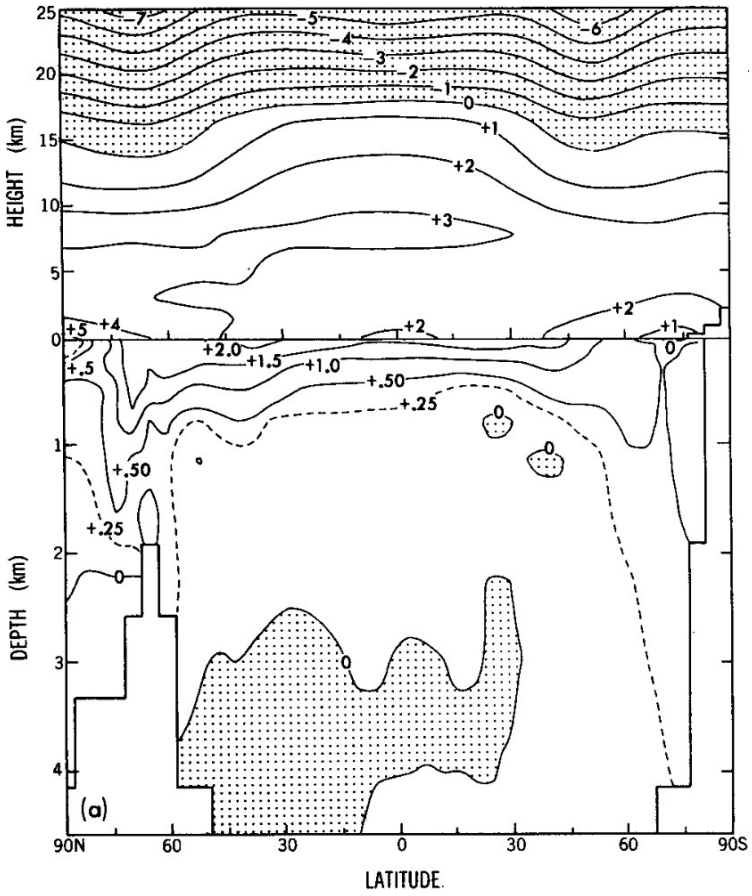



**Abb. 4: Verteilung der Temperaturdifferenz zwischen der Simulation mit einem Anstieg der $CO_2$-Konzentration von 1 % pro Jahr und einer konstanten $CO_2$-Konzentration für das Mittel der Jahre 60–80 in einer Integration über 100 Jahre. Darstellung für alle Höhen bzw. Tiefen zwischen einer Atmosphärenhöhe von 25 km und einer Ozeantiefe von 4,5 km sowie über alle Breitengrade (Manabe et al., 1991).**

Des Weiteren zeigt sich in einer von Stouffer, Manabe und Bryan 1989 veröffentlichten Studie (siehe *Abb. 5)* eine starke Erwärmung in der nördlichen Hemisphäre zwischen 45° und 90°N. Dies liegt daran, dass warme Temperaturen Schnee schmelzen lassen, wodurch die Oberfläche weniger reflektiert und mehr Wärme absorbiert. Ausserdem ist eine deutlich verzögerte Erwärmung in der Südhemisphäre zwischen 40° und 75°S sichtbar, da hier die Wärme vom Ozean aufgenommen wird (Stouffer et al., 1989).

Die vor 30 Jahren vorausgesagte asymmetrische Reaktion des Klimasystems auf den Anstieg der $CO_2$-Konzentration kann in der Verteilung heutiger Messdaten beobachtet werden (siehe *Abb. 6).*

Diese frühen Modelle von Forschern wie Syukuro Manabe prognostizieren die Temperaturentwicklung trotz ihrer vereinfachten Annahmen erstaunlich gut und zeigen, dass die frühen Warnungen berechtigt waren, beziehungsweise auch weiterhin sind.

## Klaus Hasselmann

Hasselmann hat die Klimasysteme im Gegensatz zu Manabe von einem theoretischen Blickpunkt betrachtet. Von dem Forschungsgebiet der stochastischen Wechselwirkungen von Ozeanwellen kommend, entwickelte er ein Klimamodell, welches durch Zufallsfluktuationen des Wetters die Klimavariabilität beschreibt. Sein Modell vereinfacht die komplexen Prozesse im Klimasystem, indem er mit einer Fokker-Planck-Gleichung die zeitlich langsame Entwicklung des Klimas als Integral über das Wetter darstellt. Die typischerweise für stochastische Prozesse wie der Brownschen Bewegung, Turbulenzen oder der Plasmaphysik verwendete Gleichung wurde von Hasselmann zum Verständnis der Klimaphysik genutzt, womit er fundamentale Phy-

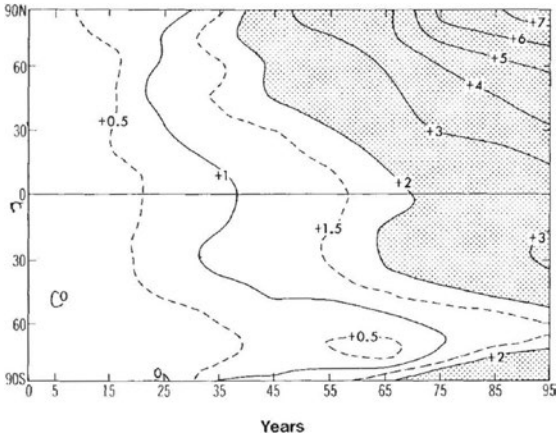



**Abb. 5: Breitengrad-Zeit-Diagramm über eine Integration von 100 Jahren für einen Anstieg der $CO_2$-Konzentration von 1 % pro Jahr (Stouffer et al., 1989).**

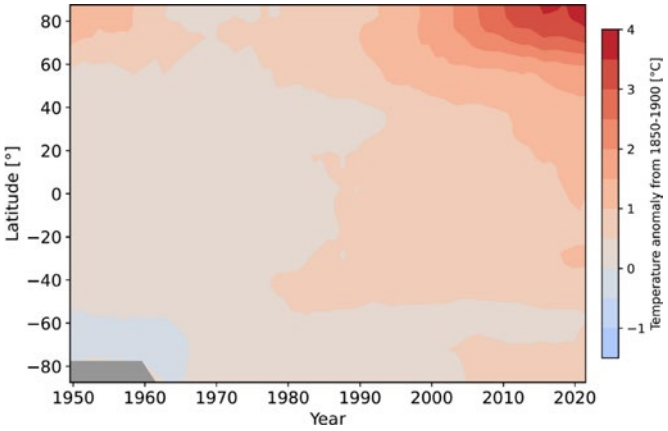



**Abb. 6: Beobachtete mittlere Temperaturveränderungen der Oberfläche seit 1950 in Relation zu den Jahren 1850–1900 als Funktion der Zeit und dem Breitengrad (Analyse von Christian Wirths, Universität Bern, 2021).**

sik mit der Klimawissenschaft verband (Hasselmann, 1976).

1987 stellte Klaus Hasselmann mit Ernst Maier-Reimer ein Modell des Kohlenstoffkreislaufs im Ozean vor. Der Kohlenstoffaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre findet hierbei in einer gut gemischten Oberflächenschicht statt. Das Modell reproduziert z. B. die weltweite Verteilung gemessener $^{14}C$-Daten (Oeschger et al., 1959 und Siegenthaler & Oeschger, 1978), hier in *Abb. 7* für den Westpazifik gezeigt. Das Besondere ist jedoch, dass das Modell in erster Ordnung die Speicherkapazität des Ozeans für anthropogene $CO_2$-Emissionen berechnet und somit mit einfachen Box-Modellen verglichen und überprüft werden kann. Dadurch bot dieses dynamische Modell die Möglichkeit, es in zukünftige Studien und weiterreichende Simulationen einfliessen zu lassen (Maier-Reimer & Hasselmann, 1987).

Ein weiterer entscheidender Beitrag Hasselmanns Arbeit für die Klimawissenschaft ist die Zuordnung der beobachteten Klimaveränderungen zu ihren spezifischen Ursachen. Natürliche Phänomene sowie menschengemachte Veränderungen hinterlassen Fingerabdrücke, welche man mit einer Musteranalyse genau zurückverfolgen kann. So können Variablen wie Temperatur oder Niederschlag, also das wechselhafte Wetter in seiner statistischen Verteilung, mit den Signalen der Sonneneinstrahlung, des Aerosol-Antriebs oder dem menschengemachten Anstieg der Treibhausgase identifiziert werden.

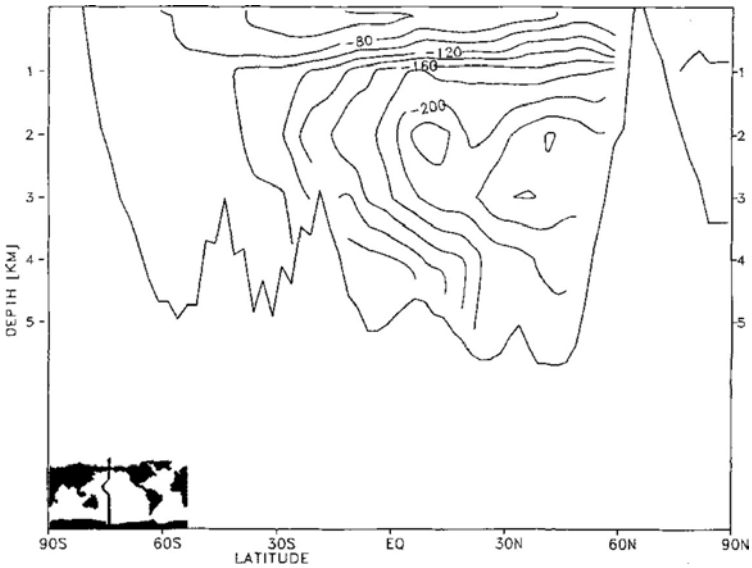



**Abb. 7: Modellierung der $^{14}C$-Verteilung für den Westpazifik mit dem effizienten «Hamburg Ozeanmodell» (Maier-Reimer & Hasselmann, 1987).**

Durch die unter anderem von Hasselmann entwickelten Methoden konnte bewiesen werden, dass die steigende Oberflächentemperatur auf den anthropogenen Ausstoss von Treibhausgasen, insbesondere $CO_2$, zurückzuführen ist (Hegerl et al., 1997).

Heutzutage ist die Forschung so weit, dass für einzelne Extremwetterereignisse der menschliche Einfluss durch den Ausstoss von Treibhausgasen quantitativ bestimmt werden kann. Diese Attributionsforschung weist nach, dass der Einfluss der vom Menschen verursachten Aktivitäten, also der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Abholzung der Wälder, auf Hitzewellen, Stürme, Fluten und Dürren in den letzten Jahren zugenommen hat und sich weiterhin verstärken wird.

Durch diese Analysen kann politische Verantwortung aufgezeigt und Unternehmen zur Reduzierung ihrer Emissionen gerichtlich verklagt werden (z. B. Tagesschau, 2021).

Urteile, welche Unternehmen und Regierungen rechtlich zur Einhaltung des Pariser Klimaabkommen verantworten, sind ein wichtiger Schritt, die Ambitionen massiv zu verstärken, um das Wohlergehen künftiger Generationen zu sichern (Otto, 2017).

## Aktueller Stand und Gefahren für unsere Zukunft

Der Weltklimarat (IPCC) beurteilt die Veränderungen im Klima seit 1988 und stellt als zwischenstaatliche Organisation mit seinen Berichten politischen Entscheidungsträgern den wissenschaftlichen Forschungsstand zur Verfügung, um faktenbasierte Entscheidungen treffen zu können.

Die regelmässigen Sachstandsberichte fassen die aktuelle Forschung zusammen. In drei Arbeitsgruppen werden dabei verschiedene Aspekte der Klimaforschung beurteilt.

Seit dem ersten Bericht aus dem Jahr 1990 wurden die Kernaussagen der Berichte mit zunehmendem Erkenntnisgewinn immer deutlicher und alarmierender. Von «Die Abwägung der Evidenz legt eine erkennbare menschliche Wirkung auf das Klima nahe» (1995) über «Es gibt neue und stärkere Evidenz, dass die Erwärmung der letzten 50 Jahre den menschlichen Aktivitäten zugeordnet werden kann» (2001), «Der menschliche Einfluss auf das Klimasystem ist klar» (2013) zu «Es ist eindeutig, dass der menschliche Einfluss die Atmosphäre, den Ozean und das Land erwärmt hat» (2021) werden die Aussagen zunehmend klarer und eindringlicher.

Im aktuellen Bericht über den physikalischen Wissensstand des Klimasystems und dessen Wandel werden fünf Zukunftsszenarien vorgestellt, wie sich Treibhausgasemissionen entwickeln können und welche verschiedenen Auswirkungen dies auf die globale Erwärmung im Allgemeinen und verschiedene Regionen im Speziellen haben wird.

Die Erwärmung der Oberflächentemperatur kann dabei je nach Emissionen gegen 2100 zwischen 1,4 °C bis 4,4 °C im Vergleich zu den Jahren 1850–1900 liegen (IPCC, 2021).

Mit diesen Szenarien werden im Bericht der Arbeitsgruppe II die Auswirkungen des Klimawandels, im Besonderen auf Ökosysteme, Biodiversität und sozioökonomische Systeme sowie die Anpassungen an diese Veränderungen vorgestellt (IPCC, 2022).

In *Abb. 8* sind die Ergebnisse dargestellt. Die grau gestrichelte Linie zeigt die schon heute erreichte Erwärmung von 1,1 °C an. Auf den ersten Blick ist sofort klar, dass auch bei 2 °C bzw. bestenfalls 1,5 °C maximaler globaler Temperaturzunahme die Auswirkungen und Risiken hoch sind. Dabei machen sich einige Auswirkungen schon mit der heutigen Erwärmung stark bemerkbar. Bei bis zu 5 °C werden die Folgen der Erhitzung in jedem einzelnen der betrachteten Bereiche gravierend sein.

Betrachten wir die im Pariser Klimaabkommen gewählte Grenze der Klimaerwärmung von 2 °C, dann tragen vor allem einzigartige und bedrohte Systeme ein sehr hohes Risiko, und Extremwetterereignisse werden stärker und häufiger werden (siehe *Abb. 8 b).* Bei terrestrischen und Frischwasser-Ökosystemen sind vor allem die Biodiversität und die Strukturveränderungen betroffen. Im Ozean findet jetzt schon ein massives Sterben der Warmwasser-Korallen

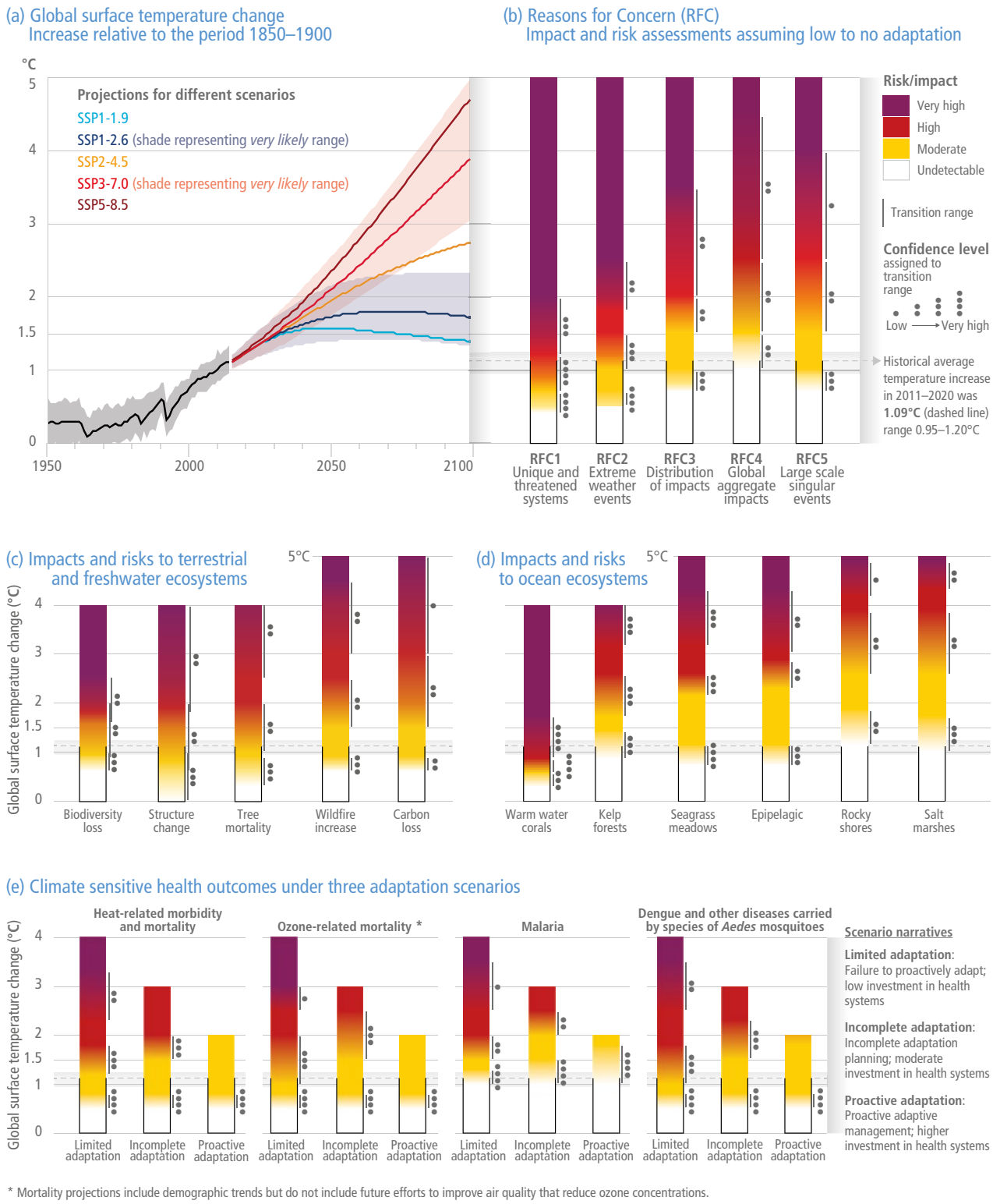



**Abb. 8: Globale und regionale Risiken für den zunehmenden Klimawandel (IPCC, 2022)**

statt. Allerdings hat der Klimawandel nicht nur Auswirkungen auf Flora und Fauna, sondern auch auf den Menschen. Je nachdem, wie gut wir uns an die sich verändernden Bedingungen anpassen können, wird die Mortalität aufgrund des Klimawandels zunehmen. Gründe hierfür sind vor allem Hitze bedingte Tote, eine höhere Sterblichkeit aufgrund von Ozon und eine grössere Verbreitung von Krankheiten wie Malaria oder dem Dengue Fieber, welche von Mücken übertragen werden.

Jeder Teil auf der Erde hat wiederum mit regionalen Risiken zu tun. In Europa besteht auf der einen Seite ein grosses Risiko für die Menschen und die Wirtschaft aufgrund von Überschwemmungen sowie des Meeresspiegelanstiegs, und andererseits Wasserknappheit für verschiedenste Sektoren wie der Landwirtschaft und für die Bevölkerung, sowie einer zunehmenden Mortalität aufgrund von steigenden Temperaturen und extremen Hitzeperioden (IPCC 2022, Vicedo-Cabrera et al., 2021)

Besonders in der Schweiz sind die Entwicklungen stärker als im globalen Mittel. Mit einer aktuellen Erwärmung von 2 °C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit ist die Erwärmung etwa doppelt so gross wie die global gemittelten 1,1 °C. Auch wenn sich unter dieser abstrakten Angabe nur schwer etwas vorstellen lässt, kann jeder heute schon die zunehmende Anzahl der «guten» Sommertage und die abnehmende Anzahl der Frost- und Schneetage, sowie die damit verbundene frühere Entwicklung der Vegetation im Frühjahr anhand von Blüten oder den sich zurückziehenden Schneedecken beobachten. Dies wird in Zukunft zunehmen und unter anderem zu sehr trockenen Sommern mit kurzen, aber heftigeren Niederschlägen führen (Meteoschweiz, 2022).

Diese schon heute für Jedermann beobachtbaren Zeichen des Klimawandels sind ein trauriges Zeugnis für die bisher gescheiterte Handlungsbereitschaft der Weltgemeinschaft, im Besonderen der Industriestaaten mit ihrer historisch betrachtet grösseren Verantwortung durch den Ausstoss von Treibhausgasen. Seit Jahrzehnten warnt die Wissenschaft vor den Folgen der Klimakrise und es wird Zeit, dass die von der Politik gemachten Versprechungen im Pariser Klimaabkommen endlich eingehalten werden und Schlimmeres verhindert wird. Es ist aber ebenso klar, dass in Demokratien jede Bürgerin und jeder Bürger in der Verantwortung steht, dass eine griffige Klimapolitik formuliert und umgesetzt wird.

## Literatur


Broecker, W. S. (1975). Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? Science, 189(4201), 460–463. https://doi.org/10.1126/science.189.4201.460

Broecker, W. (1991). The Great Ocean Conveyor. Oceanography, 4(2), 79–89. https://doi.org/10.5670/oceanog.1991.07

Hasselmann, K. (1976). Stochastic climate models Part I. Theory. Tellus, 28(6), 473–485. https://doi.org/10.3402/tellusa.v28i6.11316

Hegerl, G. C., Hasselmann, K., Cubasch, U., Mitchell, J. F. B., Roeckner, E., Voss, R. & Waszkewitz, J. (1997). Multi-fingerprint detection and attribution analysis of greenhouse gas, greenhouse gas-plus-aerosol and solar forced climate change. Climate Dynamics, 13(9), 613–634. https://doi.org/10.1007/s003820050186

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

MeteoSchweiz. (2022, 14. Januar). Klimawandel Schweiz. https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html

Maier-Reimer, E. & Hasselmann, K. (1987). Transport and storage of CO2 in the ocean – an inorganic ocean-circulation carbon cycle model. Climate Dynamics, 2(2), 63–90. https://doi.org/10.1007/bf01054491

Manabe, S. & Bryan, K. (1969). Climate Calculations with a Combined Ocean-Atmosphere Model. Journal of the Atmospheric Sciences, 26(4), 786–789.

Manabe, S. & Stouffer, R. J. (1988). Two Stable Equilibria of a Coupled Ocean-Atmosphere Model. Journal of Climate, 1(9), 841–866.

Manabe, S., Stouffer, R. J., Spelman, M. J. & Bryan, K. (1991). Transient Responses of a Coupled Ocean – Atmosphere Model to Gradual Changes of Atmospheric $CO_2$. Part I. Annual Mean Response. Journal of Climate, 4(8), 785–818.

Manabe, S. & Wetherald, R. T. (1967). Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity. Journal of the Atmospheric Sciences, 24(3), 241–259.

NOAA. (2022). Global Monitoring Laboratory – Carbon Cycle Greenhouse Gases. Noaa.Gov. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html

Oeschger, H., Beer, J., Siegenthaler, U., Stauffer, B., Dansgaard, W. & Langway, C. (1984). Late glacial climate history from ice cores. Climate Processes and Climate Sensitivity, 299–306. https://doi.org/10.1029/gm029p0299

Oeschger, H., H.E. Suess, und N.W. Rakestraw (1959). Apparent age of deep water in the Pacific Ocean. Proc. Intl. Oceanogr. Congress, pp. 444.

Otto, F. E. (2017). Attribution of Weather and Climate Events. Annual Review of Environment and Resources, 42(1), 627–646. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060847

Siegenthaler, U. & Oeschger, H. (1978). Predicting Future Atmospheric Carbon Dioxide Levels. Science, 199(4327), 388–395. https://doi.org/10.1126/science.199.4327.388

Stouffer, R. J., Manabe, S. & Bryan, K. (1989). Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase of atmospheric $CO_2$. Nature, 342(6250), 660–662. https://doi.org/10.1038/342660a0

Tagesschau. (2021, 27. Mai). Klimaklage gegen Shell: Ein Urteil wie ein «Paukenschlag». https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/klimaschutz-shell-prozess-101.html

The Royal Swedish Academy of Sciences. (2021, 5. Oktober). Nobel Prizes 2021. NobelPrize.Org. https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/press-release/

United Nations. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change.

Vicedo-Cabrera, A.M., et al., The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change, Nature Clim. Change, 11, 492-+, 2021.

## Zum Vortragenden

Thomas Stocker hat an der ETH Zürich Umweltphysik studiert und 1987 doktoriert. Nach Forschungsaufenthalten in London, Montreal und New York wurde er 1993 Leiter der Abteilung für Klima- und Umweltphysik am Physikalischen Institut der Universität Bern. Von 2008 bis 2015 war Thomas Stocker Co-Vorsitzender der Arbeitsgruppe I des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Der Bericht, der unter seinem Vorsitz im September 2013 von allen Ländern verabschiedet wurde, bildet die wissenschaftliche Grundlage für das Klimaabkommen von Paris. Thomas Stocker hat für seine Arbeiten den Dr. Honoris Causa der Universität Versailles und der ETH Zürich, sowie die Hans Oeschger Medaille der European Geosciences Union erhalten. Er ist Mitglied der Deutschen Akademie Leopoldina, der American Association of Arts and Sciences und der Italienischen Accademia dei Lincei. 2017 wurde ihm der Schweizer Wissenschaftspreis Marcel Benoist verliehen.
Kontakt: thomas.stocker@climate.unibe.ch

**Kirsten Blohm**

schloss ihr Bachelorstudium der Physik im Frühjahr 2022 an der Universität Heidelberg ab. Während des Studiums wurde immer klarer, dass die Umwelt- und Klimaphysik der Schwerpunkt für die weitere Laufbahn sein soll. Nach der Bachelorarbeit über $CO_2$- und $CH_4$-Konzentrationen einer deutschen Messstation wollte sie vor dem weiteren Masterstudium praktische Erfahrungen sammeln und für einige Zeit in Forschungsgruppen der Klima- und Umweltphysik mitarbeiten. Da die Universität Bern in diesem Bereich viele Möglichkeiten bietet, nutzte sie die Chance, einige Zeit in Bern zu verbringen.

Kontakt: kirsten.blohm@stud.uni-heidelberg.de oder kirsten.blohm@gmx.de

# Radiokohlenstoff-datierungen in Archäologie und Klimaforschung – ein Laborbesuch

Am 30. Oktober 2021 bot sich, im Rahmen der Veranstaltungsreihe «Zeitreisen», einer Gruppe von NGB-Mitgliedern die Möglichkeit, nach einem Kurzvortrag das Labor zur Analyse von Radiokohlenstoff mit AMS[1] (LARA) von Prof. Dr. Sönke Szidat zu besuchen, das zum Departement für Chemie, Biochemie und Pharmazie (DCBP), aber auch zum Oeschger-Zentrum für Klimaforschung (OCCR) gehört. Die stellvertretende Kantonsarchäologin Dr. des. Regine Stapfer vom Archäologischen Dienst des Kantons Bern präsentierte einige Funde vom Schnidejoch in der Wildhornregion und erläuterte anhand dieser Gletscherfunde Anwendungen der $^{14}C$-Datierung in der Archäologie.

**Autor**

**Matthias Giger**

Eine ausführliche Abhandlung über die Radiokarbonmethode und deren Anwendungen in der Archäologie findet sich in den NGB-Mitteilungen von 2018 (Szidat und Stapfer; 2018). Einige wichtige Grundlagen, die im Rahmen des Laborbesuches eine Rolle spielten, werden nachfolgend kurz rekapituliert.

Die Quelle des Radiokohlenstoffs befindet sich in der Stratosphäre. Durch hochenergetische Teilchen der kosmischen Strahlung, werden in der oberen Atmosphäre Atomkerne «zerschmettert» (Spallation). Durch Spallation von Atomkernen können freie, thermische[2] Neutronen entstehen. Nimmt das in der Erdatmosphäre häufigste Isotop, das Stickstoffisotop $^{14}N$, ein Neutron auf, wird es in ein $^{14}C$ umgewandelt und aktiviert. Das $^{14}C$ wird oxidiert zu $^{14}CO_2$ und so Teil des Kohlendioxidkreislaufs. $^{14}CO_2$ sinkt schliesslich in die Troposphäre («Wetterschicht» der Atmosphäre) hinunter, wo es in Biomasse oder Carbonate eingebaut wird.

Die klassische Datierungs-Methode detektiert die Beta-Aktivität des in organischen und anorganischen Materialien eingebauten $^{14}C$, dies in gut abgeschirmten Zählrohren. Da $^{14}C$ eine Halbwertszeit von 5730 ± 40 Jahren hat, nimmt die Beta-Aktivität im Laufe der Zeit ab[3]. Es wird also zu einem bestimmten Zeitpunkt die Restaktivität des, in das organische Material oder Car-

1 AMS heisst accelerator mass spectrometry; auf Deutsch: Beschleuniger-Massenspektrometer.
2 Thermische Neutronen sind «langsam», d.h. sie haben eine kleine kinetische Energie, die in etwa der Energie der Wärmebewegung am Entstehungsort entspricht.
3 Es lassen sich noch Objekte datieren, deren Alter etwa 10 Halbwertszeiten entspricht (50 000 bis 60 000 Jahre).

bonat, eingebauten $^{14}C$ gemessen. Der Nachteil dieser klassischen Methode ist, dass es relativ viel Probenmaterial (im Grammbereich) braucht, um eine aussagekräftige Datierung durchzuführen. Dies erhöht den Aufwand für die Probenaufbereitung und nicht in jedem Fall stehen genügend grosse Probenmengen zur Verfügung.

Die Begrenzungen der klassischen Methode können überwunden werden durch ein Beschleuniger-Massenspektrometer, englisch AMS. Dessen genauer Aufbau und die Funktion wird von Szidat und Stapfer (2018) ausführlich erklärt. Dieses Gerät kann einzelne Ionen einer bestimmten Masse (bzw. Masse zu Ladung) zählen und diese Methode ist rund 10 000-mal empfindlicher als die klassische Detektion mittels Beta-Strahlung des $^{14}C$. Somit sind auch die notwendigen Probenmengen viel kleiner, nämlich in der Grössenordnung eines Milligramms Kohlenstoff. Für bestimmte Anwendungen kann die Probenmenge sogar auf weniger als 10 Mikrogramm reduziert werden. Die technische Entwicklung der AMS erlaubt es heute, kleinere, kostengünstigere Systeme (Flächenbedarf etwa 7,5 $m^2$) mit geringeren Energien (0,2 MV) zu betreiben. AMS-Systeme der neuesten Generation sind zudem benutzerfreundlich und es braucht für den Betrieb nicht dauernd anwesende Spezialisten (Physiker, Elektroniker usw.). In der Schweiz gibt es zwei Labore, die Radiokohlenstoff mit AMS messen, nämlich in Bern und in Zürich (ETH). Weltweit haben etwa 100 Labore diese Fähigkeit.

## Radiokohlenstoffdatierung ist weltweit in etwa 100 Laboren möglich

Die Funktion des AMS kann man beschreiben als eine Reihe hintereinander geschaltete Filter, welche die Aufgabe haben, stören-

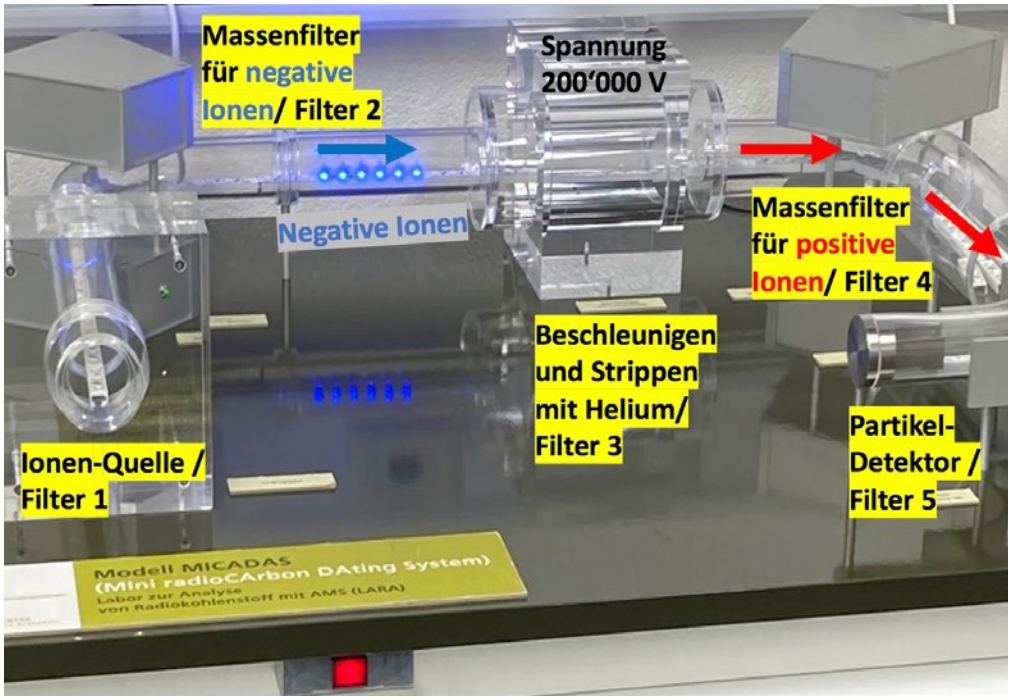



**Abb. 1: Das Modell des AMS zeigt den Weg der Ionen von der Quelle mit der Probe (links), die zugleich das erste Filter ist (selektive Ionisation). Danach folgt das Massenfilter für negative Ionen (blau dargestellt). Nach der Beschleunigung und dem Stripping-Prozess (dritter Filter) sind die Ionen positiv (rot dargestellt) und durchlaufen einen weiteren Massenfilter, um schliesslich detektiert zu werden.** Bild: Matthias Giger

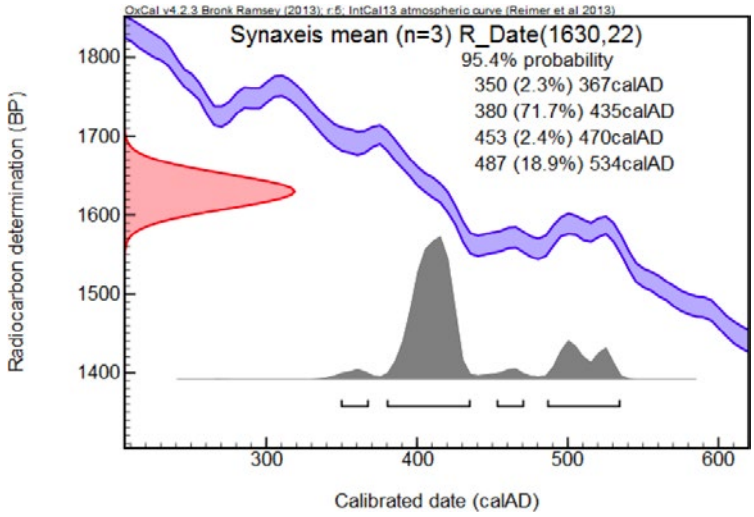



**Abb. 2: Die Abbildung zeigt $^{14}$C-Daten eines frühchristlichen Papyrus. Das konventionelle $^{14}$C-Alter (rot) liegt bei 1635 +/– 30 Jahren (1 sigma). Die violette Kalibrationskurve zeigt die zu erwartenden effektiven $^{14}$C-Werte zwischen rund 200 und 600 n. Chr. Der Abgleich des konventionellen $^{14}$C-Alters mit der violetten Kalibrationskurve zeigt, dass die Probe mit hoher Wahrscheinlichkeit von etwa 400 n. Chr. stammt, aber auch rund 100 Jahre jünger oder 50 Jahre älter sein könnte. Wenig wahrscheinlich ist dagegen ein Alter um 440 oder 470 n. Chr. (cal AD). Es gibt also hier Lücken zwischen den wahrscheinlicheren Altersbereichen.** Bild: Samuel N.C. Lieu et al. (Editors), Manichaeism East and West (Turnhout: Brepols, 2017), S. 28, Abb. 8.

de Ionen (Interferenzen) auszufiltern (siehe *Abb. 1).* Als wichtige, isobare[4] Interferenzen sind zu nennen $^{14}$N sowie die Molekül-Ionen $^{12}CH_2$ und $^{13}$CH. Eine weitere Interferenz gibt es zwischen $^{14}CO_2$ und dem Stickoxid $^{14}NO_2$. Im ersten Filter wird das Target (d.h. die aufbereitete Probe in der Kohlenstoff-Modifikation Graphit) mit Cäsium (Cs)-Ionen beschossen, wodurch negativ geladene Ionen entstehen. Allerdings kann der Stickstoff so nicht ionisiert werden, sodass die Bildung von $^{14}$N-Ionen durch diese Art Ionisation bereits vermieden wird. Nachdem die negativen Ionen das Magnetfeld eines ersten Sektor-Massenfilters durchlaufen haben, gelangen sie in den Beschleuniger. Dort werden sie mit 200 000 V (0,2 MV) beschleunigt und treffen auf Spuren des Stripping[5]-Gases (Helium). Kollisionen mit dem Heliumgas bewirken, das Molekül-Ionen zerbrechen und dabei von allen Protonen befreit werden, womit weitere wichtige isobare Interferenzen fast ganz unterdrückt werden können. Zudem verlieren beim Stripping die Kohlenstoff-Ionen Elektronen und verlassen nun als positiv geladene Ionen ($^{12}C^+$, $^{13}C^+$ und $^{14}C^+$) den Beschleuniger. Sie durchlaufen danach das Magnetfeld des zweiten Sektor-Massenfilters und werden schliesslich detektiert, das Nuklid $^{14}$C von einem besonderen Partikel-Detektor. 38 Proben können in rund drei Tagen gemessen werden, bei einer durchschnittlichen Messzeit pro Probe von 1 bis 1,5 Stunden.

## Probenaufbereitung entscheidet über die Qualität der Resultate

Der Schlüssel für eine gute Messung ist eine standardisierte Probenaufbereitung, was im Labor ebenfalls demonstriert werden konnte. In einem ersten Schritt müssen aus organischem Material, z.B. Holz, die stabilsten, kohlenstoffhaltigen Materialien isoliert werden. Das ist beim Holz die Cellulose, die von weniger stabilen Holzkomponenten wie Hemicellulose, Lignin oder dessen Abbauprodukten getrennt werden muss. Die weniger stabilen Holzkomponenten verändern sich («verwittern») über die Zeit, sodass deren $^{14}$C-Gehalt zu hoch sein kann oder sogar «moderne» Werte[6] anzeigt. Als ideales Ausgangsmaterial eignen sich auch Holzkohle, Kollagen (Struktur-Protein, z.B. aus Knochen und Knorpel), vorgereinigte Carbonate (Salze der Kohlensäure; enthalten in Korallen, Stalagmiten, Gehäusen von Schnecken oder Muscheln und sogar im Mörtel von Gebäuden) sowie Luftproben (z.B. Einschlüsse im Eis). Das chemisch stabile, organische Ausgangsmaterial wird in Sauerstoff bei hoher Temperatur zu Kohlendioxid $CO_2$ ver-

4 Isobar nennt man Nuklide von verschiedenen chemischen Elementen (unterschiedliche Kernladungszahl) mit gleicher Massenzahl (gleiche Nukleonenzahl).
5 Stripping ist ein Kollisionsprozess, der alle Bindungspartner eines Moleküls (z.B. Protonen) entfernt, sodass nur noch Atomrümpfe übrigbleiben.
6 Als «moderner» Wert gilt der $^{14}$C-Gehalt einer Vergleichsprobe (Standard) von 1950.

brannt. Dieses Kohlendioxid wird in Wasserstoffgas durch Reduktion in die Kohlenstoffmodifikation Graphit umgewandelt und auf Eisenpulver abgelagert (Graphittarget für das AMS). Auch eine Direktmessung als $CO_2$-Gas[7] ist möglich.

## Die Interpretation von $^{14}C$-Alter braucht Expertenwissen und viele Daten

Die Interpretation von $^{14}C$-Daten ist nicht ganz einfach, wie die *Abb. 2* zeigt. Die Zerfallskurve kann einerseits als stetige Kurve gerechnet werden und ergibt ein sogenanntes konventionelles $^{14}C$-Alter (basierend auf einer $^{14}C$-Halbwertszeit von 5730 ± 40 Jahren). Die Bildungsrate von $^{14}C$ in der Stratosphäre ist aber nicht konstant, sondern abhängig von der Sonnenaktivität, welche die kosmische Strahlung modifiziert und von der Stärke des Erdmagnetfeldes (dieses unterliegt längerfristigen Schwankungen). Durch den Vergleich von Dendrochronologie (Jahrringzählungen von Hölzern) und Radiokarbondaten erhielt man eine Kalibrationskurve basierend auf den effektiven $^{14}C$-Gehalten zu verschiedenen Zeiten. Diese Kalibrationskurve zeigt zwar auch einen Trend zur generellen Abnahme von $^{14}C$ mit der Zeit, zeigt aber verschiedene «wiggles» («Wackeln»; auf und ab) und ist somit keine stetige Kurve. Somit ist der gleiche $^{14}C$-Gehalt zu verschiedenen Zeiten möglich (siehe *Abb. 2).*

Sowohl konventionelle $^{14}C$-Alter (berechnet aufgrund der Halbwertszeit von $^{14}C$) als auch mit Dendrochronologie kalibrierte $^{14}C$-Alter sind mit einer analytischen Unsicherheit behaftet. Wiederholte Messungen einer Probe können in einem Histogramm dargestellt werden. Bei einer genügend grossen Anzahl von Wiederholungen einer Messung (z. B. 60) ergibt sich eine Gauss-Kurve. Die Gauss-Kurve für das konventionelle Alter ist in der *Abb. 2* rot dargestellt. Aufgrund der analytischen Unsicherheit kann die 1-sigma- oder 2-sigma-Standardabweichung[8] auch für das Alter angegeben werden, so kommt man zur Aussage «+/– Jahre». Auch die kalibrierten Daten sind mit einer analytischen Unsicherheit behaftet, wodurch in der *Abb. 2* keine Linie, sondern ein violettes Band resultiert. Wird der gemessene $^{14}C$-Wert (konventionelles Alter) mit dem kalibrierten Alter (violettes Band) verglichen, kann man die Wahrscheinlichkeiten für eine Übereinstimmung (Überlappung) ableiten. Diese Wahrscheinlichkeiten werden in der *Abb. 2* als graue Flächen oberhalb der X-Achse dargestellt. Nicht immer lassen sich aufgrund von $^{14}C$-Daten (Laborresultat) allein schon klare Aussagen machen, womit bei der Interpretation auch archäologisches oder z. B. sedimentologisches Expertenwissen, beispielsweise zur relativen Einordnung der Funde, gefragt ist (siehe weiter unten).

## Viele Anwendungen der $^{14}C$-Methode

Die Datierung von prähistorischen Fundgegenständen ist nicht die einzige Anwendung der $^{14}C$-Methode. Auch limnologische Untersuchungen können durch die Datierung von Seesedimenten unterstützt werden, so konnten für Sedimentbohrkerne aus dem Moossee (Gemeinde Moosseedorf) maximale Ablagerungsalter von 3800 bis 7000 Jahren ermittelt werden. Die Methode lässt sich auch auf organischen Feinstaub in Eisbohrkernen anwenden, wodurch z. B. kalte und alte Alpengletscher, so am Colle Gnifetti auf 4455 m (Monte Rosa), datiert werden konnten. Das älteste Eis ist dort in 80 m Tiefe wohl über 15 000 Jahre alt, das älteste Alter von ungestört lagernden Eisproben[9] liegt dort bei rund 7600 bis 8700 Jahren. Auch Hölzer aus alten Gletscher-Moränen wurden datiert, womit frühere Gletschervorstösse erfasst werden können. So konnten viele Beiträge zur nacheiszeitlichen Klimageschichte geliefert werden.

7 Carbonate werden in Säure aufgelöst wodurch $CO_2$ entsteht (Messung als Gas nicht als Feststoff).
8 Bei einer Gauss-Kurve liegen 68,3 % der Realisierungen im Bereich +/– 1 sigma (Standardabweichung). In den Bereich +/– 2 sigma fallen sogar 95,4 % aller Realisierungen.
9 In den tiefsten Teilen von Eisbohrkernen ist das Eis oft durch den Druck deformiert, die Lagerung gestört.

**Abb. 3: Situation im Wildhorngebiet und am Schnidejoch (Passübergang links der Bildmitte). Die NE Flanke des Wildhorns (3250 m; rechts der Bildmitte) ist immer noch vergletschert. Archäologische Gegenstände wurden am Rande der zwei grösseren Eisflecken unterhalb der Schnidejochs gefunden (auffallend ist vor allem der grössere, dreieckige Eisfleck links unterhalb der Bildmitte). Panorama vom ADB (Archäologischer Dienst des Kantons Bern).**

Eine weitere interessante Anwendung ist die Quellenzuordnung von Feinstaub und $CO_2$. Fossile Brennstoffe enthalten kein messbares $^{14}C$, erneuerbare Brennstoffe (z. B. Holz für Holzheizungen) liefern Verbrennungsprodukte mit höheren, modernen $^{14}C$-Werten. Interessant ist auch der Vergleich von Messstationen. So sind die fossilen Beiträge auf dem Schauinsland (Schwarzwald) etwas höher als jene auf dem Jungfraujoch. Auch Methanquellen lassen sich so unterscheiden: Methan als rezentes Sumpfgas hat deutlich höhere $^{14}C$-Gehalte als das (fossile) Erdgas aus geologischen Formationen.

Radiokarbon wird auch im Rahmen der Überwachung der Emissionen von künstlichen $^{14}C$-Quellen (KKW u. a.) gemessen. Zuständig ist dafür das BAG (Bundesamt für Gesundheit).

## Neue Erkenntnisse zu archäologischen Funden vom Schnidejoch

Frau Stapfer vom Archäologischen Dienst des Kantons Bern erklärt, dass bei der Deutung von Funden auch relative Alterskriterien zu berücksichtigen sind, also die Stratigraphie (Schichtabfolge; bei ungestörter Lagerung sind ältere Gegenstände unten, jüngere oben), die Fundvergesellschaftung (welche Art von Gegenständen kommen zusammen in der gleichen Schicht vor) sowie die Typologie (Zuordnung von Gegenständen zu bekannten Kulturepochen).

Für die absolute Datierung eignet sich die Dendrochronologie, also die Vermessung der Breite der Jahrringe von Bäumen und Korrelation der Jahrringmuster mit datierten Vergleichskurven (vgl. Bolliger, 2018, NGB Mitteilungen). Die Dendrochronologie wurde zur Datierung der prähistorischen Seesiedlungsreste («Pfahlbauten») der Fundstelle Biel, Campus angewandt. Doch die ausgegrabene Schichtabfolge zeigte neben den anhand von Pfählen dendrochronologisch datierbaren Siedlungsphasen aus dem Neolithikum um 3800 v. Chr. sowie um 2700 v. Chr. weitere Spuren menschlicher Aktivität: Dank der $^{14}C$-Methode konnte nachgewiesen werden, dass die umfangreiche Schichtablagerung zwischen 10 400 und 1700 v. Chr. entstand, also vom Spätpaläolithikum bis in die Bronzezeit.

Auch wenn die Dendrochronologie unschlagbar gute Datierungen für die zwei Siedlungphasen der Jungsteinzeit liefert, zeigt die umfangreiche Schichtabfolge dieses Siedlungsplatzes auch deren Nachteile auf: Für die Jahrringdatierung geeignete Hölzer stammen nur aus den Zeitabschnit-

ten mit Bauten (Häuser/Stege) und fehlen in den Epochen davor, dazwischen und danach. Dendrochronologisch können also nur einzelne Schichten datiert werden. Die $^{14}$C-Datierungen bilden somit eine wichtige Ergänzung zur Rekonstruktion der Geschichte der Fundstelle in Biel.

In den vergangenen Hitzesommern sind Firn- und Gletscherfelder derart stark zurückgegangen, dass ab 2003 am Schnidejoch (2756 m) im Wildhorngebiet immer wieder unterschiedlich alte Fundgegenstände aus dem Eis freigeschmolzen wurden. Auch am Lötschenpass (2684 m) wurden alte Gegenstände geborgen. Mittlerweile bildet die «Eisarchäologie» eine wichtige Quelle zur Erforschung der Vergangenheit in den Alpen. Doch das Zeitfenster für Untersuchungen ist auch in sehr warmen Sommern kurz, geeignet ist vor allem der Monat September, wenn der meiste Schnee geschmolzen und noch kein neuer gefallen ist. Insgesamt konnten von 2003 bis heute rund 900 Objekte bzw. Fragmente aus rund 6500 Jahren Menschheitsgeschichte aus den beiden Fundstellen sichergestellt werden!

Die ersten Funde am Schnidejoch wurden im Hitzesommer 2003 gemacht, weitere Funde folgten bereits in den darauffolgenden Jahren 2004 und 2005 *(Abb. 4)*. Einige Funde stammen aus dem Neolithikum, so ein Bogenfutteral aus Birkenrinde, ein Pfeilbogen und mehrere vollständige Pfeile. In der Presse wurde das Bogenfutteral und einige Pfeile als Jagdausrüstung einem Menschen namens «Schnidi» (Name analog zum «Ötzi») zugeordnet. Da es sich um Einzel-

**Abb. 4: «Eisarchäologie» – Fundsituation im Gelände. Am Rande eines auftauenden Eisfelds wurde im Jahre 2005 ein neolithisches Bogenfutteral (rechts unten) gefunden. Die Fundstelle wird hier dokumentiert.** Bild: ADB (Archäologischer Dienst des Kantons Bern).

**Abb. 5: Fragmente von Holzpfeilen aus dem Neolithikum (Jungsteinzeit). Das Objekt a (links) ist erstaunlich alt und stammt aus der Mitte des 5. Jahrtausends v. Chr. Die Objekte b bis d (Mitte bis rechts) werden als Teil der Ausrüstung des hypothetischen «Schnidi» angesehen und stammen aus dem Endneolithikum, also aus dem 3. Jahrtausend v. Chr.** Bild: ADB (Archäologischer Dienst des Kantons Bern).

funde handelt und die Schichtabfolge somit nicht bekannt ist, konnten nur Radiokarbon-Datierungen mehr Klarheit über das Alter und die Zusammengehörigkeit der Funde schaffen.

Die ältesten Holz-Gegenstände stammen demnach aus dem 5. Jahrtausend vor Christus (kalibrierte $^{14}$C-Alter rund 4600 Jahre v. Chr.; siehe *Abb. 5),* was eine Sensation ist, da diese über 1000 Jahre älter sind als die Gletschermumie «Ötzi»[10] und deren Begleitfunde! Dass das Holz so lange und so gut konserviert wurde, ist nur der Jahrtausende langen Einbettung in Eis zu verdanken!

2019 wurde weiteres sehr altes Material gefunden, so ein Lindenbastgeflecht (möglicherweise eine Tasche). Das kalibrierte $^{14}$C-Alter beträgt 4342 bis 4251 Jahre v. Chr. Ein Vergleich des Alters der gefundenen Gegenstände weist darauf hin, dass zu gewissen Zeiten im Neolithikum die Klimagunst eine häufige Begehung des Übergangs am Schnidejoch ermöglichte. Permanente, neolithische Siedlungen aus diesen Zeiten sind aber nur im Wallis bekannt, z. B. beim Château de la Soie bei Savièse, auf dem Hügel Tourbillon (Sion) oder beim Heidnischbühl in Raron. Nördlich des Passübergangs wurden bisher noch keine permanenten Siedlungen aus dieser Zeit entdeckt.

Weitere Gegenstände stammen aus dem späten Neolithikum (Endneolithikum), so auch die Ausrüstung (Bogenfutteral und Pfeile) von «Schnidi» (kalibriertes $^{14}$C-Alter 2880 bis 2760 v. Chr.; Wahrscheinlichkeit 88 %). Siehe auch *Abb. 5.*

Weitere Funde am Schnidejoch stammen aus der Bronzezeit z. B. eine bronzene Scheibennadel, eine Spanschachtel, geflochtene Ringe von Zäunen oder die Reste eines Lederschuhs. Nach $^{14}$C-Datierungen ergeben sich für den Schuh kalibrierte Alter von 2028 bis 1614 v. Chr.; 1-sigma Abweichung). Siehe dazu auch *Abb. 6.*

Auch später wurde der Passübergang genutzt. Aus römischer Zeit stammen beispielsweise Schuhnägel der Caligae (Sandalen der römischen Soldaten), Münzen, so

10 Für den Ötzi wird ein Mittelwert der kalibrierten $^{14}$C-Daten von 3258 ± 89 Jahren v. Chr. angegeben.

von Marcus Antonius (32 oder 31 v. Chr.), sowie eine römische Scharnierfibel. Aus dem Mittelalter wurden Gegenstände gefunden, so Lederfragmente von Schuhsohlen. Ihr Alter liegt bei 1000 Jahren (vor heute). Später verhinderte die «Kleine Eiszeit» des Spätmittelalters und der Neuzeit (von ca. 1400 bis 1800 n. Chr.) eine leichte Begehung des Schnidejochs.

Fazit: Die zahlreichen Funde aus verschiedenen Epochen zeigen, dass der Übergang des Schnidejoch über lange Zeit in relativ warmen Phasen (Neolithikum, Frühbronzezeit, Römerzeit, Frühmittelalter) begangen wurde. Die dabei verlorenen oder zurück gelassenen Gegenstände bilden einen Teil der Geschichte des Passübergangs ab.

**Abb. 6: Fundsituation des frühbronzezeitlichen Lederschuhs am Eisrand. Es handelt sich um Leder mit Haarresten.**
Bild: ADB (Archäologischer Dienst des Kantons Bern).

## Literatur


Bolliger, M. Dendrochronologie. Geschichte und Anwendungsbereiche. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern 2018, 40–59.

Flyer Archäologie auf dem Schnidejoch. ADB (Archäologischer Dienst des Kantons Bern). 2019. Kann als *.pdf-File heruntergeladen werden von folgender Web-Seite: www.be.ch/archaeologie. Dort in Suchfunktion «Schnidejoch» eingeben.

Szidat S. und Stapfer R.: Radiokohlenstoffdatierungen heute. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern 2018, 20–39.


## Dank


Sönke Szidat und Regine Stapfer danken wir für die Laborführung, die Präsentation der Funde sowie für die fachliche Überprüfung des Manuskripts. Beatrice Giger sei gedankt für das sorgfältige Korrigieren der Orthographie.

**Matthias Giger**

Matthias Giger, Jahrgang 1954, promovierte in Isotopengeologie an der Universität Bern. Danach Tätigkeit als Gymnasiallehrer für Geographie sowie Chemie und später als wissenschaftlicher Mitarbeiter für Bevölkerungsschutz (Kanton Bern), wo auch Naturgefahren ein Thema waren. Von 2001 bis 2019 wirkte er als Fachlehrer für Chemie im ABC Zentrum Spiez.

Kontakt: aries1@bluemail.ch

# Was uns die Vergangenheit über die Wälder der Zukunft verrät

Der Klimawandel wird für die Schweizer Wälder zu einer grossen Herausforderung. Um herauszufinden, wie der Wald auf wärmere Temperaturen reagieren wird und welche Baumarten besonders für die Zukunft geeignet sind, lohnt sich ein Blick in die Vergangenheit. So kann der Einfluss vergangener Klimaänderungen auf die Vegetation durch Pollen und Pflanzenreste, welche in Seesedimenten konserviert bleiben, untersucht werden. Mit solchen paläoökologischen Zeitreihen kann zudem überprüft werden, ob dynamische Vegetationsmodelle realistische Ergebnisse liefern. Diese Modelle können anschliessend die Wälder der Zukunft unter verschiedenen Klimaszenarien simulieren.

**Autor**

**Christoph Schwörer, Erika Gobet, Willy Tinner**

## Einleitung

Der Klimawandel findet statt. An dieser Tatsache gibt es mittlerweile nicht nur in wissenschaftlichen Kreisen längst keinen Zweifel mehr, auch die Weltbevölkerung bekommt die Auswirkungen des Klimawandels immer stärker zu spüren. Temperaturmessungen etwa belegen eindrücklich, dass es in den letzten 150 Jahren stetig wärmer wurde, mit einer besonders starken Erwärmung seit Mitte der 80er-Jahre. Die fünf wärmsten je gemessenen Jahre liegen alle im letzten Jahrzehnt, in der Schweiz mit Temperaturen von ca. 2 °C über dem langjährigen Durchschnitt. Andere Gebiete der Welt sind mit gefährlichen Hitzewellen, Dürren, Stürmen und Überschwemmungen zunehmend betroffen. Wärmere Temperaturen und Änderungen im Niederschlagsregime haben auch einen grossen Einfluss auf die Pflanzenwelt. Einige Arten können sich an die steigenden Temperaturen anpassen, indem sie etwa den Blühzeitpunkt oder den Blattaustrieb

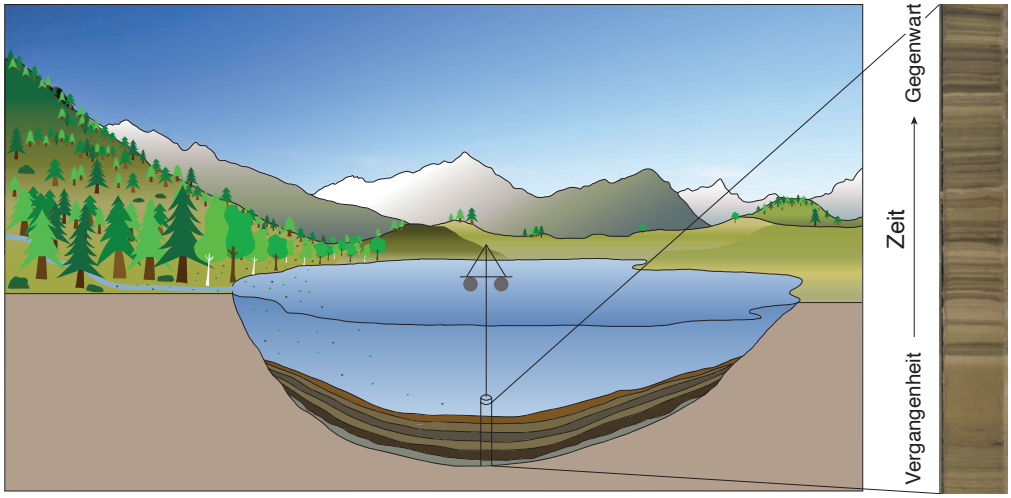



**Abb. 1: Seen sind natürliche Archive, da Umweltinformationen im Sediment über Jahrtausende konserviert bleiben und durch die Entnahme eines Bohrkerns analysiert werden können.**

vorverschieben. Solche phänologischen Anpassungen sind gut dokumentiert, beispielsweise blühen die Kirschbäume in Liestal rund zwei Wochen früher als noch vor 50 Jahren. Es gibt auch Pflanzenarten, welche ihr Verbreitungsgebiet ändern, um so in ihrer optimalen Temperaturnische zu bleiben. Dieser Prozess ist besonders bei alpinen Pflanzen bereits heute zu beobachten. So nimmt etwa die Artenvielfalt auf den Alpengipfeln über die letzten hundert Jahre kontinuierlich zu, da Pflanzenarten ihr Verbreitungsgebiet in höhere Lagen verschieben. Auch im Wald sind die ersten Auswirkungen des Klimawandels bereits ersichtlich. Der aussergewöhnlich trockene und heisse Sommer 2018 etwa führte durch Hitze- und Trockenstress an einigen Orten im Schweizer Mittelland zum frühzeitigen Laubabwurf der Buche, zu einer Zunahme der Baummortalität und zu einer Häufung von Waldbränden. Klimaprognosen gehen je nach Szenario für die tiefen Lagen der Schweiz von einer weiteren Erwärmung von bis zu 5,4 °C Jahresmitteltemperatur zum Ende dieses Jahrhunderts aus (CH 2018, 2018). Da stellt sich natürlich die Frage welche Auswirkungen eine solche Klimaänderung auf die Vegetation und besonders den Wald hat.

## Wissenschaftliche Untersuchungsmethoden

Um abschätzen zu können, wie sich der Klimawandel auf die Wälder auswirkt, gibt es in der Forschung verschiedene Ansätze: Weit verbreitet sind etwa Experimente, bei denen ein oder mehrere Umweltfaktoren (z. B. Temperatur, Niederschlag, $CO_2$-Gehalt der Luft) verändert werden, um dann den Effekt auf die Pflanze zu messen. Solche Experimente haben den Vorteil, dass sie unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden können, was die statistische Analyse und die Zuweisung der Ursachen erleichtert. Ein Nachteil solcher Studien ist hingegen, dass Experimente meist nur über einige wenige Jahre und selten unter komplett natürlichen Bedingungen durchgeführt werden können. Gerade bei langlebigen Organismen wie Bäumen, welche die Dauer eines Forschungsprojektes oder eines Forscherlebens um ein Vielfaches übertreffen,

ist es schwierig, Aussagen über den Lebenszyklus einer Baumart zu machen und Prognosen für die Wälder der Zukunft abzuleiten. Ein anderer Ansatz versucht die wichtigsten Prozesse eines Waldes, wie zum Beispiel Wachstum verschiedener Baumarten, Konkurrenz, Störungen und Mortalität, mittels mathematischer Gleichungen zu beschreiben, welche dann mit Computer gelöst werden können. Ähnliche Computermodelle werden etwa auch in der Klimaphysik verwendet, um das zukünftige Klima unter verschiedenen Emissionsszenarien abzuschätzen. Solche prozess-basierten Vegetationsmodelle stellen aber immer auch eine Vereinfachung der komplexen Wechselwirkungen innerhalb eines Waldes dar, weshalb es wichtig ist, zuerst zu überprüfen, ob die Simulationen auch realistische Ergebnisse liefern. Zu guter Letzt liefern Beobachtungen über in den letzten Jahrzehnten bereits eingetretene Veränderungen aufgrund des Klimawandels wichtige Anhaltspunkte, wie sich der Wald in Zukunft weiter verändern könnte. Ein Nachteil dieses Ansatzes ist aber einerseits, dass nicht-lineare Veränderungen wie zum Beispiel das Überschreiten von Schwellenwerten nicht oder nur zu spät erkannt werden können. Andererseits ist die anhin beobachtete Klimaänderung kleiner, als das, was für die nächsten Jahrzehnte erwartet wird. Deshalb wäre es äusserst hilfreich, zurück in die Zeit zu reisen, um die Auswirkungen vergangener, grosser Klimaänderungen auf den Wald zu untersuchen und daraus Aussagen über die Zukunft machen zu können.

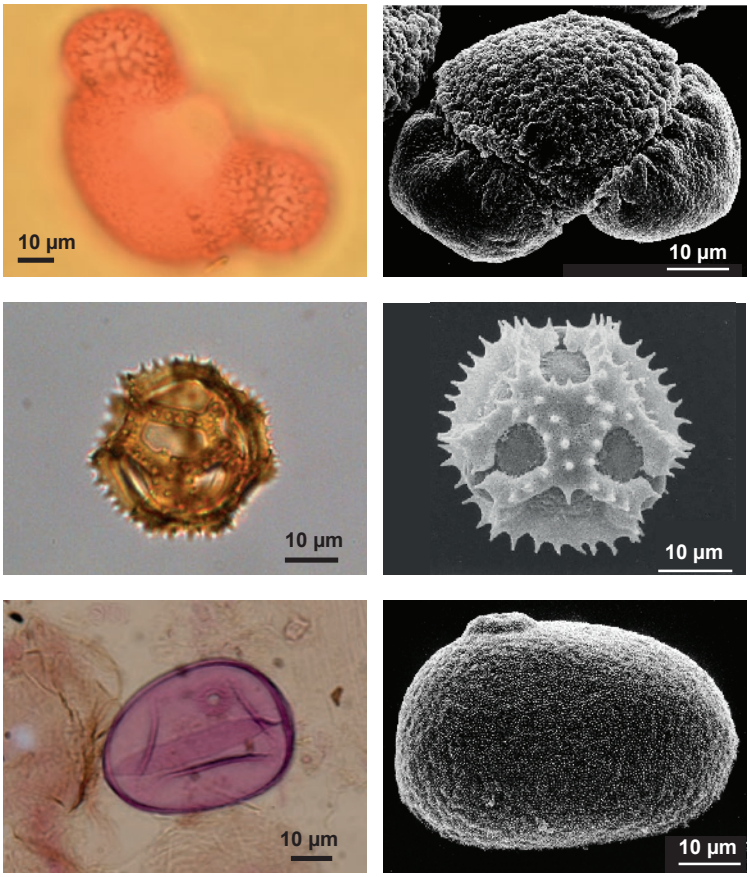



**Abb. 2: Pollenkörner verschiedener Pflanzen unter dem Lichtmikroskop (links) und dem Rasterelektronenmikroskop (rechts). Oben: Waldföhre *(Pinus sylvestris);* Mitte: Zungenblütler (Cichorioideae); Unten: Roggen *(Secale cereale).*** Fotos: Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern.

## Natürliche Archive als Zeitmaschine

Glücklicherweise gibt es bereits eine Art Zeitmaschine, mit der die Vergangenheit untersucht werden kann: Natürliche Archive wie z. B. Seen oder Moore können Informationen über die Umwelt in ihrer Umgebung speichern. Pflanzenteile wie z. B. Blätter, Samen und Früchte aber auch Pollen (Blütenstaub), welche in den See fallen, sinken auf den Seegrund und werden dort ins Sediment eingelagert *(Abb. 1)*. Der geringe Sauerstoffgehalt im Sediment und niedrige Temperaturen verhindern den Abbau dieses organischen Materials, weshalb es im Laufe der Zeit mit neuem Material so überdeckt wird, dass die Informationen über Jahrtausende oder noch länger erhalten bleiben. Mit der Entnahme und Analyse eines Sedimentbohrkernes kann so in der Zeit zurückgereist werden, bis zur Entstehung des Sees oder Moores. In den tiefen Lagen der Schweiz bedeutet dies meist bis zum Ende der letzten Eiszeit, ca. 19 000 Jahre vor heute, ausserhalb der Schweiz gibt es europäische Seen und Moore, die über hunderttausende von Jahren Informationen gesammelt haben. Das genaue Alter verschiedener Tiefen im Sediment kann beispielsweise mit der Radiokarbonmethode bestimmt werden.

Bereits vor mehr als hundert Jahren erkannten Forscher, dass Pollen zur Rekonstruktion der vergangenen Vegetation verwendet werden kann (Birks, 2019). Die grosse Formenvielfalt erlaubt es, Pollenkörner zu bestimmen und vielfach einer bestimmten Art oder zumindest einer Artengruppe zu-

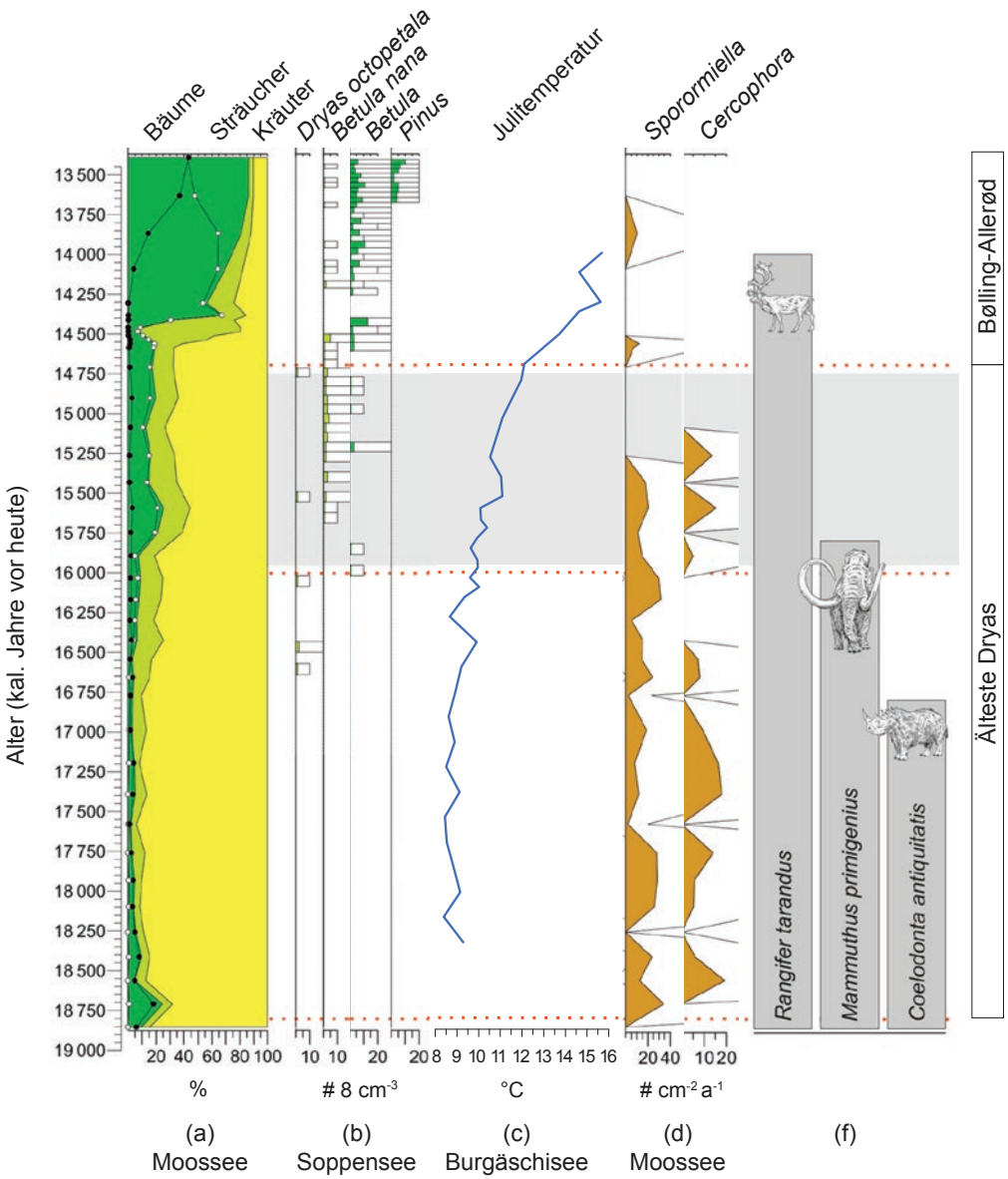



**Abb. 3: Einfluss von Klimaänderungen auf die Vegetation und Grosssäugetiere im Spätglazial. a) Vereinfachtes Pollendiagramm des Moossees (BE), welches Veränderungen in der Gesamtsumme von Bäumen, Sträuchern und Kräuter zeigt; b) Makrorestdiagramm des Soppensees (LU); c) Juli-Temperaturrekonstruktion basierend auf Änderungen in der Artenzusammensetzung von Zuckmückenlarven im Burgäschisee (Bolland et al., 2020); d) Influx von Dungpilzsporen im Moossee; f) Anwesenheit von Grosssäugetieren im Schweizer Mittelland. Abgeändert nach Rey et al. (2020).**

zuweisen *(Abb. 2)*. Anhand des in einer Sedimentprobe vorhandenen Pollenspektrums, kann man Rückschlüsse auf die damalige Vegetation ziehen. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass Pflanzen unterschiedlich viel Pollen produzieren und dieser durch den Wind über grössere Distanzen verbreitet werden kann. Grössere Pflanzenreste erlauben es hingegen, die lokale Vegetation um den Standort zu rekonstruieren, da diese meist nicht weit von ihrem Ursprung wegtransportiert werden. Gerade Früchte, Samen, gut erhaltene Blätter oder Nadeln können direkt einer bestimmten Art zugewiesen werden und belegen deren lokale Anwesenheit.

Im Sediment finden sich zudem auch noch weitere Informationen, z. B. ermöglicht die Analyse von Holzkohlepartikeln Aussagen über vergangene Waldbrände. Auch aquatische Organismen bleiben teilweise im Sediment erhalten. Die aus Chitin bestehenden Kopfkapseln von Zuckmückenlarven (Chironomidae) können unterschiedlichen Arten mit klaren Temperaturpräferenzen zugewiesen werden und ermöglichen die

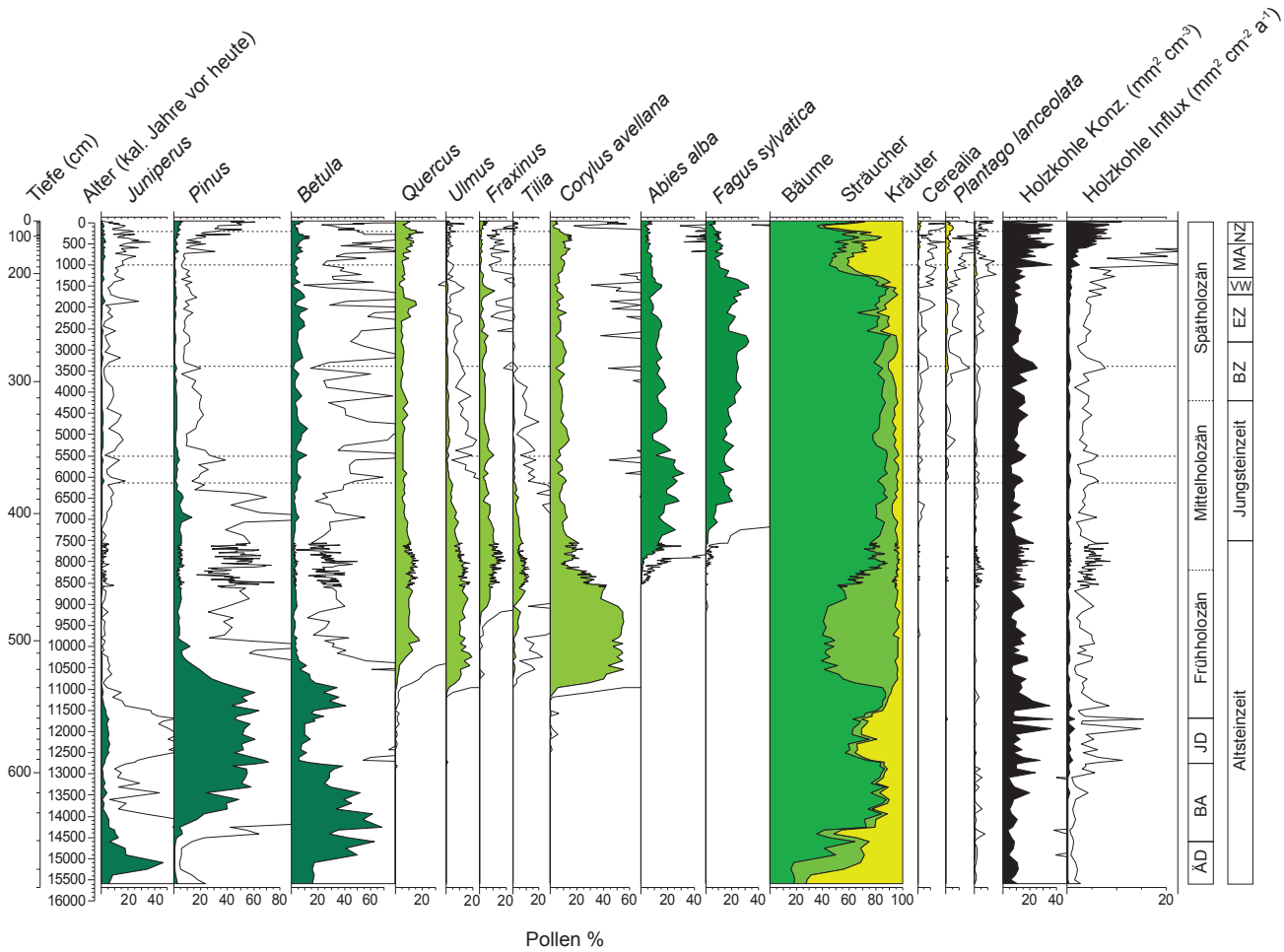



**Abb. 4: Pollendiagramm des Soppensees (LU), welches Vegetationsänderungen seit dem Spätglazial zeigt. ÄD Älteste Dryas, BA Bølling-Allerød, JD Jüngere Dryas, BZ Bronzezeit, EZ Eisenzeit, VW Völkerwanderung, MA Mittelalter, NZ Neuzeit. Abgeändert nach Lotter (1999).**

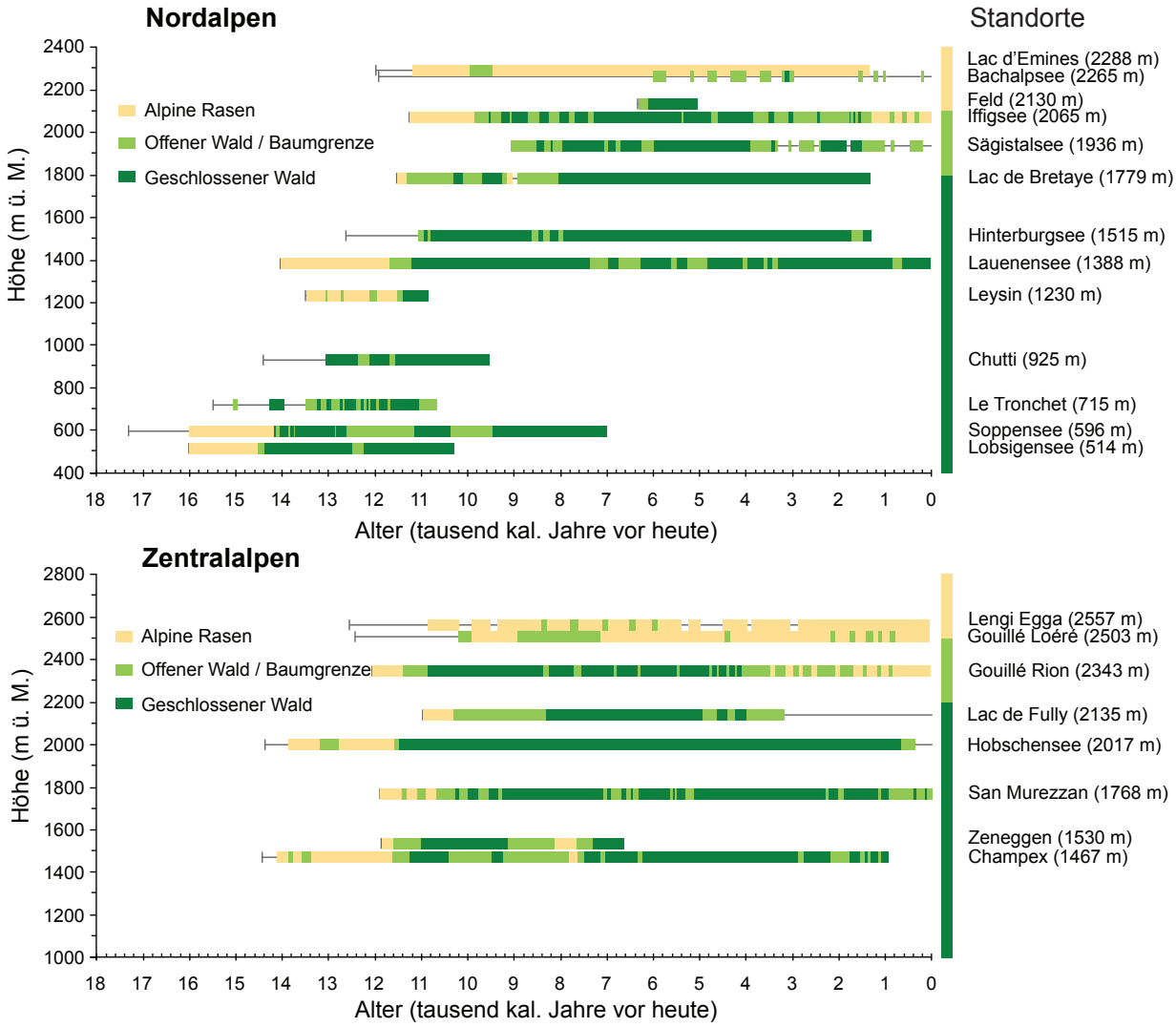
Rekonstruktion vergangener Sommertemperaturen. Da mittlerweile eine grosse Anzahl von Standorten in der Schweiz mit solchen paläoökologischen Methoden untersucht wurde, haben wir einen guten Überblick über Vegetationsveränderungen seit der letzten Eiszeit. Im Hinblick auf den zukünftigen Klimawandel sind besonders drei verschiedene Zeitabschnitte von besonderem Interesse: Eine erste Erwärmung der Sommertemperaturen von ca. +5 °C am Ende der letzten Eiszeit um 14 600 Jahre vor heute (Bølling-Allerød Interstadial), der Beginn der momentanen Warmzeit (Holozän) um 11 700 Jahre vor heute, als Sommertemperaturen um ca +2,5 °C innerhalb von 50 Jahren anstiegen und schliesslich das Holozäne Temperaturoptimum von ca. 9000–5000 Jahre vor heute, als Sommertemperaturen etwa 1–2 °C höher waren als heute (Heiri et al. 2014).

## Erste Wälder nach der Eiszeit

Pflanzenreste aus den tiefsten Schichten verschiedener Seen im Mittelland, welche mittels Radiokarbonmethode datiert wurden, belegen den Rückzug der Tieflandgletscher um ca. 19 000 Jahre vor heute. Pollen und Pflanzenreste deuten darauf hin, dass die Vegetation bis ca. 16 000 Jahre vor heute aus einer baumlosen Tundra oder Kältesteppe bestand, wie sie heutzutage beispielsweise noch in der Mongolei anzutreffen ist. Bemerkenswert ist, dass in Proben dieser Zeitperiode auch viele Sporen von Pilzen, die sich auf den Abbau von Tierdung spezialisiert haben, zu finden sind (z. B.

*Sporormiella* oder *Cercophora),* was auf eine hohe Anzahl von grossen Pflanzenfressern hinweist *(Abb. 3*; Rey et al., 2020). Dazu gehören auch das Mammut oder das Wollnashorn, die dazumal im Schweizer Mittelland vorkamen. Eine erste Änderung der Vegetationszusammensetzung ist um etwa 16000 Jahre vor heute nachweisbar. Ein leichter Anstieg der Sommertemperaturen um ca. 1 °C (Bolland et al., 2020), führte zur Ausbreitung einer Strauchtundra, geprägt durch die Zwergbirke *(Betula nana)* und auch einzelne Baumbirken *(Betula pubescens, B. pendula)* in mikroklimatisch günstigen Lagen. Vergleichbare Vegetationsgesellschaften finden sich heutzutage etwa im Norden von Skandinavien. Mit dem Ausbreiten der ersten Bäume, verschwand auch das Mammut aus dem Schweizer Mittelland. Temperaturrekonstruktionen mittels Zuckmückenlarven, aber auch Sauerstoffisotope aus karbonathaltigem Seesediment, belegen einen weitaus markanteren Temperaturanstieg um ca. 14600 Jahre vor heute, zu Beginn des Bølling-Allerød Interstadials (Bolland et al., 2020). Sommertemperaturen stiegen damals um ca. 5 °C was zu einer Ausbreitung von Birken- und Föhrenwäldern im Schweizer Mittelland führte *(Abb. 3–5*). Verschiedene Standorte entlang eines Höhentransektes in den Berner Alpen zeigen zudem, dass die Waldgrenze bis auf etwa 1000 m ü. M. ansteigen konnte *(Abb. 5*).

**Abb. 5: Höhen-Zeit-Diagramm der Nord- und Zentralalpen basierend auf Standorten mit Makroresten, welche die lokale Anwesenheit von alpinen Rasen oder Bäumen nachweisen. Dünne Linien weisen auf Proben ohne Makroreste hin.**



## Schneller Klimawandel zu Beginn des Holozäns

Nach einer etwa tausend Jahre dauernden Kaltphase, der Jüngeren Dryas, nahmen die Sommertemperaturen um ca. 11 700 Jahre vor heute sprunghaft um ca. 2,5 °C innerhalb von nur 50 Jahren zu (Heiri et al., 2014). Dieser rasche Temperaturanstieg ist vergleichbar mit den Klimaprognosen bis zum Ende dieses Jahrhunderts, was diese Zeitperiode zu einem spannenden Untersuchungsobjekt macht, um die Reaktion der Wälder auf den Klimawandel zu untersuchen. Zahlreiche Standorte in der Schweiz zeigen einen drastischen Wechsel in der Artenzusammensetzung als Folge der Erwärmung. Innerhalb von ca. 500 Jahren wurden die borealen Birken-Föhrenwälder von wärmeliebenden Eichenmischwäldern verdrängt. Neben der Eiche *(Quercus* sp.) ist besonders der hohe Anteil an Hasel *(Corylus avellana),* Ulme *(Ulmus* sp.) und Linde *(Tilia* sp.) auffällig. Vergleichbare Waldgesellschaften gibt es heute noch in kontinentalen Gebieten Osteuropas.

## Rascher Anstieg der Waldgrenze

Der Klimawandel zu Beginn des Holozäns führte auch in höheren Lagen zu eindrücklichen Änderungen der Vegetationsgemeinschaften. In den Zentralalpen etwa stieg die Waldgrenze innerhalb hundert Jahre um etwa 800 Höhenmeter, was durch Lärchennadeln im Sediment des Gouillé Rion (2343 m ü. M.), einem kleinen Bergsee im Val d'Hérémence belegt ist (Kaltenrieder et al., 2005). In den Nordalpen dauerte der Anstieg der Waldgrenze bis auf die heutige Position etwas länger, höchstwahrscheinlich wegen einer zwischenzeitlichen Kaltphase im Frühholozän (Präboreale Klimaschwankung ca. 10 800 Jahre vor heute) und der geringeren Sonneneinstrahlung durch stärkere Wolkenbedeckung. Kurz nach der ersten Erwärmung um 11 700 Jahre ist aber ebenfalls ein rascher Anstieg der Waldgrenze auf knapp 1800 m ü. M. nachgewiesen. Erst als die Sommertemperaturen vor knapp 10 000 Jahre heutige Werte überschritten, konnten Lärchen-Arvenwälder auch in den Nordalpen über die heutige Waldgrenze hinaus ansteigen. Im Gegensatz zu den Zentralalpen ist diese Vegetationsstufe dort heute weitgehend verschwunden *(Abb. 5*).

## Resilienz oder Anpassungsfähigkeit gegenüber Klimaänderungen

Eine im Moment vieldiskutierte Frage ist, ob sich Pflanzen möglicherweise auch direkt über Veränderungen des Erbgutes an sich ändernde Klimabedingungen anpassen können. So gibt es etwa klare Hinweise, dass Bäume sich über längere Zeiträume an lokale Umweltbedingen anpassen, was zu lokalen Ausprägungen (Phänotyp) mit unterschiedlichen genetischen Merkmalen (Genotyp) führt. Ob dieser Prozess auch über relative kurze Zeiträume funktioniert, ist noch nicht bekannt. Es gibt aber tatsächlich Hinweise, dass sich gewisse Arten aussergewöhnlich lange an Standorten halten konnten, welche sich eigentlich nicht mehr in ihren optimalen klimatischen Bedingungen befinden. Eine kürzlich erschienene Studie zu Gola di Lago (790 m ü. M.), einem kleinen Moor im Tessin, zeigt eindeutig, dass sich kältetolerante Baumarten wie die Lärche, welche während der Jüngeren Dryas lokal dominant war, bis zu tausend Jahre nach dem raschen Temperaturanstieg zu Beginn des Frühholozäns an diesem Standort halten konnte (Höhn et al., 2022). Ob diese Arten einfach einen Konkurrenzvorteil gegenüber sich neu ausbreitenden Arten hatten, oder ob sie sich bis zu einem gewissen Grad genetisch an die wärmeren Temperaturen anpassen konnten, könnte eventuell in Zukunft durch die Analyse von DNA aus jahrtausendealten Pflanzenresten untersucht werden (Schwörer et al., 2022). Belegt ist jedoch, dass sich in Zeiten des raschen Klimawandels durch die Vermischung von sich neu ausbreitenden und lokal bereits vorhandenen Arten ungewöhnliche Vegetationsgemeinschaften bilden können.

## Holozänes Temperaturmaximum als Analogie für die Zukunft

Wegen leicht unterschiedlicher Ausrichtung und Umlaufbahn der Erde zur Sonne war

die Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten im Früh- und Mittelholozän (vor ca. 10 000–5000 Jahren) höher als heute. Dies führte zu 0,5–2,0 °C höheren Sommertemperaturen. Werte, welche Klimaprognosen bereits für Mitte bis Ende dieses Jahrhunderts voraussagen. Im Gegensatz zur heutigen Situation war der Winter und Herbst aber höchstwahrscheinlich deutlich kühler, was zu kontinental geprägten Klimabedingungen führte. Nichtsdestotrotz führten die wärmeren Sommertemperaturen dazu, dass die Waldgrenze damals ca. 200–300 m höher lag als heute *(Abb. 5*; Heiri et al., 2014). Auch die Obergrenze verschiedener Laubbäume verschob sich dementsprechend in höhere Lagen. Am Lac de Bretaye in der Westschweiz sind boreo-nemorale Wälder mit Linde, Ulme und Ahorn auf 1779 m ü. M. dokumentiert, einige hundert Höhenmeter höher als das heutige Verbreitungsgebiet dieser Arten (Thöle et al., 2016).

## Menschlicher Einfluss als prägender Faktor seit Tausenden von Jahren

Vor 8200 Jahren wechselte das Klimaregime Mitteleuropas ein letztes Mal dramatisch, innerhalb von wenigen Jahrzehnten von trockenen, relativ kontinentalen Bedingungen wie sie heute noch im Wallis vorherrschen, zu den heutigen subozeanischen Bedingungen, welche die Ausbreitung neuer Vegetationsgemeinschaften begünstigte, wie z. B. die Buchenmischwälder *(Fagus sylvatica).* Obwohl sich die Klimabedingungen seit damals nicht mehr stark verändert haben, kam es zu grossen Änderungen in der Vegetation der Schweiz und Europas. (Tinner und Lotter, 2001, 2006). Dies hat insbesondere mit der menschlichen Nutzung zu tun. Mit der Ausbreitung der Landwirtschaft zu Beginn der Jungsteinzeit vor ca. 7500 Jahren, änderte in zunehmendem Masse auch die Vegetation. Die ersten Bauern rodeten mit

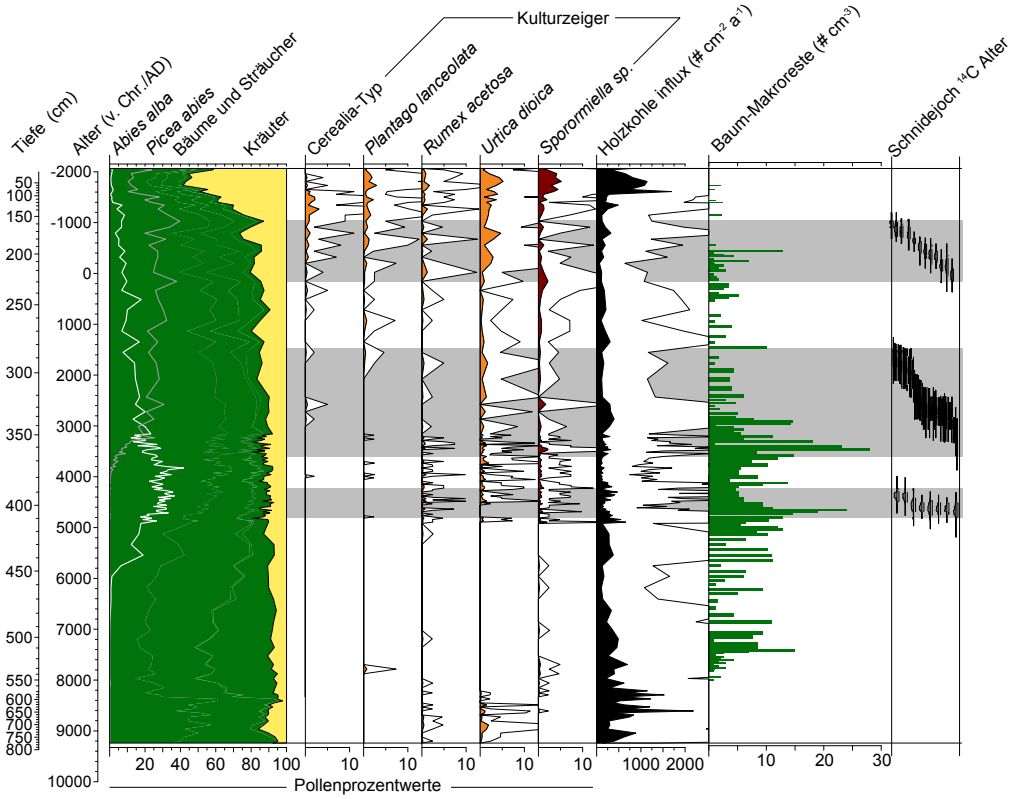



**Abb. 6: Menschlicher Einfluss am Iffigsee (BE) auf 2065 m ü. M. Das Auftreten verschiedener Pollentypen ist charakteristisch für menschliche Landnutzung (Kulturzeiger) sowie Dungsporen *(Sporormiella)* und Holzkohlepartikel belegen, dass erste Bauern bereits in der Jungsteinzeit (5000 v. Chr.) ihre Tiere in der alpinen Stufe weiden liessen. Dies stimmt mit archäologischen Funden aus dem Schnidejoch überein (grau hinterlegte Balken). Abgeändert nach Hafner & Schwörer (2018).**

Hilfe von Feuer kleinere Flächen in der Umgebung ihrer Siedlungen und betrieben dort Landwirtschaft. Besonders in der Nähe von Seeufersiedlungen im Mittelland, wie am Moossee und am Burgäschisee, sind solche Siedlungsphasen mittels paläoökologischer Methoden identifizierbar. Nach Aufgabe der Siedlung konnte sich der ursprüngliche vorhandene Wald jeweils innerhalb von ca. 250 Jahren wieder erholen (Rey et al., 2019). Häufig wiederkehrende menschliche Siedlungstätigkeiten führten aber bereits in der Jungsteinzeit dazu, dass eher störungsanfällige Baumarten wie die Ulme, Linde oder Weisstanne *(Abies alba)* zurückgingen. Der menschliche Einfluss blieb nicht nur auf die besten Lagen des Mittellandes beschränkt, auch in den Alpen ist er seit der Jungsteinzeit nachweisbar. Am Iffigsee in den Berner Alpen deuten eine Zunahme von Holzkohlepartikel, Dungpilzsporen und stickstoffliebenden Arten (z. B. Brennessel *Urtica dioica* oder Sauerampfer *Rumex acetosa)* darauf hin, dass der Mensch den Bergwald im Bereich der Waldgrenze abbrannte, um zusätzliche Weidegründe zu erschliessen *(Abb. 6*; Schwörer et al., 2015). Spektakuläre archäologische Funde aus einem schmelzenden Schneefeld ganz in der Nähe des Iffigsees lassen vermuten, dass es sich dabei um Hirten aus dem Wallis handelte, welche ihre Tiere über den Schnidejochpass trieben, um sie in der Umgebung des Iffigsees weiden zu lassen (Hafner und Schwörer, 2018). Auch in der subalpinen Stufe hatten solche wiederholten Störungen einen Einfluss auf empfindliche Baumarten. Beispielsweise ist belegt, dass häufige Feuerereignisse in höheren Lagen zu einem Rückgang der Weisstanne und Arve führten, was wahrscheinlich wiederum erst die Ausbreitung der Fichte *(Picea abies)* um ca. 5900 Jahre vor heute im westlichen Alpenraum ermöglichte.

Mit zunehmendem technologischem Fortschritt und damit steigender Bevölkerungsdichte nahm auch der menschliche Einfluss auf die Wälder in der Schweiz zu. So kam es während der Bronzezeit, welche vor ca. 4200 Jahren begann, an vielen Orten zu einer weiteren Öffnung der Landschaft. In den Alpen wurde die Waldgrenze durch den Menschen um einige hundert Meter herabgesetzt, um Alpweiden zu vergrössern (Tinner and Theurillat, 2003), teilweise begünstigt durch langsam sinkende Sommertemperaturen. Ab der Eisenzeit ca. 2800 Jahre vor heute, ist eine aktive Bewirtschaftung der Wälder im Mittelland ersichtlich *(Abb. 4*). So wurde die Eiche gefördert, da deren Holz als Baumaterial begehrt war und das Vieh für die Eichelmast in die Wälder getrieben werden konnte. In kühleren und feuchteren Höhen spielte die Buche eine ähnliche Rolle. In der Südschweiz wurde die Edelkastanie *(Castanea sativa)* mit Brandrodungen durch die Römer eingeführt und konnte sich schnell auf Kosten der natürlicherweise vorhandenen Eichen-Weisstannenmischwälder ausbreiten (Tinner et al., 1999). Die Edelkastanie war zu Beginn besonders wegen ihrem Holz und der Fähigkeit zu Stockaustrieb begehrt, wurde dann aber bald auch zum «Brot der Armen», da die essbaren Früchte zu einer wichtigen Nahrungsgrundlage gerade der ärmeren Bevölkerungsschichten wurden. Während der Völkerwanderungszeit zwischen ca. 300–600 AD konnten sich die Wälder aufgrund der starken Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzung und einer geringeren Bevölkerungsdichte erholen und ausbreiten. Im Mittelalter nahm der Nutzungsdruck dann wieder stark zu und in der ganzen Schweiz wurden Wälder grossflächig gerodet, um neue Anbau- oder Weideflächen zu erschliessen *(Abb. 4 & 6*). Diese Ausbreitung der traditionellen Kulturlandschaft führte zwar zu ziemlich eintönigen (monospezifischen) Wäldern, z. B. Eichen-, Buchen-, Fichtenwälder, insgesamt aber auch zu einer Zunahme der Artenvielfalt, da einerseits besonders im Offenland neue Arten eingeführt wurden und andererseits ein vielfältiges Mosaik von unterschiedlichen Lebensräumen entstand.

## Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder der Zukunft

Die neusten Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sprechen eine deutliche Sprache. Nicht nur besteht überhaupt kein Zweifel mehr an der Tatsache, dass der Klimawandel menschgemacht

ist, es bleiben auch nur noch einige wenige Jahre, um die Treibhausgasemissionen soweit zu verringern, dass die schlimmsten Auswirkungen verhindert werden können (IPCC, 2021). Falls dies nicht gelingt, werden sich die Wälder der Schweiz längerfristig stark verändern. Bespiele aus der Vergangenheit zeigen, dass die Vegetation ohne Verzögerung auf bereits kleine Klimaänderungen reagiert. Die letzten beiden Klimaänderungen vergleichbaren Ausmasses führten zu einem Wechsel von Tundra zu borealen Birken-Föhrenwälder im Mittelland zu Beginn des Bølling-Allerød Interstadials (14 600 Jahre vor heute) und zur Ausbreitung heutiger temperierter Laubmischwäldern zu Beginn des Holozäns (11 700 Jahre vor heute). Bereits wenig wärmere Sommertemperaturen, wie sie auch während dem Holozänen Temperaturoptimum verbreitet waren, haben zur Folge, dass die Waldgrenze einige hundert Höhenmeter nach oben steigt.

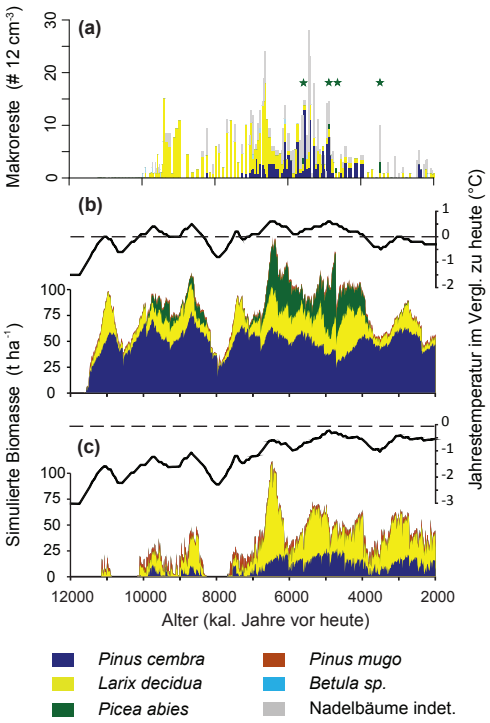



**Abb. 7: Vergleich der Modellresultate mit paläoökologischen Daten. a) Konzentrationen von Makroresten (z. B. subfossile Nadeln) aus dem Iffigsee (BE), die grünen Sterne bezeichnen Proben mit Fichtennadeln *(Picea abies);* b) Simulierte Biomasse in der näheren Umgebung des Iffigsees (50 m) unter heutigen Boden- und Niederschlagsverhältnissen sowie Temperaturen basierend auf der Sommertemperaturrekonstruktion des Hinterburgsees; c) wie b) aber mit Umweltbedingungen des Frühholozäns (flachgründigere Böden, reduzierte Niederschlagswerte, sowie für unterschiedliche Sonneneinstrahlung korrigierte Jahrestemperaturen). Abgeändert nach Schwörer et al. (2014)**

## Dynamische Vegetationsmodelle

Dynamische Vegetationsmodelle eignen sich besonders, um detaillierte Voraussagen zu machen, wie sich der Wald unter verschiedenen Klimaszenarien entwickeln wird. Im Gegensatz zu statischen Modellen, welche bloss auf Korrelationen zwischen dem heutigen Verbreitungsgebiet einer Art und den dort anzutreffenden klimatischen Bedingungen beruhen, wird in dynamischen Modellen explizit das Wachstum, die Verbreitung und Mortalität verschiedener Baumarten unter sich wechselnden Klimabedingungen simuliert. Dabei fliesst die räumliche Umgebung ebenso mit ein wie artspezifische Eigenschaften, z. B. unterschiedliche Wachstumsraten oder Temperaturgrenzwerte. Der grosse Vorteil solcher Modelle ist, dass einerseits die Konkurrenzverhältnisse der Baumarten untereinander miteinbezogen werden und so auch Artkombinationen entstehen können, welche heute nicht existieren und andererseits Veränderungen über die Zeit im Detail untersucht werden können. Wie bei allen Modellen, hängt die Qualität der Ergebnisse aber in grossem Masse von den Eingangsdaten ab, weshalb eine sorgfältige Validierung der Simulationen unabdingbar ist. So kann zum Beispiel überprüft werden, ob das Modell in der Lage ist, die heutigen Wälder korrekt abzubilden. Da es sich dabei aber nur um eine Momentaufnahme handelt und die heutigen Wälder stark durch den Menschen geprägt sind, ist es noch besser, die Simulationen mit paläoökologischen Daten zu vergleichen, um zu überprüfen, ob das Modell auch über lange Zeiträume realistische Ergebnisse liefert.

## Voraussage zukünftiger Waldentwicklung

Das an der ETH Zürich entwickelte dynamische Modell LandClim ist besonders geeignet für den Vergleich mit paläoökologischen Daten, da die räumliche Skala gut mit dem Polleneinzugsgebiet übereinstimmt. Im Berner Oberland, im Wallis und im Engadin konnten klimatisch bedingte Vegetationsänderungen seit dem Ende der letzten Eiszeit erfolgreich mit LandClim reproduziert werden *(Abb. 7*; Henne et al., 2011; Schwörer et al., 2014).

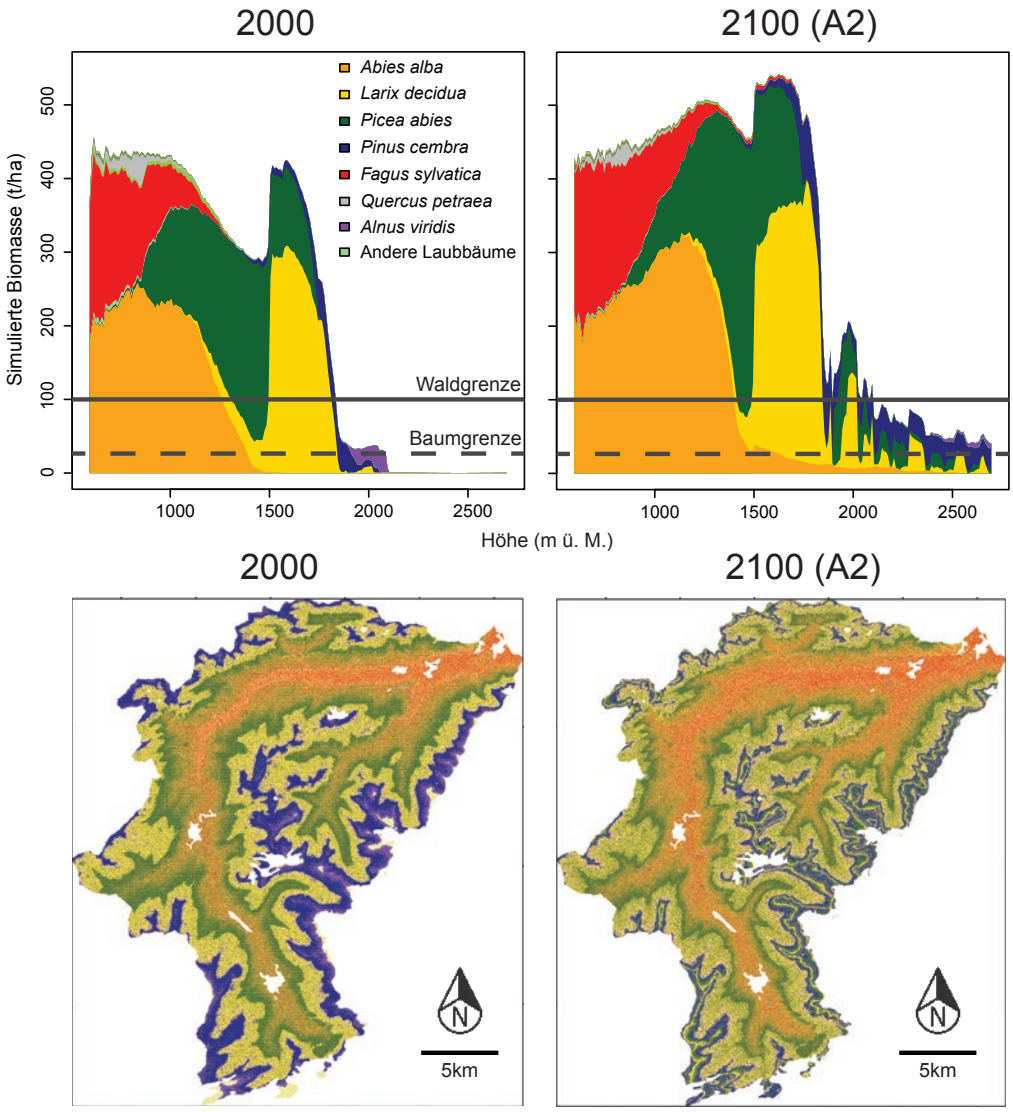



**Abb. 8: Simulation heutiger und zukünftiger Vegetation im Simmental (BE). Oben: Simulierte Biomasse verschiedener Arten in Abhängigkeit der Höhe für heute (links) und für das Jahr 2100 unter dem maximalen Emissionsszenario (A2, +4,6 °C). Unten: Karte des Simmentals mit der dominanten Baumart pro Pixel für das Jahr 2000 und 2100. Eindeutig erkennbar ist der simulierte Anstieg der Wald- und Baumgrenze.**

Bei der Simulation zukünftiger Vegetationsänderungen unter verschiedenen Klimaszenarien zeigt sich, dass wärmere Temperaturen zu einem raschen Anstieg der Waldgrenze um mehrere hundert Höhenmeter bis zum Ende dieses Jahrhunderts führen werden. Im Simmental beispielsweise, gehen Modellrechnungen davon aus, dass die Waldgrenze bis über 2500 m ansteigen könnte und die alpinen Rasen damit fast vollständig verdrängt werden *(Abb. 8)*. Obwohl die klimatischen Bedingungen für alpine Arten zwar gegeben sind, werden sie sich wegen fehlendem Substrat nur beschränkt in höheren Lagen ausbreiten können. Zudem nimmt die Fläche, welche besiedelt werden kann, mit zunehmender Höhe ab, was deshalb auf jeden Fall zu einem Populationsrückgang führen wird. Andererseits werden trockenheitsempfindliche Bäume wie *Picea abies* ebenfalls Schwierigkeiten haben, sich in der heutigen alpinen Stufe zu etablieren, da die äusserst flachgründigen Rohböden zu bedeutendem Trockenstress führen könnten (Henne et al. 2011). Alpine Arten könnten so auch in isolierten Restbeständen unterhalb der neuen Baumgrenze überleben. In tieferen Lagen wird es ebenfalls zu einer Verschiebung der Baumarten in höhere Lagen kommen. Da

hier die Neuzuzüger aber in Konkurrenz mit den alteingesessenen Arten stehen, wird dieser Prozess über längere Zeiträume stattfinden als an der Waldgrenze. Es ist aber durchaus möglich, dass es bereits in naher Zukunft zur Vermischung von bisher getrennten Vegetationsgesellschaften kommt, beispielsweise wenn sich wärmeliebende Arten wie die Linde, Ulme oder Eiche in der subalpinen Stufe, welche von der Fichte dominiert ist, ausbreiten können.

Über längere Zeiträume von einigen hundert Jahren, wird sich auch die Artenzusammensetzung drastisch ändern *(Abb. 9)*. Die Simulationen zeigen, dass sich die heutigen Höhenstufen nach oben verschieben werden, d.h. Buchenwälder, welche heute die kolline und montane Stufe prägen, werden sich bis an die heutige Waldgrenze ausdehnen. Im Gegenzug werden die subalpinen Fichtenwälder an günstigen Standorten mit genügend Bodenfeuchte die heutige alpine Stufe ersetzen (Henne et al. 2011).

In tieferen Lagen des Mittellandes werden vor allem die gepflanzten und stark forstwirtschaftlich genutzten Fichtenwälder vom Klimawandel betroffen sein. Als Flachwurzler werden der Fichte vor allem die warmen und trockenen Sommer zu schaffen machen. Simulationen zeigen, dass die Fichte bereits unter mittleren Klimaszenarien gegen Ende dieses Jahrhunderts nicht mehr konkurrenzfähig sein wird. Anders sieht es bei der Buche aus, welche zwar an eher trockenen Standorten ebenfalls gefährdet ist, in Gebieten mit tiefgründigem Boden aber auch mit wärmeren Temperaturen gut zurechtkommt. Die Modellrechnungen zeigen auch, dass einige Baumarten sogar vom Klimawandel profitieren können. Solche «Zukunftsbäume» sind besonders für die Forstwirtschaft interessant, welche bereits heute wissen möchte, welche Bäume gepflanzt werden können, um sie dann in 50–100 Jahren zu ernten. Besonders erwähnenswert ist hier die Weisstanne, welche gut an wärmere Klimabedingungen angepasst ist. Dies mag auf den ersten Blick erstaunen, da die Weisstanne in der Schweiz heute eher in kühleren und feuchteren Lagen der montanen Stufe vorkommt. Im Süden Europas kommt die Weisstanne unter sommertrockenen Mittelmeerbedingungen allerdings oft an wärmeren Standorten vor, meist unterhalb der Buchenstufe. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt zudem, dass im Früh- und Mittelholozän (vor 10 000–5000 Jahren) die Weisstanne die dominante Baumart in tieferen Lagen des Tessins war und erst mit zunehmendem menschlichen Einfluss verdrängt wurde (Tinner et al., 1999). Noch erstaunlicher ist, dass zu dieser Zeit relativ dichte Weisstannen-Steineichenmischbestände an der sommertrockenen, subtropischen Mittelmeerküste Italiens wuchsen (Tinner et al. 2013). Ebenfalls ziemlich gut an wärmere Temperaturen angepasst sind Baumarten wie die Ulme, die Linde oder die Eiche, welche bereits im Holozänen Temperaturmaximum (vor der Ausbreitung der Buche) im Schweizer Mittelland weit verbreitet waren.

## Zusammenfassung

Paläoökologische Daten und dynamische Vegetationsmodelle zeigen eindrücklich, wie empfindlich Wälder auf Klimaänderungen reagieren. In der Vergangenheit führten ähnliche Temperaturanstiege, wie sie für das Ende dieses Jahrhunderts prognostiziert werden, jeweils zu drastischen Änderungen der Vegetation: Von baumloser Tundra zu borealen Birken-Föhrenwälder im Spätglazial und weiter zu temperierten Laubmischwälder zu Beginn des Holozäns. Pollenanalysen und Modelle zeigen aber auch, dass solche Prozesse über längere Zeiträume von einigen hundert Jahren stattfinden, da z.B. bereits bestehende Baumarten einen Konkurrenzvorteil gegenüber sich neu ausbreitenden Arten haben. Bereits in naher Zukunft könnte es aber an einzelnen Standorten zu einer Vermischung von bisher getrennt vorkommenden Arten kommen, da wärmeliebende Arten in höheren Lagen nicht mehr durch tiefe Temperaturen limitiert werden. Solche Vegetationsgemeinschaften, welche heute keine Entsprechung kennen, sind beispielsweise auch für das Frühholozän nachgewiesen, als sich das Klima schnell und stark erwärmte. In Gebieten, wo der Konkurrenzdruck durch andere Baumarten tief ist, beispielsweise oberhalb der

heutigen Waldgrenze, wird es ebenfalls zu raschen Vegetationsänderungen kommen. So gehen dynamische Modelle davon aus, dass die Waldgrenze bis zum Ende dieses Jahrhunderts um mehrere hundert Meter ansteigen wird und die alpinen Rasen weitgehend verdrängen könnte. Dies stimmt gut mit Makroresteuudien überein, welche ebenfalls einen schnellen Anstieg der Waldgrenze um bis zu 800 Höhenmeter innerhalb 50 Jahre zu Beginn der heutigen Warmzeit belegen. Paläoökologische Daten zeigen aber auch, dass eine extensive Alpweidewirtschaft das Potential hat, diesen raschen Anstieg der Waldgrenze zu verhindern und somit die artenreichen alpinen Rasen erhalten werden könnten. Paläoökologische Daten geben einmalige Einblicke in das Verhalten der Arten unter sich stark ändernden Bedingungen, die nicht direkt aus Beobachtungen und Experimenten abgeleitet werden können. Diese ökologischen Überraschungen aus der Vergangenheit (z. B. Weisstannenwälder am Mittelmeerstrand) tragen dazu bei, nachhaltige Lösungen für die Klima- und Biodiversitätskrisen zu finden.

## Literatur

Birks, H.J.B., 2019. Contributions of Quaternary botany to modern ecology and biogeography. Plant Ecology & Diversity 12, 189–385. https://doi.org/10.1080/17550874.2019.1646831

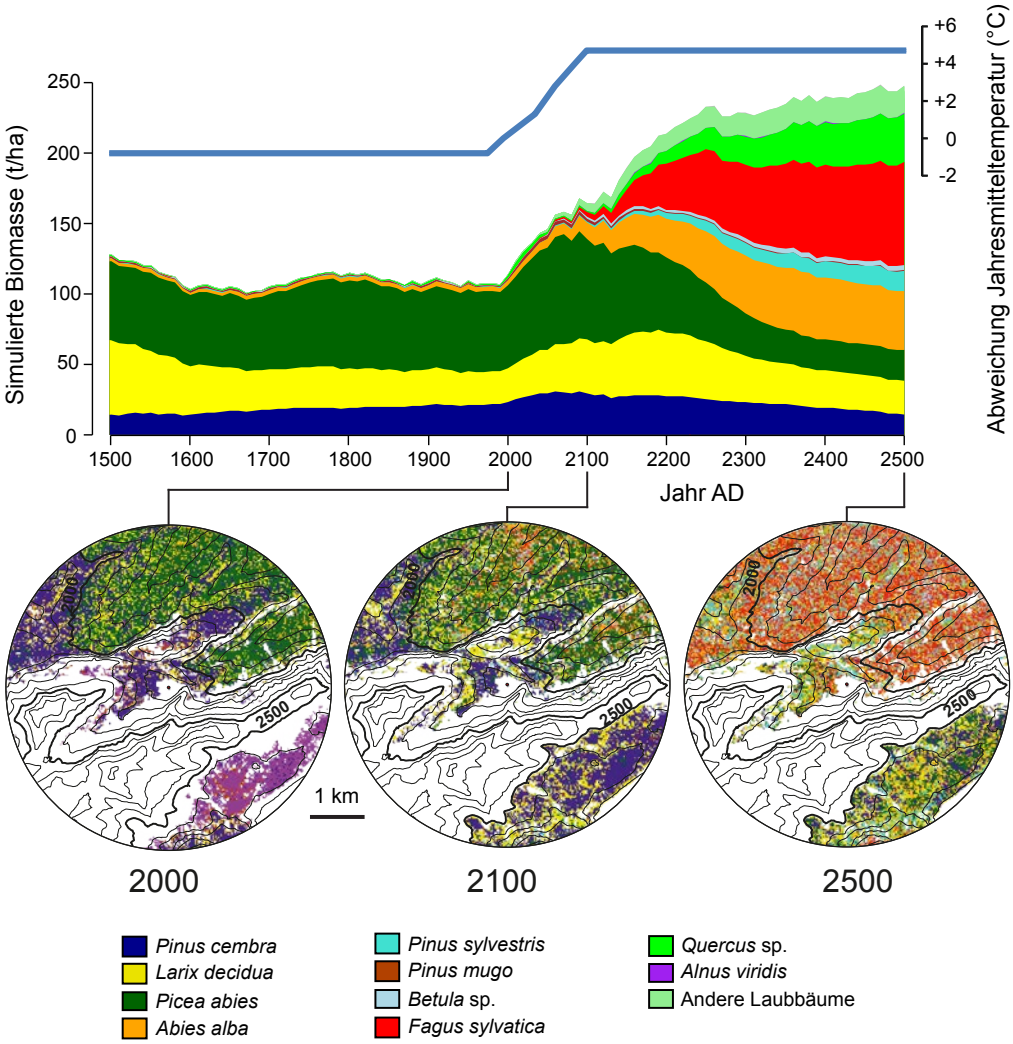



**Abb. 9: Simulation zukünftiger Vegetationsentwicklung rund um den Iffigsee im Berner Oberland. Steigende Temperaturen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts führen zunächst zu einer Zunahme der Biomasse (oben) bedingt durch einen schnellen Anstieg der Waldgrenze (Karte unten). Längerfristig führen +4,6 °C zu einer drastischen Änderung der Artenzusammensetzung. Abgeändert nach Schwörer et al. (2014)**

Bolland, A., Rey, F., Gobet, E., Tinner, W., Heiri, O., 2020. Summer temperature development 18,000–14,000 cal. BP recorded by a new chironomid record from Burgäschisee, Swiss Plateau. Quaternary Science Reviews 243, 106484. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106484

CH 2018, 2018. Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report. National Centre for Climate Services, Zurich.

Hafner, A., Schwörer, C., 2018. Vertical mobility around the high-alpine Schnidejoch Pass. Indications of Neolithic and Bronze Age pastoralism in the Swiss Alps from paleoecological and archaeological sources. Quaternary International, 484, 3–18. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.12.049

Heiri, O., Koinig, K.A., Spötl, C., Barrett, S., Brauer, A., Drescher-Schneider, R., Gaar, D., Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Luetscher, M., Moran, A., Nicolussi, K., Preusser, F., Schmidt, R., Schoeneich, P., Schwörer, C., Sprafke, T., Terhorst, B., Tinner, W., 2014. Palaeoclimate records 60–8 ka in the Austrian and Swiss Alps and their forelands. Quaternary Science Reviews 106, 186–205. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.05.021

Henne, P.D., Elkin, C.M., Reineking, B., Bugmann, H., Tinner, W., 2011. Did soil development limit spruce *(Picea abies)* expansion in the Central Alps during the Holocene? Testing a palaeobotanical hypothesis with a dynamic landscape model. Journal of Biogeography 38, 933–949.

Höhn, L., Leunda, M., Gobet, E., Tinner, W., Schwörer, C., 2022. Vegetation response to rapid climate change during the Lateglacial – Early Holocene transition at Gola di Lago, southern Switzerland. Boreas. https://doi.org/10.1111/bor.12578

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Kaltenrieder, P., Tinner, W., Ammann, B., 2005. Zur Langzeitökologie des Lärchen-Arvengürtels in den südlichen Walliser Alpen. Botanica Helvetica 115, 137–154.

Lotter, A., 1999. Late-glacial and Holocene vegetation history and dynamics as shown by pollen and plant macrofossil analyses in annually laminated sediments from Soppensee, central Switzerland. Vegetation History and Archaeobotany 8, 165–184. https://doi.org/10.1007/BF02342718

Rey, F., Gobet, E., Schwörer, C., Hafner, A., Szidat, S., Tinner, W., 2020. Climate impacts on vegetation and fire dynamics since the last deglaciation at Moossee (Switzerland). Climate of the Past 16, 1347–1367. https://doi.org/10.5194/cp-16-1347-2020

Rey, F., Gobet, E., Schwörer, C., Wey, O., Hafner, A., Tinner, W., 2019. Causes and mechanisms of synchronous succession trajectories in primeval Central European mixed *Fagus sylvatica* forests. Journal of Ecology 107, 1392–1408. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13121

Schwörer, C., Colombaroli, D., Kaltenrieder, P., Rey, F., Tinner, W., 2015. Early human impact (5000–3000 BC) affects mountain forest dynamics in the Alps. Journal of Ecology 103, 281–295. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12354

Schwörer, C., Henne, P.D., Tinner, W., 2014. A model-data comparison of Holocene timberline changes in the Swiss Alps reveals past and future drivers of mountain forest dynamics. Global Change Biology 20, 1512–1526. https://doi.org/10.1111/gcb.12456

Schwörer, C., Leunda, M., Alvarez, N., Gugerli, F., Sperisen, C., 2022. The untapped potential of macrofossils in ancient plant DNA research. New Phytologist 235. https://doi.org/10.1111/nph.18108

Thöle, L., Schwörer, C., Colombaroli, D., Gobet, E., Kaltenrieder, P., van Leeuwen, J., Tinner, W., 2016. Reconstruction of Holocene vegetation dynamics at Lac de Bretaye, a high-mountain lake in the Swiss Alps. The Holocene 26, 380–396.https://doi.org/10.1177/0959683615609746

Tinner, W., Hubschmid, P., Wehrli, M., Ammann, B., Conedera, M., 1999. Long-term forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. Journal of Ecology 87, 273–289. https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00346.x

Tinner, W., Lotter, A. F., 2001. Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. Geology 29, 551–554.

Tinner, W., Lotter, A.F., 2006. Holocene expansions of *Fagus silvatica* and *Abies alba* in Central Europe: where are we after eight decades of debate? Quaternary Science Reviews 25, 526–549.

Tinner, W., Theurillat, J.-P., 2003. Uppermost limit, extent, and fluctuations of the timberline and treeline ecocline in the Swiss Central Alps during the past 11,500 years. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 35, 158–169.

# Büsselimoos – Wertschätzung eines Kleinmoors bei Bern

## Exkursion der Naturforschenden Gesellschaft Bern vom 11. und 18.5.2021

**Autor**

**Gaston Adamek**

Die erste Exkursion der Naturforschenden Gesellschaft Bern nach dem 1½-jährigen Corona-bedingten Unterbruch führte uns unter der Leitung von Prof. Paul Ingold und mit Unterstützung von Dr. Erika Gobet ins Büsselimoos, ein kleines Hochmoor nördlich von Bern. Zum Jahresthema «Zeitreisen» werden in der Folge nebst unserer doppelt durchgeführten Exkursion die frühe und neuere Geschichte dieses Moores wie auch mögliche Szenarien für dessen Entwicklung in nächster Zukunft erläutert. Insbesondere soll die Bedeutung dieses gefährdeten Gewässerreliktes im Naherholungsgebiet von Bern und das allfällige Potential als Forschungsobjekt hervorgehoben werden.

Aufgrund der über 30 Exkursionsangemeldeten und den Corona-Schutzmassnahmen wurde die frühabendliche Exkursion zweimal durchgeführt, am 11. und am 18. Mai 2021, einmal bei Regen und einmal bei ± bedecktem Himmel. Nach einem 300 m langen Spaziergang vom Besammlungsort am Nordrand des Riederenwaldes, südlich von Niederlindach, erreichten wir das im Waldesinnern in voller «Büsselipracht» des Wollgrases stehende Büsselimoos – man fühlte sich in eine verträumte skandinavische Landschaft versetzt *(Abb. 1)*.

Beim knapp einen Kilometer langen Rundgang um das Moor wurden mehrere Aufenthalte eingeschaltet, um spezifische Aspekte des Moors näher zu erläutern. Am Nordrand des Moors, wo der kantonale Naturschutz zwei Stelen mit Informationen aufgestellt hat, erfolgten erste umfangreichere Erläuterungen der beiden Leitenden. Im nun folgenden Bericht werden die besprochenen Themenkreise weniger dem Exkursionsverlauf als vielmehr den spezifischen Inhalten entsprechend angeordnet sein.

## Das Büsselimoos – ein ökologisches Kleinod

Es ist erstaunlich, dass das Büsselimoos, 5 km nördlich von Berns Zentrum, anders als das in der Nähe liegende Lörmoos, selbst Biologen kaum bekannt ist. Gründe mag es verschiedene geben. Während das Lörmoos bereits 1947 unter Naturschutz gestellt wurde, erfolgte dies beim Büsselimoos erst 1983. Das Büsselimoos liegt etwas abgelegener von der Verkehrsroute und ist mit seinen knapp 2½ ha eigentlicher Moorfläche rund 2½-mal kleiner als das Lörmoos *(Abb. 2)*. Über das Lörmoos liegen vielfältige Publikationen vor; zum Büsselimoos wurden in den letzten Jahrzehnten v. a. einige Untersuchungsberichte zuhanden des kantonalen Naturschutzes verfasst (Berger 1970 [1984], Grossenbacher 1981, Peter & Urech 1998, Haab 2013). Die umfangreiche Publikation «Das Büsselimoos – ein Zeuge der Eiszeit» von Ingold-Tardent & Lutz, welche 2011 ebenfalls in den Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern erschienen ist, kann als Lektüre sehr empfohlen werden; sie enthält vielfältige Angaben, auf die in diesem Bericht nicht in allen Belangen zurückgegriffen werden wird.

Hochmoore wie das Büsselimoos sind im Mittelland trotz diverser Eingriffe wohl die noch natürlichsten Ökosysteme, Relikte einer einst moorreichen Landschaft. Seit der Annahme der Eidgenössischen Volksinitiative «zum Schutz der Moore – Rothenthurm-Initiative» von 1987 müssen alle schweizerischen Flach- und Hochmoore von nationaler Bedeutung geschützt werden. Nach Schätzung von Grünig et al. (1986) dürften in der Schweiz 80–90 % der Hochmoore verschwunden sein, im Mittelland wohl mehr. Ab dem 13. Jahrhundert setzte die Hauptentwaldung des Mittellandes ein, sodass im 18. Jahrhundert Holz so zur Mangelware wurde, dass im grossen Stil der Abbau von Torf zu Heizungszwecken begann (Bühlmann 1918). Früh & Schröter stellten bereits

**Abb. 1: Das Büsselimoos vom Nordrand aus gesehen. Hinten das dominierende Scheidige Wollgras *Eriophorum vaginatum* mit den weissen Fruchtständen. Vorne Pfeifengras *Molinia caerulea* und Stöcke der Flatterbinse *Juncus effusus*. Im Hintergrund die Aussichtsplattform.**
Foto: P. Martignoli, 18.5.2021.

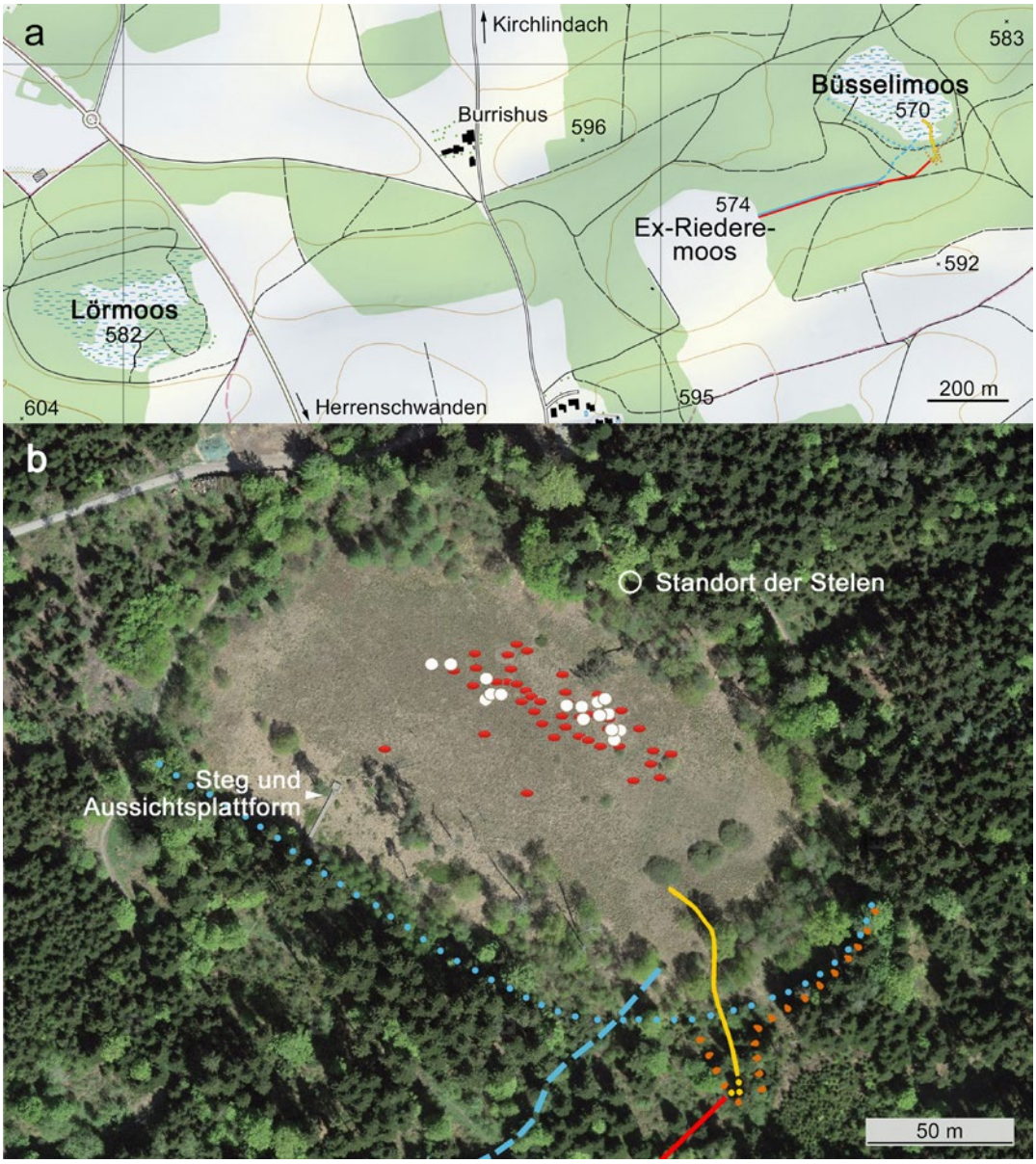



**Abb. 2: a) Kartenausschnitt mit dem Büsselimoos, dem Lörmoos und dem Bereich des ehemaligen Riederemooses (bearb. Swisstopo-Karte).**
***Blaue Linie:*** **Ursprünglicher Riedere-Ableitungsgraben zum Büsselimoos; unterbrochene Linie: Heute zugeschütteter Graben. –** ***Rote Linie:*** **Spätere direkte Rohrzuleitung zu den Sickerschächten** ***(Gelbe Punkte). – Gelbe Linie:*** **Ebenfalls mit Rohrleitung versehener Verbindungsgraben vom 12 m tiefen Versickerungsschacht ins Büsselimoos (gemäss K. Grossenbacher). –** ***Punktierte blaue Linie:*** **Ursprünglicher Entwässerungsgraben. Heute funktionslos. Im Südosten nur teilweise vorhanden. –** ***Braune Böschungssymbole:*** **In den Landeskarten 1930 bis 1953 ist ein kurzer Graben Richtung heutigem Versickerungsschacht markiert.**
**b) Luftbild des Büsselimooses von 2018 (bearb., Swisstopo, Geo Admin CH 2021b).**
**Bereich mit roten Ovalen (Rundblättriger Sonnentau) und weissen Punkten (Weisse Schnabelbinse) zeigt den bestentwickelten Hochmoorabschnitt an (gemäss GPS-Aufnahmen vom 28.6. [R. S.] und 30.7.2021 [W. S.] durch K. Grossenbacher). Zuordnung der übrigen Vegetationseinheiten siehe Ingold-Tardent & Lutz (2011) S. 110.**
***Farbige Linien:*** **wie oben erläutert.**

1904 fest, dass von den rund 5½-tausend in einer Schweizerkarte eingetragenen Moore schon 62 % verschwunden waren. Im 20. Jahrhundert verschwanden zahlreiche weitere Moore nebst der Torfgewinnung vor allem durch Meliorationen zur Neulandgewinnung (Küchler et al. 2018, Restbestand siehe auch Geo Admin CH 2021a). So verschwand auch das zwischen Lör- und Büsselimoos gelegene Riederemoos, wovon später noch berichtet wird. Umso mehr gilt es nun, dem Büsselimoos Sorge zu tragen und vermehrt Achtung zu schenken.

## Zur nacheiszeitlichen Entwicklung des Büsselimooses

Das Hochplateau mit dem Riederen- und Lörwald wird durch mit Drumlins versehene Moränenablagerungen der letzten Vergletscherung gebildet (Würm II vor 27–17 ka). Obwohl in dieser Gegend Rhone- und Aaregletscher während der Eiszeiten verschiedentlich zusammenstiessen, besteht der Plateauschotter beim Büsselimoos ausschliesslich aus Aarematerial (Iisler 2005; Gerber deutete diese 1927 noch als Rhonegletscher-Moränen). Unter dem Büsselimoos liegen auf dem Sockel der Unteren Süsswassermolasse rund 25 m Karlsruhe-Schotter aus dem Vorstoss und 10–20 m Moräne aus dem Rückzug des Aaregletschers. Diese Moräne kann in unmittelbarer Umgebung des Büsselimooses (wie auch des Lörmooses) bei Drumlins bis 20 m höher liegen, was darauf hindeutet, dass dessen ursprünglicher See in einem Toteisloch entstanden ist.

Die Paläoökologin Erika Gobet erläuterte uns kurz ihr Fachgebiet und nahm uns mit auf eine Zeitreise zurück in die Entstehungsgeschichte des Büsselimooses. Da dieses allerdings palynologisch noch nicht untersucht wurde, stellte sie uns das Prinzip der Pollenanalyse zur Rekonstruktion vergangener Vegetationsperioden an mitgebrachten Bohrkernen des Burgäschisees dar *(Abb. 3).* Bei paläoökologischen Untersuchungen werden in Seesedimenten bzw. Sedimenten ehemaliger Seen, so auch in Hochmooren, die Zusammensetzung der Pollenarten wie auch andere konservierte pflanzliche und tierische Reste zum Nachbilden vergangener Zustände von Ökosystemen analysiert.

An einem stehenden Gewässer mit keinem oder nur geringem Zufluss wie dem ehemaligen «Büsselisee» sei zuerst die Sedimentbildung und die anschliessende Hochmoorbildung erläutert. In der Mulde des nacheiszeitlichen Toteislochs bildete sich nach dem Ausschmelzen des mit Obermoränen- und Schmelzwasserschutt überdeckten Toteisrestes ein Moränensee mit vorerst

**Abb. 3: Exkursionsteilnehmende aufmerksam den Referierenden und dann (Bild darunter) der spärlichen, untergehenden Sonne zugewandt. Erika Gobet erläutert an 1500-fach zu grossen Pollenkörnern und an einem Bohrkern-Einschluss des Burgäschisees paläoökologische Probleme. Paul Ingold stellt den «Tausendsassa Torfmoos» vor.**
Fotos: U. Maag, G. Adamek.

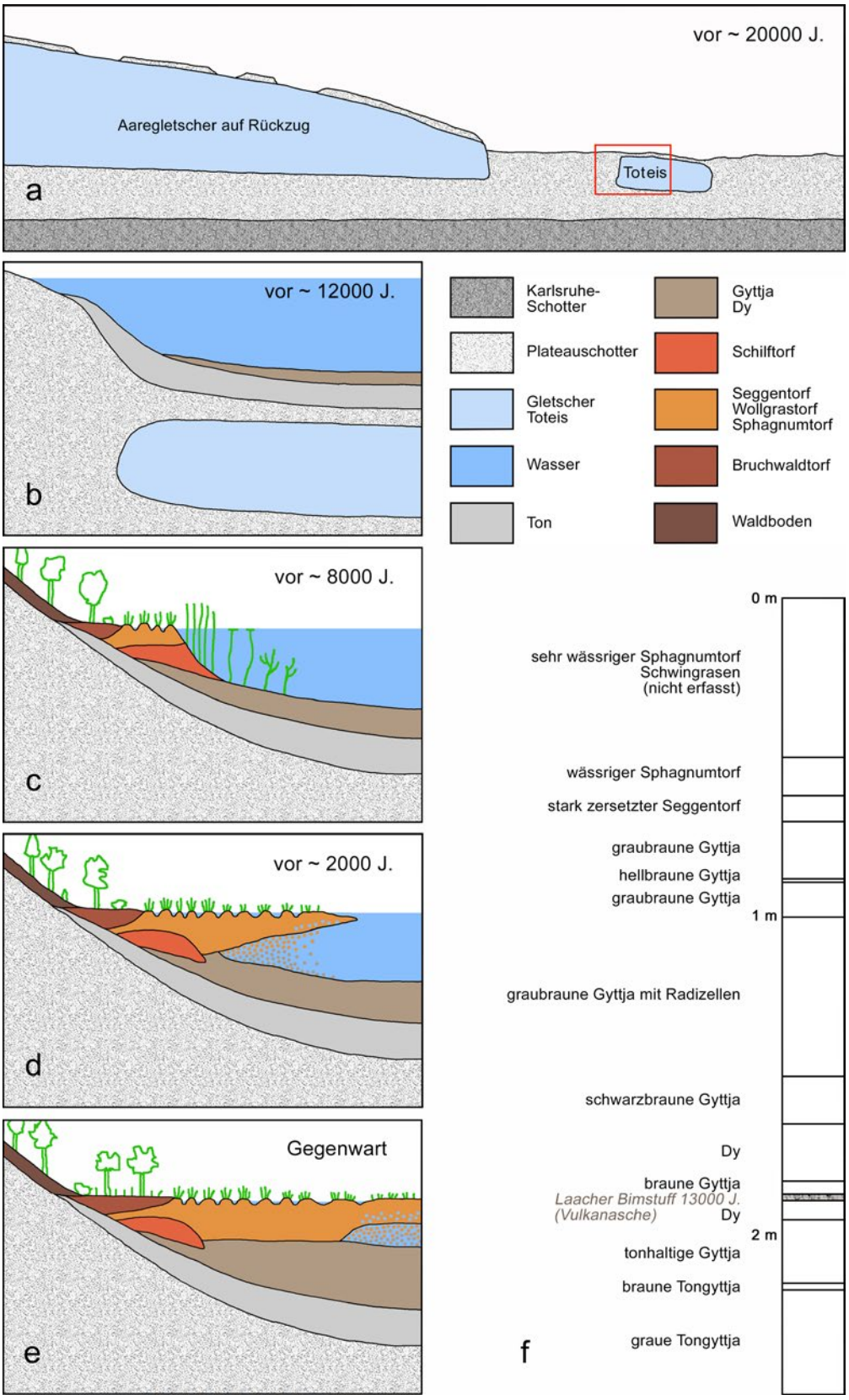



**Abb. 4: Vereinfachte Darstellung der möglichen Entwicklung des Lör- bzw. des Büsselimooses. Als Grundlage die Arbeiten von Overbeck 1975, Lang 1984, Zwahlen 1985, Succow & Joosten 2001. Dazu die Stratigraphie einer Kernbohrung im Lörmoos (Wegmüller 1970)**
**a) Aaregletscher während des letzten Eiszeitrückzugs. Vorgelagert ein Toteisblock (rotumrandetes Rechteck: Bereich der Darstellungen der *Abb. 4b–4e).***
**b) Während der jüngeren Tundrazeit begann die Toteisseebildung mit dem Austauen des verschütteten Toteisrestes und der Wasserfüllung der entstandenen Toteishohlform. Es bildeten sich erste Ton- und Gyttjaablagerungen.**
**c) Periphere Verlandung durch unterschiedliche Vegetationsgürtel mit organischen Ablagerungen.**
**d) In See vorstossender Schwimmrasen bei gleichzeitiger Bildung neuer Gyttjen.**
**e) Vom Schwimmrasen vollständig überwachsene Seeoberfläche mit restlicher Gyttjenbildung und zunehmender Hochmoorbildung.**
**f) Stratigraphie der Lörmoos-Bohrung vom 9.11.1970 mit Laacher Bimstuff als zeitlichem Marker.**

recht grossem mineralischem Gehalt *(Abb. 4a–b).* Im benachbarten Lörmoos wurden bis zu einem Meter dicke Tonablagerungen gefunden, welche den See sowohl gegen unten wie auch gegen oben abgedichtet haben, während dies heute für das Moor gilt. Mit dem Aufkommen der weiteren Umgebungsvegetation und schliesslich der sukzessiven Verlandung reicherten sich die Sedimente vermehrt mit organischem Material an, sodass sich sogenannte Gyttjen (Grauschlammböden, Mudden) bildeten: vorerst Ton-Gyttja (je nach Bohrung 40–100 cm), danach Detritus-Gyttja (50–210 cm). Darüber Cyperaceen-Torf («Seggentorf») (20–110 cm) und *Sphagnum*-Torf (20–90 cm) (Zwahlen 1985, *Abb. 4c–e).* Das ursprünglich eher basisch-oligotrophe Seewasser wurde mit zunehmender Eutrophierung saurer, um schliesslich bei zunehmender Schwingrasen- und Torfbildung noch saurer und wiederum nährstoffärmer zu werden. Dass sich das Klima und somit die Wasserqualität und die Zufuhr von organischem Material im Verlaufe der Jahrtausende mehrfach änderte, zeigt sich in der Schichtfolge eines stratigraphischen Kernbohrung-Profils des Lörmooses (Wegmüller 1970, *Abb. 4f).* Zweimal befindet sich in diesem Profil auch eine Dy-Ablagerung. Diese schmierigen Sedimente entstehen in humusreichen, sog. dystrophen Braunwasser-Seen durch Ausflockung von Humuskolloiden (Schönborn 2003). Zur Entwicklung eines Schwingrasens, wie er im Lörmoos vorliegt, wird später im Abschnitt zu den Torfmoosen näher eingegangen. Eine besondere Schicht im Lörmoosprofil, welche sicherlich auch im Büsselimoos zu finden wäre, ist eine einige Millimeter dicke grauschwarze Ablagerung von Vulkanasche. Diese Laacher-Bimstuff-Asche ist ein guter Zeitmarker, denn sie stammt von einem vor 13 000 Jahren entstandenen Vulkanausbruch in der Nähe vom heutigen Koblenz – 450 km nördlich von Bern (Verbreitungskarte der sog. Laacher See Tephra in Lang 1994)! Die Darstellungen in *Abb. 4a–e* zur möglichen Entwicklung des Büsselimooses sind somit sehr vereinfacht. Wie es bei einem Hochmoor zur Überhöhung gegenüber dem ursprünglichen Seespiegel kommen kann, wird später beim Vorstellen des Torfmooses *Sphagnum* erläutert.

In den Bohrkernen lassen sich Pollen, Sporen, pflanzliche und tierische Makroreste nachweisen. Pollen von Insektenblütlern stammen aus der näheren, von Windblütlern auch aus der weiteren Umgebung. An den erläuterten Bohrkernen des Burgäschisees wurden sowohl pollenanalytische Untersuchungen durchgeführt (Rey et al. 2017) als auch Analysen zum Vorkommen gewässertypanzeigender Zuckmückenarten, dies anhand der chitinisierten Larvenkopfkapseln (Bolland et al. 2020). Zwahlen (1985) konnte in seinem Profil vom Lörmoos rund 70 Pflanzen nachweisen. Aufgrund ihrer Häufigkeiten und Lage im Profil lassen sich somit Zuordnungen zu einzelnen Zeitepochen bzw. zu damals vorliegenden Vegetationstypen machen. Aufgrund der damals vorherrschenden Pflanzen lassen sich auch Rückschlüsse auf das Klima ziehen. In *Abb. 5* sind neun Holzarten in ihrer relativen (Pollen-)Häufigkeit dargestellt, welche für gewisse Zeitepochen charakteristisch sind: in frühen Kälteepochen Birke und Föhre, in folgenden Wärmephasen Hasel, Eiche, Linde und Ulme, gefolgt von Buche und schliesslich Tanne und Fichte, welche beide auch anthropogen gefördert wurden. Die plötzliche enorme Zunahme der *Sphagnum*-Sporen im letzten Jahrtausend deutet darauf hin, dass das Lörmoos (und wohl auch das Büsselimoos) erst dann zu einem seebedeckenden Übergangs-/Hochmoor wurde. Im Lörmoos-Profil fehlt ein grosser Abschnitt des Atlantikums und Subboreals, welcher in der Abbildung der Anschaulichkeit wegen in etwa mit Ergebnissen aus einer Untersuchung von Rey et al. (2020) am Grossen Moossee ergänzt wurde. Das Fehlen dieses Materials einer Periode lässt sich nicht klar begründen. Bekannt sind langandauerndes Fehlen von Moorwachstum aufgrund zunehmender Trockenheit, Überschwemmung oder Beschattung bei zunehmender Bewaldung; ebenso könnten die Auswirkungen des Schwingrasens eine Rolle spielen. Solche Wachstumveränderungen waren meist nicht grossklimatisch, sondern lokal bedingt (Lang 1994, Schönborn 2003). Der Bohrkern von Zwahlen (1985) war knapp 4 m lang mit 1½ m Torfmächtigkeit. Im Büsselimoos wurde bei mehreren Bohrungen eine zum Teil über 2 m messende Torfmächtigkeit festgestellt (Lehmann 1984), sodass sich an geeigneter Stelle sicher eine pollenanalytische Untersuchung lohnen würde. Es wäre interessant zu sehen, ob das Atlantikum und Subboreal im Büsselimoos ähnlich gering vertreten sind wie im Lörmoos.

## Botanisches

In der Arbeit von Ingold-Tardent & Lutz (2011) wird die Flora des Büsselimooses sehr ausführlich beschrieben. Mittels GPS-Vermessung wurde eine Vegetationskarte der grösseren Vegetationseinheiten erstellt. Im vom Wald umgrenzten Moorgebiet wird zentral ein Hochmoor umgrenzt, welches ca. ⅓ des Büsselimooses umfasst. Diesem schliessen sich peripher zwei Bereiche eines Übergangmoores mit Seggen-, Binsen- und Pfeifengrasbeständen an, dann ein Birken-Moorwald, ein Waldföhren-Bestand und drei Typen eines Erlenbruchs. In den letzten Jahren wurde allerdings durch Baumfällaktionen des Naturschutzes einiges verändert. Typische Hochmoorpflanzen wie die Torfmoose *Sphagnum,*

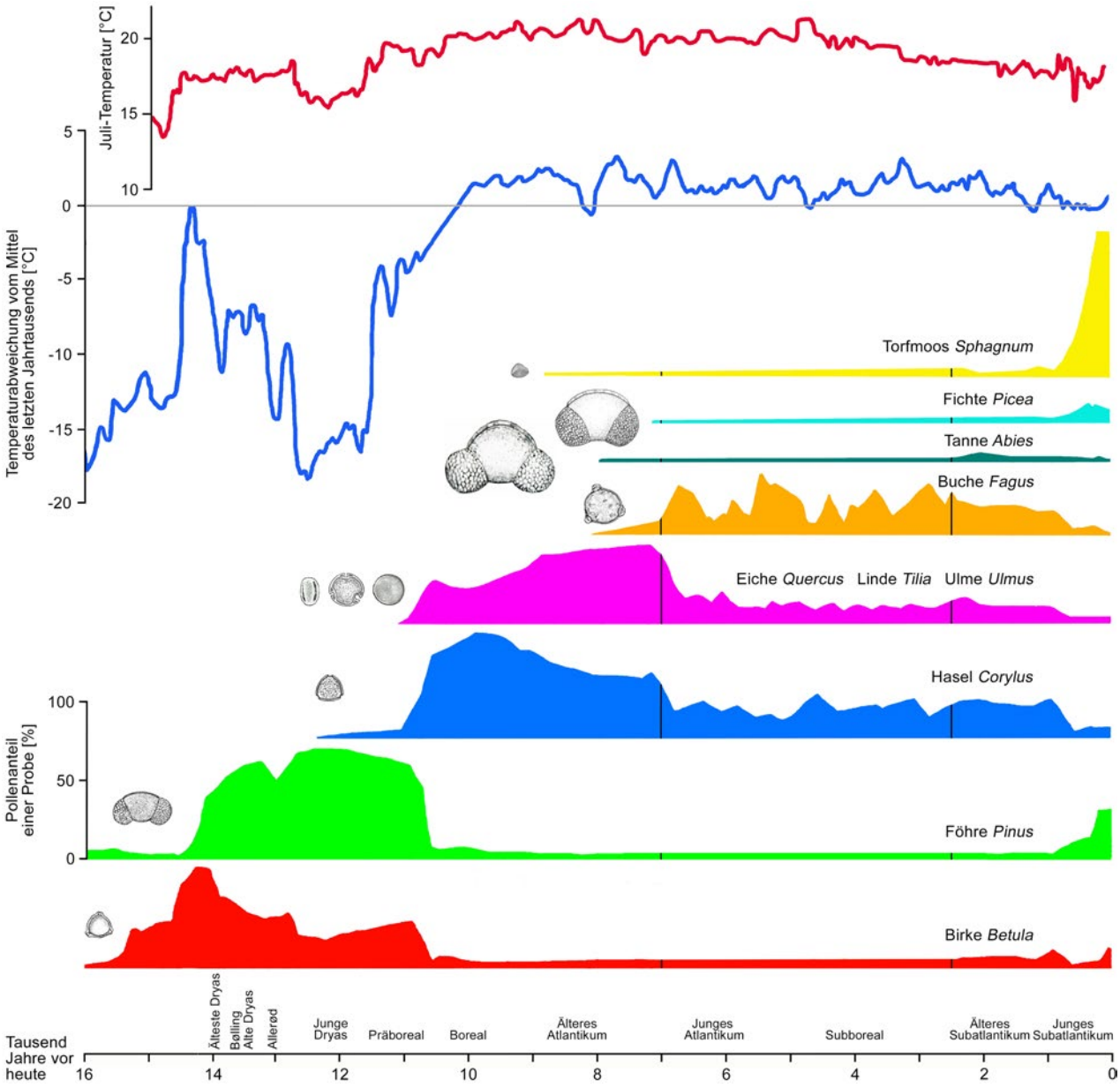



**Abb. 5: Vegetationsperioden der letzten 16-tausend Jahren aufgrund pollenanalytischer Untersuchungen am Beispiel des dem Büsselimoos benachbarten Lörmooses (Zwahlen 1985, Welten 1982). Chronostratigraphische Zuordnung in Anlehnung an Rey et al. (2020). Im fehlenden Bereich zwischen 2,5- und 7-tausend Jahren BP ergänzt mit Daten des 7 km entfernten Grossen Moossees, durch senkrechte Striche in den Grafiken markiert (Rey et al. 2020). Lufttemperaturverläufe, basierend auf sechs Aufzeichnungen subfossiler Chironomiden aus den nördlichen und zentralen Schweizer Alpen und Ostfrankreich, adaptiert auf die Höhe von Bern *(rote Linie,* Heiri et al. 2015) und anhand der Sauerstoffisotopen-Verhältnisse in einem grönländischen Eisbohrkern *(blaue Linie,* ZAMG 2022). Abgebildete Pollen und *Sphagnum*-Spore in entsprechendem Grössenverhältnis; Breite des *Abies*-Pollens: 140 µm.**

das Scheidige Wollgras *Eriophorum vaginatum,* die Weisse Schnabelbinse *Rhynchospora alba* und der Rundblättrige Sonnentau *Drosera rotundifolia* werden später eingehender besprochen. Bedenklich ist jedoch, dass zwei typische Hochmoorpflanzen, die Gemeine Moosbeere *Vaccinium oxycoccos (Oxycoccum quadripetalus)* und die Rosmarinheide *Andromeda polifolia,* dreizehn Jahre nach deren letzter Registrierung von 1998 (Peter & Urech) nicht mehr nachgewiesen werden konnten.

Den Autoren war klar, dass eine scharfe Abgrenzung dieser Vegetationsbereiche in natura nur beschränkt möglich ist. Selbst innerhalb dieser Bereiche lassen sich Klein- und Kleinstbereiche mit unterschiedlicher Pflanzenzusammensetzung und Struktur unterscheiden. Wohl auch deshalb wurde auf pflanzensoziologische Zuordnungen verzichtet. Auf solche ökologisch bedingte Mikrobereiche soll später noch eingegangen werden.

Ganz allgemein gelten Hochmoore als saure Ökosysteme. Auf unserer Exkursion haben wir sowohl im südöstlichen Bereich des Moors als auch vom Steg aus im südwestlichen Bereich einen pH-Wert von 4,2 gemessen. Dies entspricht den Literaturwerten nach einem nährstoffarmen, sogenannt dystrophen, Moor. Freigesetztes $CO_2$ reicht durch seine Kohlesäurebildung für die entsprechende pH-Senkung nicht. Die beiden Gymnasiasten Franz Baumann und Urs Leupold, welche bereits 1939 das Büsselimoos mit grossem Aufwand untersuchten, stellten fest, dass nach dem Eintauchen eines weissen Blattes Papier, dieses in 40 cm Tiefe des braunen Wassers nicht mehr zu sehen war. Dies beruht auf den aus dem Torf freigesetzten Huminsäuren, welche zu Huminen polymerisieren, Eisen-Ionen binden und zudem, wie der Torf generell, als Kationenaustauscher wirken. So wird durch die $H^+$-Freisetzung der pH-Wert entsprechend erniedrigt und durch die Elektrolyten-Bindung das Wasser nährstoffarm (Schönborn 2003).

An dieser Stelle soll auf wenige Arten eingegangen werden, welche im eigentlichen Hochmoorbereich vorkommen und sich auch dort noch in speziellen Nischen vorfinden. Dabei ist es ohne genauere Untersuchungen kaum zu beurteilen, ob die Pflanzen nun acidophil oder alkaliphob sind oder inwiefern sie aus Konkurrenzgründen sich in diesem Extremmilieu einnisten.

## Torfmoos

Vorerst hat uns Paul Ingold «das Torfmoos» vorgestellt, welches die Grossfläche des Hochmoores dominiert. Im Büsselimoos gibt es nicht weniger als 7 der im Kanton Bern und auch schweizweit vorkommenden 27 *Sphagnum*-Arten, die meist nur durch mikroskopische Untersuchung genau bestimmt werden können (Bagutti & Hofmann 2007). Diese und weitere von der Spezialistin Heike Hofmann bestimmten hochmoortypischen Moose des Büsselimooses sind bei Ingold-Tardent & Lutz (2011) in einer Liste mit zusätzlichen Standortkriterien aufgeführt.

Bereits bei der Schwingrasenbildung während der späteren Kleinseeverlandung spielten Sphagnen eine wesentliche Rolle *(Abb. 4d–e).* Solche schwimmenden Deckenbildungen, die sich dem jeweiligen Wasserstand anpassen, sind gemäss Succow & Joosten (2001) in mesotroph- und oligotroph-sauren Gewässern die Regel. Vortreibend ist das schwimmende Spiess-Torfmoos *Sphagnum cuspidatum,* in dessen Teppich sich Wurzeln von Seggen, Wollgras u. a. Sumpfpflanzen ausbreiten. Darauf können sich dann weitere Torfmoose wie etwa das Mittlere Torfmoos *Sphagnum magellanicum* ausbreiten (Ellenberg 1996). Unter der stets dicker werdenden Schwingdecke bildet sich durch die Zersetzung abgestorbener Pflanzenteile ein breiig-suppiger Schlamm, welcher sich dauernd als Gyttja absetzt (Overbeck 1975). Im Lörmoos ist ein Schwingrasen noch vorhanden, im Büsselimoos kaum. Berger schrieb 1970 von «wenig tragbarer Vegetationsdecke in der grossen zentralen Fläche». Ob es damals einen Schwingrasen gab?

Im Hochmoor des Büsselimooses überwächst *Sphagnum* kissenartig viele der Bulten des Scheidigen Wollgrases. Die verschiedenen *Sphagnum*-Arten bevorzugen unterschiedliche Standorte. So lassen sich z. B. das Spitzblättrige Torfmoos *Sphagnum capillifolium* vor allem auf Bulten, das Spiess-Torfmoos *Sphagnum cuspidatum* vor allem in Schlenken, das Trügerische Torfmoos *Sphagnum recurvum subsp. mucronatum* sowohl in Schlenken wie auch auf Bulten und das häufige Kahnblättrige Torfmoss *Sphagnum palustre* in allen Feuchtbereichen finden (Ellenberg 1996) – von entsprechenden Beobachtungen hat der Schweizer Pionier der Torfforschung Leo Lesquereux bereits 1844 berichtet.

Beim Büsselimoos bildet sich Ende Winter im Übergangsmoor auf der Südostseite oft ein See, der meist nicht in den Hochmoorbereich hineinreicht. Das zeigt, dass Letzterer offensichtlich etwas höher liegt. Gemäss Ellenberg (1996) sind Hochmoore im Tiefland Mitteleuropas weitgehend flach, können aber unter idealen Bedingungen mehrere Meter über die nassere Randzone hinausragen. Allgemein beruht der Name Hochmoor darauf, dass die Pflanzen über den mittleren Wasserstand hinausgewachsen sind und ausschliesslich vom nährstoffarmen Regenwasser gespiesen werden. Deshalb werden Hochmoore auch als Regenmoore bezeichnet. Dieses Wachstum beruht nebst idealen Umweltbedingungen auf speziellen physiologischen und insbesondere morphologisch-anatomischen Eigenheiten der Torfmoose.

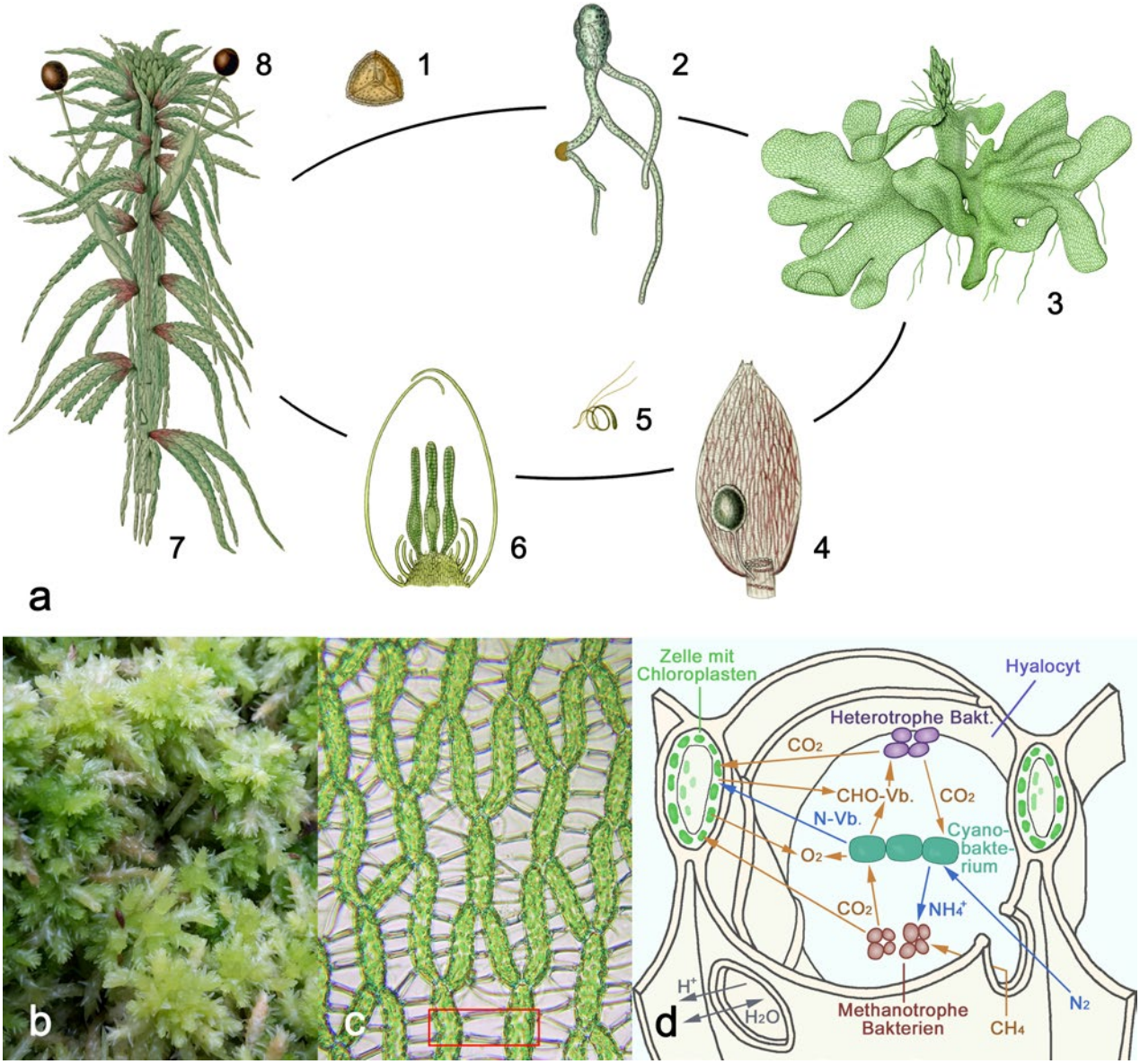



**Abb. 6: Das Torfmoos *Sphagnum*.**
**a) Generationswechsel. *Gametophyt* (haploid): (1) Spore. (2) Aus Spore ausgekeimter fädiger Vorkeim (Protonema) mit Zellknötchen (beginnendes Prothallium). (3) Thalloser Vorkeim (Prothallium) mit wachsendem Moospflänzchen; Wurzelfäserchen am Vorkeim und am Moospflänzchen. (4) Antheridium am Stängel mit Tragblatt. (5) Spermatozoid. (6) Drei Archegonien, mittleres mit Eizelle, an Stängelspitze (Schnittzeichnung). (7) Moospflänzchen. *Sporophyt* (diploid): (8) Kapselstiel mit Sporenkapsel. (Unterschiedliche Massstäbe, nach Schimper 1858 zusammengestellt).**
**b) Ausschnitt aus *Sphagnum*-Polster mit wassergesättigten Pflänzchen.**
**c) Mikroskopischer Ausschnitt eines 1-zellschichtdicken Blattes von *Sphagnum palustre* (von unten, Scharfstellung auf Höhe der chloroplastenhaltigen Zellen). Netz von chlorophyllhaltigen Zellen. Dazwischen mit Verstärkungsringen versehene Hyalocyten (z.T. Poren erkennbar). Rotumrandetes Rechteck: Ausschnitt des Blockdiagramms d.**
**d) Querschnitt durch *Sphagnum*-Blatt mit Stoffwechselvorgängen des Mikrobioms innerhalb des Hyalocyten. Bakterien übermässig vergrössert (nach Kostka et al. 2016).**
Fotos: G. Adamek.

Morphologisch-anatomische Merkmale der Torfmoose haben schon frühe Systematiker beschrieben und exakte Abbildungen sind bereits aus dem 18. Jh. bekannt. Nachdem der als «Moosschimper» benannte Wilhelm Philipp Schimper mit zwei Kollegen ein sechsbändiges Werk über europäische Moose veröffentlicht hatte, erschien 1857 ein über 100-seitiges Buch über Sphagnen, aus welchem für die *Abb. 6a* einige Darstellungen zu deren Entwicklung übernommen wurden. Aus der haploiden Torfmoosspore wächst zunächst ein fädiger Vorkeim (Protonema), welcher danach im Gegensatz zu anderen Moosen flächig thallos wird; solch thalloide Vorkeime (Prothallium) können sich (zumindest unter Laborbedingungen) auch regenerativ aus Bruchstückchen des Moospflänzchens bilden (Zhao et al. 2019). Das *Sphagnum*-Prothallium enthält im Gegensatz zum Farn-Prothallium keine Geschlechtsorgane. Aus einem solchen Prothallium sprosst das ebenso haploide gefässlose Moospflänzchen mit Stängel, Blättchen wie auch Würzelchen und bildet schliesslich in separaten Knospen männliche Geschlechtsorgane (Antheridien) und/oder weibliche Geschlechtsorgane (Archegonien), wobei es sowohl ein- wie zweihäusige Sphagnen gibt. Erst aus der befruchteten Eizelle wächst eine bestielte diploide Sporenkapsel hervor, in welcher sich wiederum haploide Sporen bilden; Lesquereux nahm sich die Zeit und zählte in einer Kapsel «environ 2 691 000» Sporen.

Wie alt die einzelnen *Sphagnum*-Pflänzchen werden ist unbekannt und ebenso, ob in einem Hochmoor neue Moospflänzchen aus Sporen entstehen. Bekannt ist nur, dass der Teppich dieser Moospflänzchen pro Jahr unter guten Bedingungen 1–2 cm wächst und durch den Abbau im Basisbereich, wo längst keine Würzelchen mehr bestehen und Stängel und Blättchen dauernd zu Torf umgewandelt werden, das Torfwachstum 1–2 mm beträgt. Dass der Hochmoorbereich des Büsselimooses nur wenig über den mittleren Wasserstand hinausreicht, beruht vielleicht darauf, dass sich während langzeitlichen Moorwachstumsphasen der früher vorhandene Schwingrasen stets dem Wasserstand anpasste.

Wie schaffen es aber die Moospflänzchen, insbesondere auf den Bulten, zu ihrem notwendigen Wasser und zu ihren notwendigen Nährstoffen zu kommen? Die eine Zellschicht dicken Blättchen der Torfmoose bestehen aus netzartig angeordneten lebenden Zellen, welche der Fotosynthese dienende Chloroplasten enthalten. In den «Netzlücken» hat es jeweils eine abgestorbene grosse Zelle (Hyalocyt), welche dank grosser Pore Regenwasser aufnehmen und speichern kann *(Abb. 6b–c).* Düggeli (1903) zeigte, dass je nach Art ein Pflänzchen gegenüber dem lufttrockenen Zustand mehr als das 20-Fache des Gewichtes an Wasser aufnehmen kann. Ingold wies auf die Bedeutung von Bakterien und Pilzen hin. Neuere Untersuchungen zeigen, dass sich in diesen Wasserzellen ein den lebenden Zellen nützliches Mikrobiom einstellt, indem dort z. B. methanotrophe und stickstofffixierende Bakterien bis zu 30 % des *Sphagnum*-Kohlenstoffs bzw. -Stickstoffs bereitstellen (Kostka et al. 2016, *Abb. 6d).* Sphagnen enthalten zudem sehr viel Galacturonsäure, bei Bulten- mehr als bei Schlenken-Arten. Diese vermag selbst Spuren von Nährstoff-Kationen zu binden (Spearing 1972).

### Scheidiges Wollgras und Weisse Schnabelbinse

Beim Blick auf das Büsselimoos ist der erste Eindruck, dass dort die Gräser dominieren *(Abb. 1).* Von den echten Gräsern gibt es peripher Bestände des Blauen Pfeifengrases *Molinia caerulea,* doch überwiegen die Scheingräser. Mindestens vier Seggenarten und die Flatterbinse *Juncus effusus* gibt es ebenfalls eher peripher, während das Scheidige Wollgras *Eriophorum vaginatum* weitgehend und die seltene Weisse Schnabelbinse *Rhynchospora alba* ausschliesslich im eigentlichen Hochmoorbereich vorkommen. Das Scheidige Wollgras ist nebst dem Torfmoos die häufigste Pflanze des Hochmoors und im Mai/Juni mit seinen weissen Wollhaarköpfchen, den «Büsselis», der grosse Blickfang. Das Büsselimoos hat seinen Namen aufgrund des «frühsommerlichen Meeres» der «Büsselis» bekommen.

Die «Büsselipracht» des Wollgrases zurzeit unserer Exkursion stellten keine Blütenstände sondern Fruchtstände dar. Das Wollgras blüht bereits im März/April mit unscheinbar kleinen Blüten und die «Büsselis» im Mai/Juni bestehen aus einer grossen Anzahl behaarter Früchte, welche aus botanisch-anatomischer Sicht wohl einmalig sind. Wollgräser sind, wie die anderen Scheingräser, stammesgeschichtlich Abkömmliche lilienartiger Pflanzen, in deren ursprünglichem Blütenaufbau die 3er-Zahl vorliegt. Blütenhülle (Perigon) mit 3 äusseren + 3 inneren Blütenblättern, 3 äusseren + 3 inneren Staubblättern, 3 verwachsenen Fruchtblättern. Die Flatterbinse weist denselben Blütenaufbau auf, nur dass das Perigon etwas häutig ist und oft der innere Staubblattkreis fehlt *(Abb. 7a).* Bei der Schnabelbinse verwandelten sich die Perigonblätter zu bis doppelt so vielen Borsten, der innere Staubblattkreis verschwand, der äussere enthält 2 bis 3 Staubblätter und die Frucht wurde einsamig *(Abb. 7b);* sie blüht erst im Sommer, weiss sind aber nur deren Hochblätter. Beim Wollgras entwickelte sich einzigartig ein sich gänzlich von der 3er-Zahl verabschiedeter perigonaler Borstenhaarkreis, aus dem bis über 80 Wollhaare entstehen – somit bildet sich eine perigonbehaarte Flugfrucht *(Abb. 7c–d).* Vermuteten wir doch, dass diese Büsselis exklusiv sind.

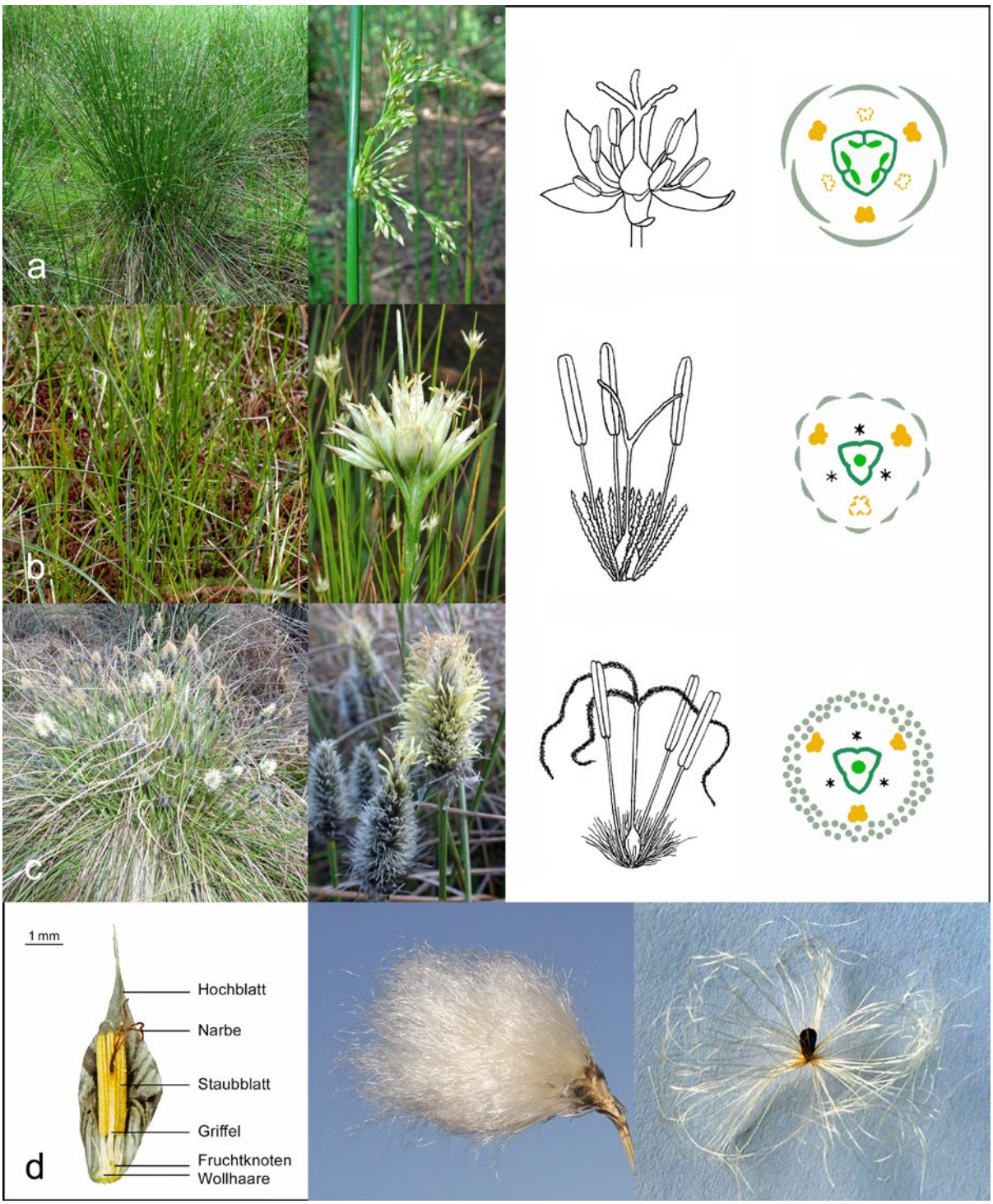



**Abb. 7: Gegenüberstellung dreier charakteristischer Gräser und ihrer Blüten des Büsselimooses: Flatterbinse *Juncus effusus* (a), Weisse Schnabelbinse *Rhynchospora alba* (b) und Scheidiges Wollgras *Eriophorum vaginatum* (c).**
**a, b, c) Bulte, Blütenstand, Blüte und Blütendiagramm (nach Sitte et al. 1998, abgeändert).**
**d) Junge Blüte des Scheidigen Wollgrases mit Hüllblatt, Fruchtstand «Büsseli», Flugfrucht mit ausgewachsenen Perigonfäden («Wollhaare»).**
Fotos: F. Alsaker, K. Grossenbacher, G. Adamek, P. Ingold.

### Rundblättriger Sonnentau

Leider konnten wir auf unserer Exkursion eine weitere im Mittelland selten gewordene Spezialität nicht sehen, den Rundblättrigen Sonnentau *Drosera rotundifolia,* weil das Moor nicht betreten werden darf. Sie wächst im ausgeprägtesten Hochmoorbereich, auch zu weit von der Aussichtsplattform entfernt, als dass sie von da aus gesehen werden könnte. Zum Glück kann man den Sonnentau im Lörmoos vom Moorpfad aus sehen. Im Büsselimoos hat es gemäss einer kürzlichen Bestandesaufnahme von Kurt Grossenbacher noch eine ansehnliche Anzahl *(Abb. 2b).*

Der Rundblättrige Sonnentau kann sich auf den *Sphagnum*-Kissen trotz des dortigen grossen Nährstoffmangels behaupten *(Abb. 8).* Veganismus ist nicht seine Sache, er zählt zu den karnivoren Pflanzen und scheint sich so mit für ihn wichtigen Nährstoffen einzudecken. Die Pflanze muss schon je die Menschen durch sein Aussehen fasziniert haben. Allein im deutschen Sprachraum sind rund zwanzig Namen bekannt (Pritzel & Jessen 1882); der uns geläufige Name Sonnentau stammt sicher von den im Sonnenlicht leuchtenden Klebesekrettröpfchen an den Spitzen seiner Fangtentakeln. Auch der Namensgeber des wissenschaftlichen Namens, Carl von Linné, wählte 1753 den griechischen Ausdruck *Drosera,* was Tau bedeutet. 15 Jahre später beschrieb Albrecht von Haller den Rundblättrigen Sonnentau lateinisch als *«Rorella* kahler Stiel, wenigblütig, Blätter gestielt, rundlich» (mit dem Hinweis, dass Linné den Gattungsnamen *Drosera* verwendet). Unter diversen Fundorten nennt er «In *Torfeto Löhr. Circa Kilchlindach».* Mit *«Torfeto Löhr»* ist sicher das Lörmoos gemeint, während «Circa *Kilchlindach»* wohl eher eine nähere Ortsangabe für das Lörmoos ist, als dass er damit das Büsselimoos meint.

Dass der Sonnentau eine insektenfressende Pflanze ist, hat aber erst Charles Darwin 1875 in seinem Werk «Insectivorous Plants» nachgewiesen. Akribisch be-

**Abb. 8: Der Rundblättrige Sonnentau *Drosera rotundifolia.***
**a) Blattrosette mit sich ausrollendem Stängel. b) Einzelblatt mit Klebstoff besetzten Tentakeln und zwei Beutetieren.**
**c) Zwei Blütenstände.**
Fotos: M. Bendel, F. Alsaker.

schreibt er auf weit über 200 Seiten seine (z. T. recht ausgefallenen) Experimente mit Insekten, festen Materialen und Chemikalien bei *Drosera rotundifolia.* Nach seiner Beobachtung erfolgten die Tentakelbewegungen zur Blattmitte hin je nach Zustand in Minuten oder länger – also gemütlich nach Bernerart. Unter den über 200 *Drosera*-Arten gibt es aber welche, deren Tentakeln in gemessener Blitzeseile von 17 Millisekunden Beutetiere ins Blattzentrum schleudern (Poppinga et al. 2012, Hartmeyer & Hartmeyer 2016).

Interessant ist, dass bisher kaum jemand je genau hingeschaut hat, welche Insektenarten durch den Sonnentau gefangen werden; Dipteren, also Fliegen und Mücken, scheinen die weitaus häufigsten Beutetiere zu sein. Nun liegt erstmals eine Publikation vor, in welcher für drei australische Sonnentau-Arten mittels DNA-Metabarcoding von auf den Blättern hinterlassenen Beutetier-DNA-Spuren und mit begleitender Makrofotografie vor Ort 92 Arthropodenfamilien nachgewiesen werden konnten, knapp die Hälfte auf Gattungsebene und knapp ein Fünftel auf Artebene (Krueger et al. 2022). Auf der Büsselimoos-Exkursion ist auch die Frage aufgetaucht, wie der Sonnentau die Insekten anlockt. Ist es die rote Farbe der Blätter? Experimente mit roten und grünen Attrappen haben keinen Erfolg bzgl. rot gebracht – zudem ist anzunehmen, dass die Dipteren (alle?) die rote Farbe gar nicht erkennen können, sodass diese bestenfalls als Kontrastton wirken könnte (Food et al. 2014). Auch Duftstoffe sind bei *Drosera rotundifolia* bisher nicht nachgewiesen worden, obwohl bei einigen *Drosera*-Arten Blatt- oder Blütendüfte abgegeben werden (Fleischmann 2019). Vielleicht ist es doch nur der glitzernde Klebstoff, der Insekten anlockt, oder es bleibt dabei, dass sie sich rein zufällig niedersetzen. Interessant ist jedoch, dass Sonnentaupflänzchen, welche mit niederen Dosen von Stickstoff gedüngt werden, weniger Klebstoff bilden, also weniger Energie für die Karnivorie einsetzen (Thorén et al. 2003).

Von Haller nennt bei seiner Vorstellung von *Rorella (Drosera)* gemäss verschiedener Autoren auch dessen Verwendung. Eher aussergewöhnlich ist die Bemerkung, dass der Sonnentau warme Ziegenmilch zum Gerinnen bringe; in Schweden und anderen nordischen Ländern wurde zum Herstellen von eingedickter Milch, Tätmjölk, Sonnentau *Drosera ssp.* wie auch Fettkraut *Pinguicula vulgaris* verwendet (Dalby 2009). Medizinische Anwendungen sind dieselben, die noch in heutigen Heilpflanzenbüchern stehen, z. B. bei Entzündungen der Atemwege. Die Wirkstoffe sind bekannt. Berechtigterweise sind alle vier *Drosera*-Arten der Schweiz und die der meisten europäischen Länder geschützt. Dass jedoch heute für pharmazeutische Produkte in Europa (insbesondere auch in der Schweiz) kaum kultivierte, jedoch tonnenweise europäische und vor allem bereits gefährdete afrikanische Wildpflanzen-*Drosera* verarbeitet werden, ist sicher skandalös, da doch Ersatzprodukte angeboten werden (Baranyai & Joosten 2016).

## Zoologisches

Wenn sich der Vollblutornithologe Paul Ingold mitten in seinem Referat selbst unterbricht, muss es einen zwingenden Grund geben … «I wett do no grad uf dä schön Gsang vor Singdrossle ufmerksam mache. Si het ganz verschideni Motiv, wo si mehrmous widerhout: Eine vo de schönschte Gsäng do im Waud.» Etwas später: «Das isch wider dr Buntspächt!» Wirbeltiere, die ans Hochmoor gebunden sind, gibt es in unseren Breitengraden nicht. Als Besucher des Büsselimooses, meist wohl im peripheren Bereich, haben die beiden Gymnasiasten Franz Baumann und Urs Leupold während ihren halbjährigen Beobachtungen 1939 über zwanzig Vogelarten aufgelistet, dabei bei Hochwasser auch Stockenten und Blässhühner. Sie beobachteten nebst Reh, Fuchs und Hase (wohl nicht, als sich diese gute Nacht sagten), Teich- und Laubfrosch. Es wurden aber auch Kreuzkröte, Grasfrosch, Bergmolch sowie die Wald- oder Mooreidechse *Zootoca vivipara,* die wohl kälteunempfindlichste und eurasienweit verbreitetste Echse, beobachtet, wie bei Ingold-Tardent & Lutz (2011) eingehender dargestellt wurde.

Gliederfüssler sind im Büsselimoos kaum untersucht worden. Aber es werden von Baumann & Leupold (1939) verschiedene Libellen erwähnt, so die Hufeisen-Azurjungfer *Coenagrion puella,* die Grosse Königslibelle oder Teufelsnadel *Anax imperator* oder *Libellula*-Larven. Die beobachteten Schmetterlinge stammen meist aus der Umgebung des Büsselimooses; häufig trifft man den Zitronenfalter *Gonepteryx rhamni,* dessen Raupen sich von Kreuzdorngewächsen wie dem zahlreich vorhandenen Faulbaum ernähren (Ingold-Tardent & Lutz 2011). Im Lörmoos sind die Spinnen sehr gut untersucht (Holzapfel 1937, Hänggi & Maurer 1982). Da im Büsselimoos wesentlich grössere offene Flächen als im Lörmoos vorliegen, haben letztere lückenhaft auch da gesammelt. In beiden Gebieten wurden allerdings keine hochmoortypischen Spinnen gefunden.

Harnisch (1944) bezeichnet als wesentliches, scharfes Charakteristikum der Fauna der Hochmoorgewässer das strenge Fehlen von Organismen, deren Vorkommen nach dem Habitus des Biotops zu erwarten wäre. In den unberührten, mitteleuropäischen Hochmoorgewässern fehlen nach ihm: Manche Rädertiere (Rotatorien), fast alle Wenigborster (Oligochaeten), die Egel (Hirudineen),

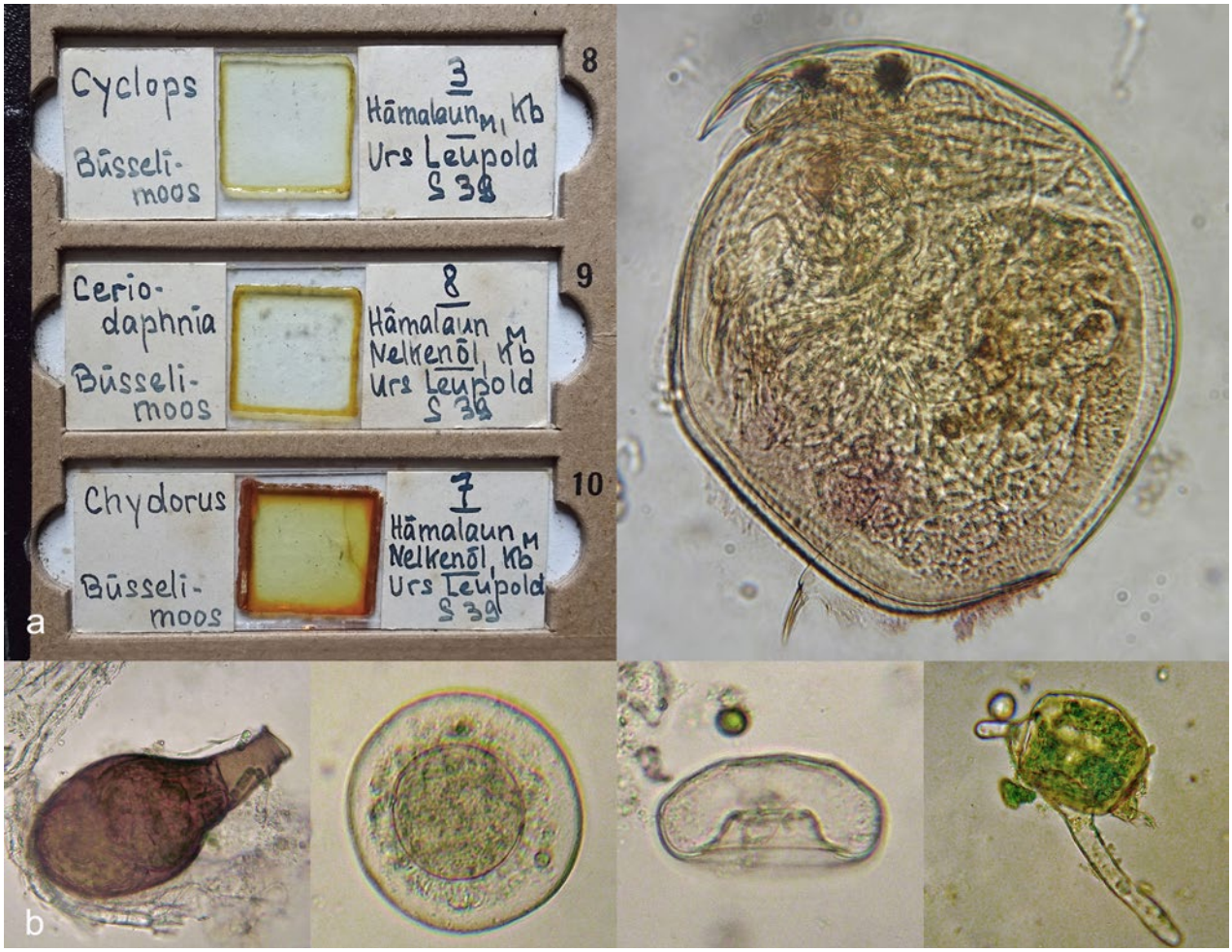



**Abb. 9: Beispiele der Wirbellosenfauna des Büsselimooses.**
**a) Kleine Hommage an den Gymnasiasten und späteren Professor für Mikrobiologie Urs Leupold, dessen mikroskopische Präparate der Arbeit Baumann & Leupold (1939) noch existieren. Rechts: ein Linsenkrebs *Chydorus sphaericus* von seinem Präparat.**
**b) Schalenamöben (Testacea) aus einer Wasserprobe eines ausgepressten *Sphagnum*-Büschels. Ganz rechts: Wahrscheinlich eine Amöbe mit intrazellulär symbiontischen Algen und mit Pseudopodien.**
Fotos: G. Adamek.

die Höheren Krebse (Malacostracen), von den Wasserflöhen (Cladoceren) *Daphnia* und *Simocephalus,* die Muschelkrebse (Ostracoden), viele Ruderfusskrebse (Copepoden) wie *Cyclops fuscus, C. albidus* und die Centropagiden, viele Insektenlarven (z. B. *Culex, Sialis,* Eintagsfliegen), die Mollusken, Fische und Amphibien. Er weist darauf hin, dass der tiefe pH-Wert oder die Giftigkeit von Huminsäuren nicht als alleinige Begründung für das Fehlen bestimmter Arten herangezogen werden kann, sondern dass entsprechende physiologische Untersuchungen zeigen müssten, inwieweit auch osmoregulatorische Gründe eine Rolle spielen.

Klein- und Kleinstwassertiere wurden einige wenige von Baumann & Leupold (1939) untersucht. Im benachbarten Lörmoos hat sich Häberli (1918) intensiv mit der Wasserfauna befasst und über 200 Arten beschrieben, leider ohne die Insektenlarven. So stellte er nicht weniger als 30 beschalte Amöbenarten fest, welche z. T. in den Hyalocyten der *Sphagnum*-Blättchen leben *(Abb. 9)*. Von Häberli gefundene Arten dieser Amöben (wie auch Wimpertierchen) enthalten im Zellplasma symbiontische fotosynthetisierende Algen, die teilweise verdaut werden – eine Anpassung an die Nährstoffarmut (Schönborn 2003, Ortner 2017). Gemäss Harnisch u. a.

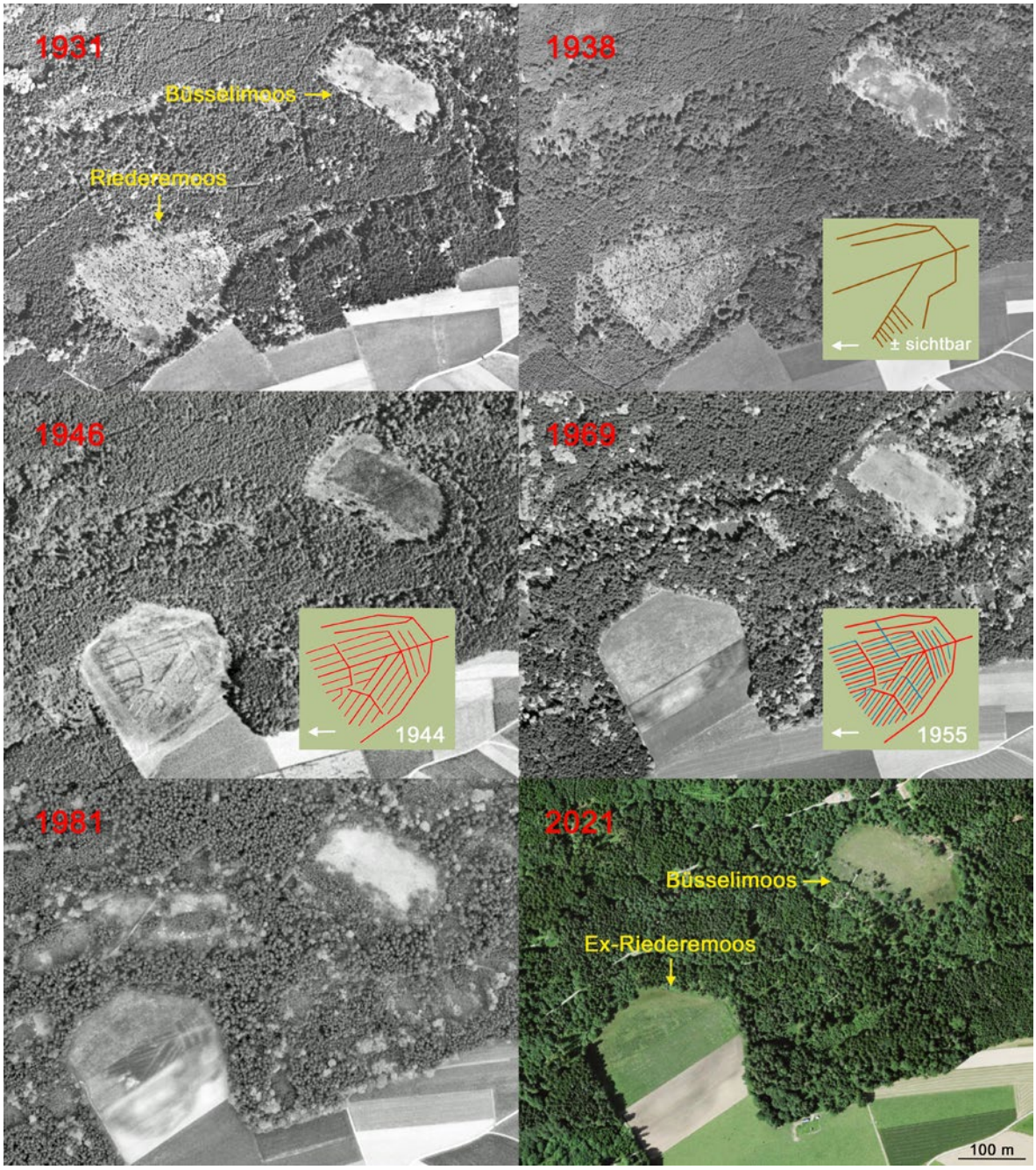



**Abb. 10: Veränderungen des Riedere- und Büsselimooses anhand von Luftbildern 1931 bis 2021.**
**1931: Riederemoos, im Gegensatz zum Büsselimoos mit vielen Bäumen.**
**1938: Die bei Baumann & Leupold (1939) erwähnte Riederemoos-Entwässerung ist an ersten Abflussgräben erkennbar.**
**1946: Umfassenderes Entwässerungssystem. Bäume im Riederemoos und am Südrand gelegene Waldpartie wurden 1944 entfernt. Offene Fläche im Büsselimoos durch zusätzliche Rodung erweitert.**
**1969: Erweitertes Entwässerungssystem (wahrscheinlich 1955) im Ex-Riederemoos, Weide und Ackerland.**
**1981: Entwässerungssystem im tiefstgelegenen Bereich des Ex-Riederemooses teilweise erkennbar.**
**2021: Im Vergleich zu 1931 ist sichtbar, dass beim Büsselimoos der Steg mit der Aussichtsplattform im ursprünglich bewaldeten Teil liegt (vergleiche *Abb. 2b).***
**(Geo Admin CH 2021b und Plan des Kantonalen Meliorationsamtes, ergänzt.)**

gibt es hochmoorspezifische Zuckmückenarten (Chironomidae), die auch im Büsselimoos zu erwarten sind.

## Zustand und Zukunft des Büsselimooses

Vorliegende Untersuchungsberichte, welche z. T. vom kantonalen Naturschutzinspektorat in Auftrag gegeben wurden, zeigen, dass trotz vordergründig ausserordentlicher Schönheit des Büsselimooses und trotz der erfreulichen Vielfalt an Pflanzen und Tieren der Zustand wohl einiges an Natürlichkeit verloren hat.

In seinem sorgfältigen Bericht über die Hoch- und Übergangsmoore des Kantons Bern beschreibt Grossenbacher (1980) treffend den Zustand dieser Moore, insbesondere hält er auch fest, dass die Mittellandmoore infolge menschlicher Eingriffe, seien es Entwässerung, Torfstich oder Nährstoffzufuhr, an Qualität verloren haben. So sind auch unsere beiden stadtnahen «Perlen» Lörmoos und Büsselimoos nicht verschont worden. Torfstich erfolgte im Büsselimoos höchstwahrscheinlich keiner oder dann nur in geringstem, nicht mehr erkennbaren Ausmass. Im Lörmoos wurde dagegen in der Mitte des 19. Jh. Torf gewonnen, wohl durch Sträflinge des Zuchthauses Bern. Wie der damalige Naturschutzinspektor Karl Ludwig Schmalz (1977) klar begründen konnte, erfolgten die von Historikern beschriebenen äusserst umfangreichen Torfgewinne des Burgerspitals Bern im 18. Jh. im sog. «Möösli in der Löhr» in Moorflächen rund 1 km westlich des Lörmooses. Eine massive Wasserabsenkung im Lörmoos von 1917 wurde gemäss Grossenbacher nach der Unterschutzstellung von 1947 nicht rückgängig gemacht.

Erhebliche Eingriffe im Büsselimoos betreffen auch den Wasserstand. Früher war dieser im Büsselimoos zeitweise viel höher als heute. Nach Baumann und Leupold brüteten vor 1939 sogar Stockenten und Blässhühner. Aber es wurde auch immer wieder versucht, das Moor trockenzulegen; davon zeugen die angelegten Gräben. Gegenwärtig wird sowohl zusätzlich Wasser hinzugefügt als auch Wasser abgeführt. Baumann und Leupold halten bereits 1939 fest, dass das Büsselimoos durch einen von der landwirtschaftlichen Schule Rütti, nach Landeskarte etwas vor 1930, angelegten Abflussgraben aus dem «Beerimoos» (= Riedere(n)moos) gespiesen werde *(Abb. 2a–b),* der den Wasserstand beeinflusse. Ihre zusätzliche Bemerkung, dass das für die chemische Beschaffenheit des Büsselimooses keine Bedeutung habe, da auch dieses ein Hochmoor sei, dürfte für damals gegolten haben – für heute stimmt dies aber nicht mehr, wie gleich erläutert wird. Einen weiteren, heute funktionslosen, Entwässerungsgraben gibt es auf der Südwestseite des Büsselimooses; früher gab es ihn auch entlang des südlichen und östlichen Bereichs *(Abb. 2b,* blau punktiert). Dieser hatte im südlichen Bereich evtl. Anschluss an einen kurzen Graben Richtung heutigem Versickerungsschacht (siehe Landeskarten 1930 bis 1953) *(Abb. 2).* Zusammen mit dem Rohrleitungssystem wurden zwei Auffangschächte und ein 12 m tiefer Versickerungsschacht erstellt. Dieser wurde durch einen ca. 50 m langen Graben mit dem Büsselimoos verbunden. Hier durch führt auch eine Röhre vom Schacht ins Moor.

Der Eingriff beim Riederemoos ist anhand der Luftaufnahmen gut zu sehen *(Abb. 10).* 1931 sind beim doppelt so grossen Riederemoos im Waldinnern kaum Eingriffe zu erkennen – etliche locker verteilte Holzgewächse sind im Gegensatz zum Büsselimoos vorhanden. In der Landeskarte von 1929 ist jedoch der in *Abb. 2* eingetragene Entwässerungsgraben im Waldinnern vom Riedere- zum Büsselimoos bereits eingezeichnet. 1938 sind mehrere bei Baumann & Leupold (1939) erwähnte Entwässerungsgräben bewerkstelligt. Schmidlin, der Präsident des Bernischen Entomologischen Vereins, klagte 1947: «Mit grossem Bedauern musste im Frühjahr festgestellt werden, dass das Riederenwaldmoor bei Herrenschwanden, ein günstiger Fangplatz [für Insekten] in der Nähe Berns, der letzten Anbauetappe zum Opfer gefallen war.» Luftbilder von 1946 und 1947 zeigen, dass während des Zweiten Weltkrieges das Gebiet gerodet und drainiert wurde. Seither wird dort sowohl intensive Landwirtschaft betrieben als auch eine Ökowiese gepflegt. In den 1950er-Jahren wurde das Drainagesystem stark erweitert. Seither wird das Drainagewasser direkt durch eine Röhre in das erwähnte Schachtsystem beim Büsselimoos geleitet. Damit gelangt heute bei starken Niederschlägen von da aus sicher mit Dünger belastetes Wasser via die Verbindungsgrabenröhre ins Moor. Durch die verzögerte Versickerung im Schacht wird bei langanhaltenden starken Regenfällen das Büsselimoos über längere Zeit um bis mehrere Dezimeter überschwemmt und somit mit unerwünschten Nährstoffen versehen (Haab 2013, *Abb. 11).*

1983 wurde das Büsselimoos nach langen Bemühungen unter kantonalen Schutz gestellt (Forter 1984). Viele waren daran beteiligt: Mitglieder der Naturschutzkommission der Naturforschenden Gesellschaft Bern mit Otto Hegg als Präsidenten, Vertreter der Gemeinde Kirchlindach und Bremgarten und das Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, das den Schutz vollziehen konnte. Die beiden Grundeigentümer hatten schliesslich eingewilligt, das Moor unter Schutz stellen zu lassen, nachdem Paul Ingold Kontakt aufgenommen und mit ihnen verhandelt hatte. Früheren Schutzbestrebungen hatten sie stets eine Absage erteilt.

**Abb. 11: Wasserstandsschwankungen im Büsselimoos.**
**a) Hochwasserstand nach Regenphase am 5.8.2021. Am 20.8.2021 hatte sich das Wasser nach einer Regenpause zurückgezogen.**
**b) Hochwasserstand am 5.8.2021 im Verbindungsgraben vom Moos zum Sickerschacht. Derselbe Graben am 26.9.2021; das Wasser hatte sich wieder zurückgezogen.**
**c) Blick in den alten Entwässerungsgraben vom Ex-Riederemoos, welcher eine Rohrleitung enthält.**
**d) Zwei überwachsene Sickerschächte und ein Überlauf im 12 m tiefen Schacht zeugen nicht von Kontrolle und Pflege.**
Fotos: P. Ingold, G. Adamek.

Einerseits will man der Bevölkerung das Moor nahebringen, anderseits muss man es auch vor ihr schützen, einerseits greift man mit massiven Pflegemassnahmen im Schutzgebiet ein, anderseits schiebt man notwendige «Wiedergutmachungs»-Massnahmen (v.a. verhindern, dass weiterhin Drainagewasser vom Riederemoos ins Büsselimoos gelangt), da schwieriger zu realisieren, seit Jahrzehnten auf die lange Bank.

Seit der angenommenen eidgenössischen Moorschutzinitiative müssen Flach- und Hochmoore von nationaler Bedeutung unter Schutz gestellt und nötigenfalls gepflegt werden. Um das Büsselimoos der Bevölkerung näherzubringen, wurde Mitte der 1980er-Jahre im südöstlichen Bereich mittels abgestützten halbierten Föhrenstämmen ein einfacher Pfad quer durch das Moor angelegt (Lehmann 1984). Er erlaubte den Blick ins nahe zentrale Hochmoor. Dieser Pfad wurde nicht zuletzt aufgrund der aufgetretenen Trittschäden wieder aufgehoben und rund 20 Jahre später durch den zuvor erwähnten Steg mit Aussichtsplattform im südwestlichen Bereich des Moors ersetzt; dieser erreicht den interessantesten Teil des Hochmoores nicht, ermöglicht aber einen schönen Überblick über das ganze Gebiet *(Abb. 12a)*.

Das Betreten des Moors ist verboten. Was zu sehen wäre, steht an den Stelen im Nordost-Bereich des Moores. Der Zugang ist dem Besucher seit dem Winter 2020/2021 sowieso durch eine 30 m lange Holzbarrikade aus gefällten Bäumen des Übergangs zum Nutzwald mit darübergelegtem Brombeer-«Stacheldraht» verwehrt *(Abb. 12b)*.

Zwei in Auftrag gegebene Untersuchungsberichte der Ökobüros Puls (Peter & Urech 1998) und Naturplan (Haab 2013) sprechen Klartext bzgl. Missstände. Deren vorgeschlagenen Verbesserungsmassnahmen wurden teilweise befolgt. Die alles entscheidende Wasserregulation, zu der diverse Varianten vorliegen, wird – wie oben erwähnt – vor sich hergeschoben. Der einzige Trost, der

**Abb. 12: Besucherlenkung und Pflegemassnahmen im Büsselimoos.**
**a) Links: Pfad aus halbierten Föhrenstämmen im südöstlichen Teil des Moors. In den 1980er-Jahren erstellt, anfangs der 1990er-Jahre aufgehoben. (Infrarot-Luftbild Swisstopo von 1992, Geo Admin CH 2021b). Rechts: Steg und Aussichtsplattform im Südwesten des Moors, im Jahre 2011 erstellt.**
**b) Links: Arbeitsgruppe bei winterlichen Rodungsmassnahmen am 14.2.2017. Rechts: Seit Winter 2020/21 steht eine 30-m-Barrikade aus Rodungsmaterial im Bereich der Informationsstelen – wohl um Menschen vom Eindringen ins Moor abzuhalten.**
Fotos: P. Ingold, G. Adamek.

vordergründig relativ gute Zustand des Büsselimooses zeigt auf, welch enorme Pufferkapazität das Moor bezüglich Nährstoffabsorbierung und Wasserstandsschwankungen aufweist. Überschwemmungen wie auch ein zu tiefer Wasserstand, wirken sich jedoch negativ auf das *Sphagnum*-Wachstum aus.

Die auf der Exkursion gestellte Frage, ob man ein solches Ökosystem nicht einfach der Natur überlassen sollte, mag berechtigt sein. Wie Ingold klarstellte, gibt es hier keine objektiven Kriterien. Eines sei aber klar: Im jetzigen Zustand würde es ohne Pflege rasch verbuschen, seltene Pflanzen würden verschwinden. Hochmoore seien zudem Archive aus vergangenen Zeiten, wie Erika Gobet eindrücklich aufgezeigt habe. Auch aus diesem Grund sind die letzten Reste dieser Ökosysteme unbedingt zu erhalten.

Obwohl Moore lediglich drei Prozent der globalen Landfläche einnehmen, binden sie bei der Torfbildung gemäss NABU (2022) ein Drittel des terrestrischen Kohlenstoffes – doppelt so viel wie alle Wälder dieser Erde zusammen. Doch durch das sich anbahnende Auftauen der arktischen Permafrostböden werden vermehrt $CO_2$ und Methan durch bakteriellen Torfabbau frei werden (DKK 2022). Im nördlichen Deutschland wird im grösseren Stil und in der Schweiz im kleineren Rahmen versucht, durch Vernässung Moorgebiete zu regenerieren

(Proff & Furtak 2022, BAFU 2009). So ist zu hoffen, dass auch im Büsselimoos bald einmal der Wasserhaushalt verbessert wird. Während die noch existierenden grossen Moorgebiete der borealen Zone eine globale Bedeutung haben, sind Moore wie das Büsselimoos nicht zu unterschätzen bezüglich ihrer lokalen Bedeutung. Das Büsselimoos ist und bleibt ein erhaltenswertes Bijou und ist ein Natur-Denkmal, das uns weiterhin Freude bereiten und zum Denken anregen soll. Als isolierte Habitatsinsel im «riesigen Meer» antropogen völlig veränderter Landschaften bietet es auch die Möglichkeit an, Forschungsprojekte in Angriff zu nehmen, die auch im grösseren Rahmen von Interesse sein könnten.

## Dank

Herzlichster Dank geht an Paul Ingold, welcher diverses Material und Informationen zur Verfügung gestellt und mit grösster Sorgfalt den Bericht korrigiert hat. Bestens bedanke ich mich bei Erika Gobet und Christoph Schwörer für die Durchsicht des paläoökologischen Kapitels und für zur Verfügung gestellte Klimadaten. Nebst Paul Ingold danke ich Françoise Alsaker, Muriel Bendel, Ueli Maag, Paul Martignoli und Kurt Grossenbacher für die überreichten Fotos – Letzterem auch für die GPS-Daten. Ursula Ohnewein-Leupold danke ich bestens für das Zurverfügungstellen der sorgsam aufbewahrten Präparate ihres Vaters. Ruedi Keller lieferte Informationen zum Entwässerungssystem und führte eine Feldbegehung durch – herzlichen Dank.

**Vom Winde verweht.**

## Literatur


BAFU (2009) Regeneration von Hochmooren. BAFU, Bern. 96 p. https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/regeneration-von-hochmooren.html

Bagutti B. & Hofmann H. (2007) Die Moose des Kantons Bern (Schweiz). Cryptogamica Helvetica 21. 320 p.

Baranyai B. & Joosten H. (2016) Biology, ecology, use, conservation and cultivation of round-leaved sundew (Drosera rotundifolia L.): a review. Mires and Peat 18(18): 1–28. http://mires-and-peat.net/media/map18/map_18_18.pdf

Baumann F. & Leupold U. (1939) Büsselimoos. Unveröffentliche Arbeit von Gymnasiasten des Gymnasiums Kirchenfeld Bern. 52 p.

Berger E. (1970) Das «Büsslimoos» im Riederenwald, Gemeinde Kirchlindach. Vegetationsaufnahme vom 23.6.1970. Bericht zuhanden des Naturschutzinspektorats des Kantons Bern. Auszug davon in: Mitt. Naturf. Ges. Bern 41: 29–32. In: FORTER D. (1984). https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=mnb-002%3A1984%3A41%3A%3A7

Bühlmann F. (1918) Die ersten Torfgrabungen im Bernbiet. Blätter für bernische Geschichte, Kunst und Altertumskunde 14: 81–91. https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bbg-001:1918:14::380#91

Dalby A. (2009) Cheese: A Global History. Reaktion Books, London. 152 p.

Darwin C. (1875/1976) Insectivorous Plants. Murray, London. 462 p. http://darwin-online.org.uk/content/frameset?pageseq=14&itemID=F1217&viewtype=text / Insectenfressende Pflanzen. Schweizerbart, Stuttgart. 412 p. https://de.wikisource.org/wiki/Insectenfressende_Pflanzen

DKK (2022) Permafrost und Ozeanerwärmung. Deutsches Klima Konsortium. https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/klimafaq-6-1.html

Düggeli M. (1903) Pflanzengeographische und wirtschaftliche Monographie des Sihltales bei Einsiedeln. Arbeiten bot. Mus. eidg. Polytech. Bd. 11. Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. Zürich 48: 49–270. https://www.ngzh.ch/archiv/1903_48/48_1-2/48_3.pdf

Ellenberg H. (1996) Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl. Ulmer, Stuttgart. 1096 p.

Fleischmann A. (2016) Olfactory prey attraction in *Drosera?* Carnivorous Plant Newsletter 45: 19–25. https://cpn.carnivorousplants.org/articles/CPNv45n1p19_25.pdf

Food G., Rice S.P. & Millett J. (2014) Red trap colour of the carnivorous plant Drosera rotundifolia does not serve a prey attraction or camouflage function. Biol. Lett.10: 20131024. http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2013.1024

Forter D. (1984) Büsselimoos. Mitt. Naturf. Ges. Bern 41: 28–32. In: Naturschutzinspektorat des Kantons Bern. Bericht 1983. https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=mnb-002%3A1984%3A41%3A%3A7

Früh J. & Schröter C. (1904) Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Serie III. Lief. Bern. Francke, Bern. 750 p. + 4 Tafeln + Karte. https://www.digitale-bibliothek-mv.de/viewer/image/PPN838250610/1/

Geo Admin CH (2021a) BAFU online-Karte der Moorlandschaften, Flachmoore, Hochmoore der Schweiz. Swisstopo, Bern. https://map.geo.admin.ch/?topic=bafu&lang=de&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&E=2667948.91&N=1212046.15&zoom=1&layers=ch.bafu.bundesinventare-moorlandschaften,ch.bafu.bundesinventare-flachmoore,ch.bafu.bundesinventare-hochmoore&layers_opacity=0.75,0.75,0.75

Geo Admin CH (2021b) Luftbilder. Swisstopo, Bern https://map.geo.admin.ch/mobile.html?lang=de&topic=luftbilder&bgLayer=ch.swisstopo.swissimage&layers=ch.swisstopo.lubis-luftbilder_schwarzweiss,ch.swisstopo.lubis-luftbilder_farbe,ch.swisstopo.lubis-luftbilder_infrarot&layers_timestamp=99991231,99991231,99991231&catalogNodes=1179,1180,1186&E=2599024.70&N=1203795.11&zoom=8&mobile=true

Gerber E. (1927) Geologische Karte von Bern und Umgebung 1:25 000. Kümmerly & Frey, Bern.

Grossenbacher K. (1980) Die Hoch- und Übergangsmoore des Kantons Bern: Eine Übersicht. Mitt. Naturf. Ges. Bern 37: 81–130. http://doi.org/10.5169/seals-319614

Grossenbacher K. (1981) Das Büsselimoos. Bericht zuhanden des Naturschutzinspektorats des Kantons Bern.

Grosvernier P. & Staubli P. (Hrsg.) (2009) Regeneration von Hochmooren. Grundlagen und technische Massnahmen. Bundesamt für Umwelt, Bern. 96 p. https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/regeneration-von-hochmooren.html

Grünig A., Vetterli L. & Wildi O. (1986) Die Hoch- und Übergangsmoore der Schweiz. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, Birmensdorf. 62 p. https://infohabitat.ch/wp-content/uploads/Die-Hoch%C2%B7-und-Uebergangsmoore-der-Schweiz-WSL-2.pdf

Haab R. (2013) Faktenblatt Moorhydrologische Situation und Optimierung «Büsselimoos». Teil eines Berichtes zuhanden des Naturschutzinspektorates des Kantons Bern.

Häberli A. (1918) Biologische Untersuchungen im Löhrmoos. Ein Beitrag zur Kenntnis der schweizerischen Moorfauna. Rev. Suisse Zool. 26: 147–231. https://www.biodiversitylibrary.org/item/40641#page/7/mode/1up

Hänggi A. & Maurer R. (1982) Die Spinnenfauna des Lörmooses bei Bern: ein Vergleich 1930/1980. Mitt. Nat.forsch. Ges. Bern 39: 159–183. http://doi.org/10.5169/seals-318484

Hartmeyer I. & Hartmeyer S.R.H. (2016) Tentakel-Dimorphismus bei Drosera rotundifolia. https://www.youtube.com/watch?v=2Mar9FhJMI4

Holm H.J. (2009/2010) Synopse der Stratigrafien der Grönland-Temperaturanzeiger. / Klimaentwicklung des Holozäns aus zwei Klima-Anzeigern grönländischer Eisbohrkerne. In: Archäologisches Lexikon – Kaltzeiten und Warmzeiten bis heute. http://www.landschaftsmuseum.de/Seiten/Lexikon/Klima-3.htm

Holzapfel M. (1937) Die Spinnenfauna des Löhrmooses. Rev. Suisse Zool. 44: 41–70. https://www.biodiversitylibrary.org/item/267819#page/55/mode/1up

Ingold-Tardent P. & Lutz M. (2011) Das Büsselimoos – ein Zeuge der Eiszeit. Mitt. Nat.forsch. Ges. Bern 68: 81–112. http://doi.org/10.5169/seals-324185

Isler (2005) Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000 Blatt 1166 Bern. Mit Erläuterungen 56 p. + 1 Tafel.

Kostka J.E., Weston D.J., Glass J.B., Lilleskov E.A., A. Jonathanshaw A.J. & Turetsky M.R. (2016) The Sphagnum microbiome: new insights from an ancient plant lineage. New Phytologist 211: 57–64. https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/nph.13993

Krueger T.A., Cross A.T., Hübner J., Morinière J., Hausmann A. & Fleischmann A. (2022) A novel approach for reliable qualitative and quantitative prey spectra identification of carnivorous plants combining DNA metabarcoding and macro photography. Scientific Reports 12: Article 4778. https://doi.org/10.1038/s41598-022-08580-8

Küchler M., Küchler H., Bergamini A., Bedolla A., Ecker K., Feldmeyer-Christe E., Graf U. & Holderegger R. (2018) Moore der Schweiz. Zustand, Entwicklung, Regeneration. Bristol-Stiftung, Zürich. Haupt, Bern. 258 p.

Lang G. (1984) Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse. Fischer, Jena. 462 p.

Lehmann, P. (1984) Projekt Wegbau im Naturschutzgebiet Büsselimoos; Gemeinde Kirchlindach, Kanton Bern. Bericht zuhanden des Naturschutzinspektorats des Kantons Bern.

Lesquereux L. (1844) Quelques recherches sur les marais tourbeux en général. Wolfrath, Neuchâtel. 307 p. https://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/23296252

MacKinnon D., Cumbers A., Pike A., Birch K. & McMaster R. (2009) Evolution in Economic Geography: Institutions, Political Economy, and Adaptation. Economic Geography 85(2): 129-150. https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2009.01017.x

NABU (2022) Die unterschätzen Klimaschützer – Moore als Klimaspeicher. https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/moore/moore-und-klimawandel/13340.html

Ortner B. (2017) Beschalte Amöben (Testaceen) und Zieralgen (Desmidiaceae) des Sphagnetums einiger österreichischer Moore. Beitr. Naturk. Oberösterreichs 24: 1–139. https://www.zobodat.at/pdf/BNO_0024_0001-0139.pdf

Overbeck F. (1975) Botanisch-geologische Moorkunde unter Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands unter besonderer Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands als Quellen zur Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte. Wachholtz, Neumünster. 719 p.

Peter K. & Urech M. (1998) Naturschutzgebiet Nr. 4.1.1.141 Büsselimoos, Pflegeplanung zuhanden des Naturschutzinspektorates des Kantons Bern.

Poppinga S., Hartmeyer S.R.H., Seider R., Masselter T., Hartmeyer I. & Steck T. (2012) Catapulting Tentacles in a Sticky Carnivorous Plant. PLOS ONE 7(9): e45735. https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0045735&type=printable

Pritzel A. & Jessen C. (1882) Die deutschen Volksnamen der Pflanzen. Neuer Beitrag zum deutschen Sprachschatze. Cohen, Hannover. 701 p. https://ia800202.us.archive.org/31/items/diedeutschenvol00pritgoog/diedeutschenvol00pritgoog.pdf

Proff I. & Furtak S. (2022) Paludikultur. Nasse Landwirtschaft. Spektr. Wiss. 22(1): 32–40. https://www.spektrum.de/magazin/paludikultur-nasse-landwirtschaft/1950061

Rey F., Gobet E., Schwörer C., Hafner A., Szidat S. & Tinner W. (2020) Climate impacts on vegetation and fire dynamics since the last deglaciation at Moossee (Switzerland). Clim. Past 16: 1347–1367. https://cp.copernicus.org/articles/16/1347/2020/

Schimper G.P. / W.P. (1857/1858) Mémoire pour servr ài l'histoire naturelle des sphaignes (Sphagnum L.) 96 p. + 24 planches. Imprimerie Impériale, Paris. https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k98640n.texteImage / Versuch einer Entwickelungs-Geschichte der Torfmoose (Sphagnum) und einer Monographie der in Europa vorkommenden Arten dieser Gattung. 96 p. + 27 Tafeln. Schweizerbart, Stuttgart. https://www.biodiversitylibrary.org/item/48011#page/1/mode/1up

Schmidlin A. (1947) Jahresbericht 1946. Entomologischen Verein Bern. Mitt. Entomol. Ges. Schweiz 20: 537-538. https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=seg-001%3A1946%3A20%3A%3A783

Schönborn W. (2003) Lehrbuch der Limnologie. Schweizerbart, Stuttgart. 588 p.

Sitte P., Ziegler H., Ehrendorfer F. & Bresinsky A. (1998) Strasburger – Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 34. Aufl. Fischer, Stuttgart. 1007 p.

Spearing (1972) Cation-Exchange Capacity and Galacturonic Acid Content of Several Species of Sphagnum in Sandy Ridge Bog, Central New York State. Bryologist 75:154–158. https://www.jstor.org/stable/3241443

Succow M. & Joosten H. (2001) Landwirtschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl. Schweizerbart, Stuttgart. 622 p.

Thorén L.M., Tuomi J., Kämäräinen T. & Laine K. (2003) Resource availability affects investment in carnivory in Drosera rotundifolia. New Phytologist 159: 507–511. https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1469-8137.2003.00816.x

Von Haller A. (1768) Historia stirpium indigenarum Helvetiae inchoate. Tomus Primus. Societatis Typographicae, Bernae. 204 p. https://www.e-rara.ch/zut/doi/10.3931/e-rara-18980

Wegmüller S. (1970) Stratigraphie einer Bohrung im Lörmoos vom 9.10.1970 anlässlich einer Exkursion mit Studierenden. Unpubliziert.

Welten M. (1982) Lörmoos. In: Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen: Bern–Wallis. Denkschriften Schweiz. Naturf. Ges. Textheft und Diagrammheft. Birkhäuser, Basel. 104 p. + 41 p. https://epic.awi.de/id/eprint/30065/4/welten1b.pdf und https://epic.awi.de/id/eprint/30065/1/welten-diagramme3.pdf

Zhao W., Li Z., Hu Y., Wang M., Zheng S., Li Q., Wang Y., Xu L., Li X., Zhu R., Reski R. & Sun Y. (2019) Development of a method for protonema proliferation of peat moss (Sphagnum squarrosum) through regeneration analysis. New Phytologist 221: 1160–1171. https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/nph.15394

ZAMG (2022) Paläoklima 20 000 Jahre. Der Übergang in die Warmzeit. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien. https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/palaeoklima/20.000-jahre

Zwahlen R. (1985) Lörmoos – Late-glacial and holocene environments of an ancient lake on the Central Swiss Plateau. Diss. Bot. 87: 171–184. In: Lang G. (Ed.) (1985) Swiss lake and mire environments during the last 15 000 years. Cramer, Vaduz.

Kontakt zum Autor: g.adamek@bluewin.ch

# Bernische Botanische Gesellschaft Jahresbericht 2021

## 1. Vorstand

Im Vorstand amtierten während des Jahres 2021:

| | |
|---|---|
| Präsidentin: | Katja Rembold |
| Kassierin: | Regina Blänkner |
| Sekretärin: | Christine Föhr |
| Exkursionen: | Adrian Möhl |
| Redaktorin: | Deborah Schäfer |
| Webmasterin: | Tabea Kipfer |
| Mitgliederbetreuung: | Christine Föhr |
| Beisitzer:innen: | Steffen Boch |
| | Stefan Eggenberg |
| | Andreas Gygax |
| | Nora Rieder |
| | Ruedi Schneeberger |
| Rechnungsrevisoren: | Max Göldi, Urs Kalbermatten |

## 2. Vorträge

Im Winterhalbjahr 2021/2022 war die Hoffnung gross, dass wieder etwas mehr Normalität, auch mit dem Coronavirus, eintreten könnte. Und tatsächlich hatten alle Vortragenden der Vortragsreihe 2020/2021 ihre Zustimmung gegeben, dass sie ihren Vortrag im Winter 2021/2022 sehr gerne halten würden. Auch der Vorstand war nun vorbereitet und plante, die Vorträge live zu halten, sie aber gleichzeitig auch für Mitglieder, die lieber im Schutz ihres Zuhauses bleiben wollten, live zu übertragen. So wurde diese spannende, vielfältige und bunte Vortragsreihe dann auch bis auf zwei der Vorträge, die wir leider absagen mussten, durchgeführt. Mal lief alles rund und mal gab es ein paar technische Schwierigkeiten – aber alle hatten Freude, dass wir doch hie und da, zumindest für eine Stunde, dem grauweissen Winter in exotische Gebiete mit wunderbaren Pflanzen entweichen konnten.

**Montag, 22. November 2021**

Muriel Bendel

*Warum nicht in die Farne schweifen? – Die Farne, Schachtelhalme und Bärlappe Mitteleuropas*

Farnpflanzen wachsen praktisch überall. Zwar besiedeln sie gerne feuchte, schattige Standorte in Wäldern und Schluchten, einige Arten wachsen aber im Blockschutt oberhalb der Waldgrenze, auf trockenen Serpentinfelsen oder im Schilfröhricht, andere schwimmen sogar auf stehenden oder langsam fliessenden Gewässern. Gewisse Arten wiederum haben vom Menschen geschaffene Lebensräume erobert und sind mitten in der Stadt in Mauerritzen oder Lichtschächten zu finden.

Genaugenommen umfassen Farnpflanzen zwei grosse Gruppen, die nicht näher miteinander verwandt sind: Die erdgeschichtlich älteren Bärlappe und ihre Verwandten werden in der Klasse der Lycopodiopsida zusammengefasst. Die erdgeschichtlich jüngere und bedeutend grössere Klasse der Polypodiopsida («Farne» im weiteren Sinne) umfasst neben den «typischen» Farnen auch die Schachtelhalme und Natternzungengewächse.

In der Schweiz sind knapp 100 Farnpflanzenarten bekannt. Diese erkennen wir meist schnell als solche – aber beim Bestimmen der Arten wird es oft knifflig. Das muss nicht sein: Es gibt gute Tricks, um den häufigsten Arten relativ schnell die korrekten Namen geben zu können.

Mindestens so spannend wie das Entdecken und Bestimmen der Arten sind die zahlreichen Geschichten, die sich um Farne ranken: So sind die Kleefarne *(Marsilea)* die einzigen bekannten Farne, die Schlafbewegungen ausführen, am Abend ihre vier Fiedern nach oben klappen und sie am nächsten Morgen wieder waagrecht ausrichten. Die rauen Sprosse des Winter-Schachtelhalms *(Equisetum hyemale)* wurden früher gesammelt, gebündelt und als Bürsten oder Schleifpapier verwendet; der englische Artname «scouring rush» (Scheuer-Binse) deutet noch auf diese frühere Nutzung hin. Und beim Adlerfarn *(Pteridium aquilinum)* können im Frühling an den sich entrollenden Wedeln Ameisen und andere Insekten beobachtet werden, die aus speziellen Strukturen zuckerhaltige Flüssigkeit naschen

Im Anschluss an den Vortrag hatten die BBG-Mitglieder noch die Chance, das Buch von Muriel Bendel und Françoise Alsaker «Farne, Schachtelhalme und Bärlappe – der Naturführer zu den Farnpflanzen Mitteleuropas», das 2021 im Haupt-Verlag erschienen ist, mit 33 % Rabatt (statt CHF 39 nur noch CHF 26) zu ergattern.

**Montag, 6. Dezember 2021**

Mathias Scharmann

*Botanische Abenteuer auf den Philippinen*

Die Philippinen sind in vielerlei Hinsicht faszinierend, aber für Pflanzenliebhaber ganz besonders anziehend

aufgrund der Vielfalt an endemischen Arten und Lebensräumen, die von Korallenstränden über tropische Regenwälder und Savannen bis ins Hochgebirge reichen. Dieser Vortrag stellte die Philippinen vor und erzählt von einer Reise auf die Inseln Luzon, Mindanao, Sibuyan und Palawan. Dabei wurden viele fleischfressende Kannenpflanzen *(Nepenthes)* und andere Entdeckungen mit ihren oft fantastischen Habitaten vorgestellt.

**Montag, 10. Januar 2022**
Katja Rembold
*Die kuriosen Beutefangstrategien von fleischfressenden Kannenpflanzen*
Die Gattung *Nepenthes* (Nepenthaceae) umfasst ca. 160 Arten fleischfressender Kannenpflanzen. Das Diversitätszentrum von *Nepenthe*s liegt in Südostasien, wobei sich das gesamte Verbreitungsgebiet von Madagaskar bis Neukaledonien und von China bis Nordaustralien erstreckt. Über all diese Regionen hinweg bietet die karnivore Ernährung den Kannenpflanzen eine zusätzliche Nährstoffquelle und erlaubt es ihnen so, ausgesprochen nährstoffarme Böden zu besiedeln oder epiphytisch zu wachsen. Die modifizierten, kannenförmigen Blätter produzieren Nektar und weisen oft süsse Düfte und leuchtende Farben auf, wodurch Beutetiere angelockt werden. Fallen diese in die Verdauungsflüssigkeit im Kanneninneren, ertrinken sie und werden enzymatisch zersetzt. Über Drüsen sind die Pflanzen in der Lage, die freigesetzten Nährstoffe aus der Flüssigkeit zu absorbieren.

Es gibt jedoch einige *Nepenthes*-Arten, die von diesem Schema abweichen und sich auf ganz bestimmte Beute spezialisieren. Zudem sind Kannenpflanzen nicht nur Todesfallen für wirbellose Tiere, sondern bieten auch Nahrung und Lebensraum für eine Vielzahl von Organismen. So stellt jede Kanne ein Miniatur-Ökosystem dar, von denen wir einige gemeinsam in diesem Vortrag entdecken durften.

**Montag, 17. Januar 2022**
Géraldine Chavey, Valentin Gfeller, Fabian Heussler, Hannah Inniger, Tobias Stöckli
*Nordkatalonien – Von der Meeresküste zu den Pyrenäengipfeln*
Nur an wenigen Orten ist es möglich, den Wechsel des Pflanzenkleides von der Meeresküste bis in die alpine Stufe in kurzer Distanz zu studieren. Nordkatalonien ist ein solcher Ort. Dort, wo die östlichen Pyrenäen in das Mittelmeer abtauchen, ist die Vielfalt an Arten, Lebensräumen und Lebensformen besonders hoch. Die Anpassungen der Pflanzen und die biogeografischen Zusammenhänge lassen sich besonders gut studieren. An diesem Vortragsabend wurden bildreich die Ergebnisse einer Studienreise von Studierenden der Universität Bern präsentiert.

**Montag, 24. Januar 2022**
Kevin Nobs
*Vielfältiges Äthiopien*
Durch die interessante geografische Lage Äthiopiens mit seinen Hochebenen und Bergen hat sich in den verschiedenen Klimazonen des Landes eine unterschiedliche Flora und Fauna ausbilden können. Von Savannen über immergrüne Feuchtwälder bis zu Regionen mit afro-alpinem Klima gibt es hier Lebensräume für viele endemische Pflanzen wie der Riesenlobelie *(Lobelia rhynchopetalum),* die wir in diesem Vortrag gemeinsam bestaunen durften.

**Montag, 14. Februar 2022**
Andreas Jürgens
*«Die Düfte des Todes», chemische Mimikry-Systeme bei Aasfliegenblumen*
Nicht alle Blüten duften so verführerisch wie Rosen oder Nelken. Manche Blütenpflanzen geben einen Geruch ab, der eher makaber anmutet. Aasfliegenblumen locken mit ihrem Duft Fliegen und Käfer an, die diesen «Duft des Todes» unwiderstehlich finden. Es handelt sich um Täuschblumen (Mimikry-Systeme), welche etwas vorgeben, was sie nicht sind, nämlich Aas oder Dung. Die Blüten haben aber nicht nur einen makabren Duft, um ihr Ziel – die Bestäubung durch Insekten – zu erreichen. Der spannende Vortrag gab Einblicke in die bizarren Gerüche, Formen und Farben dieser faszinierenden Blütenpflanzen. Anhand von Beispielen aus verschiedenen Ländern wurde die komplexe, unsichtbare Duftsprache von Blütenpflanzen mit ihrer Umwelt dechiffriert. Dabei wurden Einblicke in die Ökologie und Evolution pflanzlicher Duftstoffe gegeben und aufgezeigt, wie es Pflanzen gelingt, Tiere zu täuschen und zu betrügen.

**Montag, 28. Februar 2022**
*Jahreshauptversammlung mit Kurzvorträgen*
Wie immer mit dem legendären Büchertausch!

## 3. Exkursionen

**Samstag, 1. Mai 2021**
*Lägern – Gratvegetation im östlichen Jura*
Leitung: Jonas Brännhagen und John Spillmann

**Samstag, 22. Mai 2021**
*Was wächst da am Trottoirrand? Eine BBG-Pflanzenbeschriftungsaktion*
Leitung: Christine Föhr

**Samstag, 29. Mai 2021**
*Arten trockener Jura-Wälder und Waldränder*
Leitung: Hannah Inniger und Stefan Eggenberg

**Samstag, 19. Juni 2021**
*Die Gipfelflora des Chasserals, eine Flora Patenschaft*
Leitung: Christoph Käsermann und Nora Rieder

**Samstag, 26. Juni 2021**
*Geschichtliches und Geschichten – AHV-Rundgang im Juragarten Weissenstein*
Leitung: Regine Anderegg und Brigitta Ammann

**Samstag, 3. Juli 2021**
*Balmfluehchöpfli – eine echte Gratwanderung*
Leitung: Jonas Lüthy

**Samstag, 21. August 2021**
*Zu Besuch bei Aconitum anthora auf der La Dôle*
Leitung: Adrian Möhl

## 4. Mitgliederstand

365 Mitglieder per 31. Dezember 2021

## 5. Sitzungsberichte

Die Sitzungsberichte 2020 sind erschienen und wurden den Mitgliedern zusammen mit dem Winterprogramm zugestellt.

## 6. Exkursionsberichte

**Samstag, 1. Mai 2021**
*Lägern – Gratvegetation im östlichen Jura*
Leitung: Jonas Brännhagen und John Spillmann
Um 9.30 Uhr trafen rund 12 Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Städtchen Regensberg ZH am Ostrand der Lägern ein und wurden von den Exkursionsleitern Jonas Brännhage und John Spillmann begrüsst. Aufgrund der schlechten Wetterprognosen hatten sich ein paar Leute leider kurzfristig wieder abgemeldet. Die Leiter nahmen es dann auch gleich vorweg: An die bei gutem Wetter geplante Begehung des ganzen Lägerngrates bis Baden (AG) war an diesem Tag leider nicht zu denken! Sie versicherten aber, trotz angepasstem Programm, viele der typischen Grat- und Kalkfelsarten des Lägernfrühlings zeigen zu können.

Nach dem gemächlichen Anstieg durch die Buchen- und Mischwälder der Lägern-Ostseite trafen wir auf die typische Frühlingsflora mit Wald-Veilchen *(Viola reichenbachiana),* Frühlings-Platterbse *(Laythrus vernus),* Berg-Platterbse *(Lathyrus linifolius)* und der Wimper-Segge *(Carex pilosa)* sowie den sonst erwähnenswerten Arten Gold-Hahnenfuss *(Ranunculus auricomus aggr.)* und Hecken-Wicke *(Vicia dumetorum).* Bei bedecktem Wetter erreichten wir die Hochwacht, wo es eine kurze Kaffeepause im Restaurant gab. Danach kamen wir zu den Gratfelsen im Bereich der Burgruine Alt Lägern, ein klassischer Standort der Zürcher Botaniker, wo wir unter anderem auf die Alpen-Gänsekresse *(Arabis alpina),* den Trauben-Steinbrech *(Saxifraga paniculata)* und die Alpen-Johannisbeere *(Ribes alpinum)* trafen. Innerhalb der Ruine selbst blühten unter anderen das Frühlings-Fingerkraut *(Potentilla verna)* und die seltene Art Grosser Ehrenpreis *(Veronica teucrium).* Auf dem schmalen Gratweglein erblickten wir bald Arten wie das Wunder-Veilchen *(Viola mirabilis),* den Echten Salomonssiegel *(Polygonatum odoratum)* oder

**Das Highlight der Exkursion waren die steil gestellten Kalkschichten der Pfiffenrütiflue mit mehreren floristischen Besonderheiten.**

**Eine der Charakterarten der Lägern ist das dort häufige Langblättrige Hasenohr *(Bupleurum longifolium).***

den Berg-Lauch *(Allium lusitanicum)* und v. a. wie erhofft eine der Haupt-Zielarten und Charakterart der Lägern: das Langblättrige Hasenohr *(Bupleurum longifolium),* welches auf der Exkursion leider noch nicht blühte.

Noch vor der Mittagspause stiegen wir ein steiles Fussweglein auf der Südseite hinunter, auf welchem wir unter anderen die Graue Vogel-Wicke *(Vicia cracca subsp. incana)* und den Hirschheil *(Seseli libanotis)* sahen. Nach wenigen Minuten erreichten wir dort den eigentlichen botanischen Höhepunkt der Exkursion: Die steil gestellten Schichten der Pfiffenrütiflue mit ihren offenen Felshalden boten wie angekündigt zahlreiche bemerkenswerte und seltene Pflanzen, darunter typische Jurapflanzen und Felspflanzen, die im Kanton Zürich zum Teil nur hier wachsen. Eingegangen wurde auf die Bedeutung der Lägern, dem östlichsten Ausläufer des Kettenjuras, für die Flora des Kantons Zürich, auf die floristischen Besonderheiten des Lägerngebietes im weiteren Sinne, die interessante pflanzengeographischen Aspekte und den Wandel der Flora sowie den Naturschutzaspekten. In schönster Blüte sahen wir an den Kalkfelsen wie erhofft das Berg-Steinkraut *(Alyssum montanum)* und dazu zahlreich Felsenmispeln *(Amelanchier ovalis)*, während es für die Feuerlilie *(Lilium bulbiferum* subsp. *croceum)* leider noch etwas zu früh war. Von den vielen weiteren Arten, die wir an den Felsen und in den Geröllhalden der Pfiffenrütiflue beobachten konnten, seien hier noch erwähnt: Kleine Wiesenraute *(Thalictrum minus),* Blauer Steinsame *(Buglossoides purpurocaerulea),* Verschiedenblättrige Platterbse *(Lathyrus heterophyllus),* Blauer Lattich *(Lactuca perennis),* Turm-Gänsekresse *(Arabis turrita),* Berg-Gamander *(Teucrium montanum),* Kahle Steinmispel *(Cotoneaster integerrimus).*

**Der Blaue Steinsame *(Buglossoides purpurocaerulea)* an seinem einzigen bekannten Wuchsplatz auf der Lägern, der Pfiffenrütiflue.**

**Verschiedenblättrige Platterbse *(Lathyrus heterophyllus)* in der Kalkschutthalde bei der Pfiffenrütiflue.**

Leider verhinderte der jetzt langsam einsetzende Regen die noch vorgesehene Route bis zum Burghorn (Kantonsgrenze zum Aargau), wo noch einige weitere Arten gezeigt werden sollten. So stiegen wir durch den Buchenwald direkt nach Otelfingen ab, wo die Exkursion offiziell beendet wurde. Fazit: Obwohl wir die Gratfelsen ob Wettingen und Baden mit den speziellen Arten des Westgrates wie dem Berg-Täschelkraut *(Thlaspi montanum),* dem Lorbeer-Seidelbast *(Daphne laureola)* oder der Flaum-Eiche *(Quercus pubescens)* leider weglassen mussten, ist die Exkursion wohl dennoch gut gelungen.

**Tabelle 1: Auflistung der auf der Exkursion angetroffenen Arten, spezielle Arten sind fett geschrieben.**

| Wissenschaftlicher Name | Deutscher Name |
|---|---|
| *Abies alba* | Tanne (Weisstanne) |
| *Acer campestre* | Feld-Ahorn |
| *Acer platanoides* | Spitz-Ahorn |
| *Acer pseudoplatanus* | Berg-Ahorn |
| *Aconitum lycoctonum* subsp. *vulparia* | Gewöhnl. Gelb-Eisenhut |
| *Aegopodium podagraria* | Geissfuss, «Baumtropfen» |
| *Ajuga reptans* | Kriechender Günsel |
| *Alliaria petiolata* | Knoblauchhederich |
| ***Allium lusitanicum*** | **Berg-Lauch** |

| | |
|---|---|
| *Allium ursinum* | Bär-Lauch |
| *Allium vineale* | Weinberg-Lauch |
| ***Alyssum montanum*** | **Berg-Steinkraut** |
| ***Amelanchier ovalis*** | **Felsenmispel** |
| *Anemone nemorosa* | Busch-Windröschen |
| *Anthoxantum odoratum* | Duftendes Ruchgras |
| *Anthriscus sylvestris* | Wiesen-Kerbel |
| *Aquilegia atrata* | Dunkle Akelei |
| *Arabidopsis thaliana* | Schotenkresse = Schmalwand |
| ***Arabis alpina*** | **Alpen-Gänsekresse** |
| *Arabis hirsuta* | Rauhaarige Gänsekresse |
| ***Arabis turrita*** | **Turm-Gänsekresse** |
| *Arctium* sp. | Kletten-Art |
| *Arenaria serpyllifolia* aggr. | Quendelblättriges Sandkraut |
| *Arum maculatum* | Aronstab |
| *Asplenium ruta-muraria* | Mauerraute |
| *Asplenium trichomanes* | Braunstieliger Streifenfarn |
| *Atropa bella-donna* | Tollkirsche |
| *Bellis perennis* | Gänseblümchen |
| *Berberis vulgaris* | Berberitze |
| *Bromus erectus* | Aufrechte Trespe |
| *Buddleja davidii* | Schmetterlingsstrauch |
| ***Buglossoides purpurocaerulea*** | **Blauer Steinsame** |
| ***Bupleurum longifolium* (lokal häufig!!!)** | **Langblättriges Hasenohr** |
| ***Campanula persicifolia*** | **Pfirsichblättrige Glockenblume** |
| *Campanula rapunculus* | Rapunzel-Glockenblume |
| *Campanula rotundifolia* | Rundlblättige Glockenblume |

| | |
|---|---|
| *Capsella bursa-pastoris* | Hirtentäschchen |
| *Cardamine flexuosa* | Wald-Schaumkraut |
| *Cardamine pratensis* aggr. | Wiesen-Schaumkraut |
| ***Carduus defloratus*** | **Berg-Distel** |
| *Carex digitata* | Finger-Segge |
| *Carex flacca* | Schlaffe Segge |
| *Carex montana* | Berg-Segge |
| *Carex muricata* aggr. | Stachel-Segge (Gruppe) |
| *Carex pendula* | Hänge-Segge |
| ***Carex pilosa*** | **Wimper-Segge** |
| *Carex sylvatica* | Wald-Segge |
| *Carpinus betulus* | Hainbuche = Hagebuche |
| *Centaurea scabiosa* | Skabiosen-Flockenblume |
| *Cerastium fontanum* subsp. *vulgare* | Gemeines Hornkraut |
| *Chelidonium majus* | Schöllkraut |
| *Circaea lutetiana* | Hexenkraut |
| *Convallaria majalis* | Maiglöckchen = «Maierisli» |
| *Corydalis cava* | Hohlknolliger Lerchensporn |
| *Corylus avellana* | Hasel |
| ***Cotoneaster integerrima*** | **Kahlfrüchtige Steinmispel** |
| *Crataegus laevigata* | Zweigriffliger Weissdorn |
| *Crataegus monogyna* aggr. | Eingriffliger Weissdorn |
| *Crepis biennis* | Wiesen-Pippau |
| *Cruciata laevipes* | Behaartes Kreuzlabkraut |
| *Daphne mezereum* | Echter Seidelbast |
| *Daucus carota* | Karotte, Wilde Möhre |
| *Dryopteris filix-mas* | Echter Wurmfarn |
| *Euonymus europaeus* | Pfaffenhütchen |
| *Euphorbia amygdaloides* | Mandelblättrige Wolfsmilch |

| | |
|---|---|
| *Euphorbia cyparissias* | Zypressen-Wolfsmilch |
| *Euphorbia dulcis* | Süsse Wolfsmilch |
| *Fagus sylvatica* | Buche = Rotbuche |
| ***Festuca pallens* (aus Ovina-Gruppe)** | **Blasser Schaf-Schwingel** |
| *Fragaria vesca* | Wald-Erdbeere |
| ***Fragaria viridis*** | **Hügel-Erdbeere, Knackbeere** |
| *Fraxinus excelsior* | Esche |
| *Galanthus nivalis* | Schneeglöckchen |
| *Galium album* | Weisses = Wiesenlabkraut |
| *Galium aparine* | Kletten-Labkraut |
| *Galium odoratum* | Waldmeister (-Labkraut) |
| *Galium sylvaticum* | Wald-Labkraut |
| *Geranium sanguineum* | Blutroter Storchschnabel |
| *Glechoma hederacea* subsp. *hederacea* | Gewöhnl. Gundelrebe |
| *Hedera helix* | Efeu |
| *Helianthemum nummularium* subsp. *obscurum* | Ovalblättr. Sonnenröschen |
| *Heracleum sphondylium* | Wiesen-Bärenklau |
| *Hieracium murorum* aggr. | Wald-Habichtskraut (Gruppe) |
| *Hippocrepis comosa* | Schopfiger Hufeisenklee |
| *Ilex aquifolium* | Stechpalme |
| *Juncus inflexus* | Blaugrüne Binse |
| *Juniperus communis* | Gewöhnlicher Wacholder |
| ***Lactuca perennis*** | **Blauer Lattich** |
| *Lamium galeobdolon* subsp. *galeobdolon* | Gewöhnliche Goldnessel |
| *Lamium maculatum* | Gefleckte Taubnessel |
| ***Laserpitium latifolium*** | **Breitblättriges Laserkraut** |

| | |
|---|---|
| ***Lathyrus heterophyllus*** | **Verschiedenblättr. Platterbse** |
| ***Lathyrus linifolius*** | **Berg-Platterbse** |
| *Lathyrus vernus* | Frühlings-Platterbse |
| *Leucanthemum adustum* (Vulgare-Gruppe) | Berg-Wiesen-Margerite |
| *Leucanthemum vulgare* | Gewöhnliche Wiesen-Margerite |
| *Ligustrum vulgare* | Liguster |
| *Lilium martagon* | Türkenbund |
| *Lonicera alpigena* | Alpen-Heckenkirsche |
| *Lonicera xylosteum* | Rote Heckenkirsche = Beinholz |
| *Luzula campestris* aggr. | Feld-Hainsimse (Gruppe) |
| *Luzula sylvatica* | Wald-Hainsimse |
| *Malus sylvestris* | Wild-Apfelbaum = Holz-Apfelbaum |
| *Melica nutans* | Nickendes Perlgras |
| ***Melittis melissophyllum*** | **Immenblatt = Waldmelisse** |
| *Mercurialis perennis* | Bingelkraut |
| *Mycelis muralis* | Mauerlattich |
| *Onobrychis viciifolia* | Saat-Esparsette |
| *Orchis mascula* | Männl. Knabenkraut = Stattl. Orchis |
| *Origanum vulgare* | Echter Dost = wilder Majoran |
| *Oxalis acetosella* | Wald-Sauerklee |
| *Paris quadrifolia* | Einbeere |
| *Petasites albus* | Weisse Pestwurz |
| *Phyteuma spicatum* | Aehrige Rapunzel (Teufelskralle) |
| *Picea abies* | Fichte = Rottanne |
| *Pinus sylvestris* | Wald-Föhre = Wald-Kiefer |
| *Polygala chamaebuxus* | Buchblättrige Kreuzblume |

| | |
|---|---|
| *Polygala comosa* | Schopfige Kreuzblume |
| *Polygonatum multiflorum* | Vielblütiges Salomonssiegel |
| ***Polygonatum odoratum*** | **Echtes Salomonssiegel** |
| *Polypodium vulgare* | Gemeiner Tüpfelfarn |
| *Polystichum aculeatum* | Gelappter Schildfarn |
| *Potentilla neumanniana* | Frühlings-Fingerkraut |
| *Potentilla sterilis* | Erdbeer-Fingerkraut |
| *Primula elatior* | Wald-Schlüsselblume = hohe Schl. |
| *Primula veris* subsp. *veris* | Gewöhnl. Frühlings-Schlüsselbl. |
| *Prunus avium* | Süsskirsche = Vogelkirsche |
| *Prunus spinosa* | Schwarzdorn = Schlehdorn |
| *Quercus petraea* | Trauben-Eiche |
| ***Ranunculus auricomus* aggr.** | **Gold-Hahnenfuss** |
| *Ranunculus acris* subsp. *friesianus* | Scharfe Hahnenfuss |
| *Ranunculus bulbosus* | Knolliger Hahnenfuss |
| *Ranunculus ficaria* | Scharbockskraut |
| *Rhamnus cathartica* | Purgier-Kreuzdorn = Gemeiner Kr. |
| ***Ribes alpinum*** | **Alpen-Johannisbeere** |
| *Rosa arvensis* | Feld-Rose = Weisse Wildrose |
| *Rosa canina* | Hunds-Rose (Blätter kahl) |
| *Rosa pendulina* | Alpen-Hagrose |
| *Rosa spinosissima* | Reichstachlige Rose (blüht weiss) |
| *Rubus saxatilis* | Steinbeere |
| *Rumex acetosa* | Wiesen-Sauerampfer |
| *Salvia glutinosa* | Klebrige Salbei |

| | |
|---|---|
| *Salvia pratensis* | Wiesen-Salbei |
| *Sambucus nigra* | Schwarzer Holunder |
| *Sambucus racemosa* | Roter Holunder = Trauben-Holunder |
| ***Saxifraga paniculata*** | **Trauben-Steinbrech** |
| *Sedum album* | Weisser Mauerpfeffer |
| *Sedum telephium* subsp. *telephium* | Purpurrotes Riesen-Fettkraut |
| *Senecio vulgaris* | Gemeines Kreuzkraut |
| ***Seseli libanotis*** | **Hirschheil** |
| *Sesleria caerulea* | Blaugras |
| *Silene dioica* | Rote Waldnelke |
| *Silene vulgaris* | Gemeines Leimkraut = Klatschnelke |
| *Sorbus aria* | Mehlbeerbaum |
| *Sorbus aucuparia* | Vogelbeerbaum |
| *Stachys recta* | Aufrechter Ziest |
| ***Tanacetum corymbosum*** | **Straussblütige Margerite** |
| *Taraxacum officinale* aggr. | Löwenzahn (Artengruppe) |
| ***Teucrium chamaedrys*** | **Edel-Gamander** |
| ***Teucrium montanum*** | **Berg-Gamander** |
| *Teucrium scorodonia* | Salbeiblättriger Gamander |
| ***Thalictrum minus*** | **Kleine Wiesenraute** |
| ***Thlaspi montanum*** | **Berg-Täschelkraut** |
| *Thlaspi perfoliatum* | Stängelumfassendes Täschelkraut |
| *Thymus serpyllum* aggr. | Feld-Thymian (Artengruppe) |
| *Tilia platyphyllos* | Sommer-Linde |
| *Tofieldia calyculata* | Kelch-Simsenlilie = Liliensimse |
| ***Turritis glabra*** | **Turmkraut** |
| *Ulmus glabra* | Berg-Ulme |

| | |
|---|---|
| *Urtica dioica* | Grosse Brennnessel |
| *Veronica chamaedrys* | Gamander-Ehrenpreis |
| *Veronica officinalis* | Echter Ehrenpreis |
| ***Veronica teucrium*** | **Grosser Ehrenpreis** |
| *Viburnum lantana* | Wolliger Schneeball |
| *Vicia cracca* | Vogel-Wicke |
| ***Vicia cracca* subsp. *incana*** | **Graue Vogel-Wicke** |
| ***Vicia dumetorum*** | **Hecken-Wicke** |
| *Vicia sylvatica* | Wald-Wicke |
| *Vicia sepium* | Zaun-Wicke |
| *Vinca minor* | Kleines Immergrün |
| ***Vincetoxicum hirundinaria*** | **Schwalbenwurz** |
| *Viola hirta* | Rauhaariges Veilchen |
| ***Viola mirabilis*** | **Wunder-Veilchen** |
| *Viola reichenbachiana* | Wald-Veilchen |

Bericht: John Spillmann
Fotos: Jonas Brännhage

**Samstag, 22. Mai 2021**
*Was wächst da am Trottoirrand?*
*Eine BBG-Pflanzenbeschriftungsaktion*
Leitung: Christine Föhr
Am 22. Mai 2021 machte sich bei strahlendem Sonnenschein eine kleine aber feine Gruppe von BBG-Mitgliedern auf, die Pflanzenvielfalt in der Stadt Bern zu entdecken und mit Kreide zu beschriften. Die beschrifteten Pflanzen sollten die Passant:innen neugierig machen und aufzeigen, wie viele verschiedene Pflanzen in Pflasterritzen, an Strassenrändern und an Mauern gedeihen.

**Dreifingeriger Steinbrech *(Saxifraga tridactylites)* beim Uni-Hauptgebäude in Bern.**

Gestartet wurde die Beschriftungsaktion auf der Grossen Schanze, wo es dank einer Spontanbegrünung am Rand einer Baustelle und den Rabatten um das Uni-Hauptgebäude ziemlich viel zu schreiben gab.

Schon hinter dem Uni-Hauptgebäude wuchs sehr klein und unscheinbar in einer Pflasterritze als botanisches Highlight der Beschriftungsaktion der Dreifingerige Steinbrech *(Saxifraga tridactylites).*

Der Weg führte die Pflanzenbeschrifter:innen weiter über den Donnerbühlweg, wo zahlreiche Mauerrauten *(Asplenium ruta-muraria),* Braunstieliger Streifenfarn *(Asplenium trichomanes)* und Gelber Lerchensporn *(Corydalis lutea)* die Mauern begrünten. Ein (zu) gross gewachsener

**Die Taube Trespe *(Bromus sterilis),* eine von vielen Ruderalarten neben der Baustellenabsperrung.**

**Die Mauerraute *(Asplenium ruta-muraria)* wächst schon in den kleinsten Mauerritzen**

**Einige Arten wie das Niederliegende Mastkraute *(Sagina procumbens)* nennen die Ritzen zwischen Steinen in der Stadt ihr Zuhause.**

Wilder Lattich *(Lactuca serriola)* führte zu Diskussionen, und auch die zahlreichen Gänsedisteln *(Sonchus asper* und *Sonchus oleraceus)* wurden im Team sorgfältig bestimmt. In der Baltzerstrasse steigerte beim Zoologischen Institut ein artenreicher Wiesenstreifen den Kreideverbrauch, und in einer Rabatte blühte sogar ein Diptam *(Dictamnus albus).*

Weiter mäandrierte der Weg dann quer durch das Länggassquartier bis in die Mittelstrasse. Obwohl die Route geprägt war von starker Versiegelung, wuchsen Pflanzen wie Frühlings-Hungerblümchen *(Erophila verna),* Gemeines Greiskraut *(Senecio vulgaris),* Niederliegendes Mastkraut *(Sagina procumbens),* Löwenzahn *(Taraxacum officinale),* Feld-Ehrenpreis *(Veronica arvensis)* und Einjähriges Rispengras *(Poa annua)* in jeder noch so kleinen Asphaltritze. In der Mittelstrasse endete die Beschriftungsaktion schliesslich bei einer Glace und vielleicht bei einigen Teilnehmer:innen mit einem leichten Ziehen im Rücken und in den Oberschenkelmuskeln vom vielen Bücken und Kauern.

Bericht: Christine Föhr
Fotos: Françoise Alsaker

**Samstag, 29. Mai 2021**
*Arten trockener Jura-Wälder und Waldränder*
Leitung: Hannah Inniger und Stefan Eggenberg
Die dritte BBG-Exkursion dieses Jahres widmete sich einem kleinen Höhentransekt unterhalb und im Waldreservat des Raimeux. Am Fuss des Raimeux haben die Waldbesitzer schon seit langer Zeit die Forstwirtschaft eingestellt. Büsche haben den Wald verdichtet und die ehemals unterhaltenen Lichtungen erobert. Um die wertvollen Lebensräume vieler Tier- und Pflanzenarten zu erhalten, wurde der Wald neu strukturiert und gehört nun zum nationalen Waldinventar.

Auf dem Weg zum Waldreservat streiften wir zuerst durch bewirtschaftete Fettwiesen, wobei wir in der Ackerbegleitvegetation die berühmte Heilpflanze Echte Wallwurz *(Symphytum officinale)* sowie die Schönheit Schlitzblättriger Storchenschnabel *(Geranium dissectum)* entdeckten. Weiter den Berg hoch, wo das Gelände weniger praktisch zu bewirtschaften ist, werden die Fettwiesen durch Trockenwiesen ersetzt mit einer Übergangsstufe in welcher das Mesobromion noch etwas von den Fettwiesen hangabwärts beeinflusst ist. Bei dieser Übergangsstufe machten wir Halt und schauten uns die Gräser dieser Vegetation etwas genauer an. Während das englische Raygras *(Lolium perenne),* das Wiesen-Knäulgras *(Dactylis glomerata),* das Wiesen-Kammgras *(Cynosurus cristatus)* und der Rot-Schwingel *(Festuca rubra)* in den Fettwiesen vorherrschend waren, fanden wir von diesen Arten nun nur noch wenige Individuen. Neu und dominanter waren hier die Aufrechte Trespe *(Bromus erectus),* das Duftende Ruchgras *(Anthoxanthum odoratum)* und die Feld-Hainsimse *(Luzula campestris).* Weiter hangaufwärts beobachteten wir, wie die Vegetation weniger dicht und weniger hoch wurde und der Fettwiesen-Einfluss komplett verschwand. Bevor wir in den Wald eintraten, machten wir an der mittlerweile starken Sonne einen längeren Halt und studierten die Arten dieser Magerwiesen. Der botanische Höhepunkt war der behaarte Ginster *(Genista pilosa),* ein Muss, wenn man in der Region rund um Moutier unterwegs ist. Die Art ist in der aktuellen Roten Liste der Schweiz als verletzlich eingestuft, was bedeutet, dass sie noch weit verbreitet ist aber ihre Populationen regional stark geschrumpft sind. In der Schweiz kommt der behaarte Ginster als Säurezeiger unter anderem in dieser Region und nördlich von

**Schlitzblättriger Storchenschnabel *(Geranium dissectum).***

**Sand-Schaumkresse *(Cardaminopsis arenosa).***

**Behaarter Ginster *(Genista pilosa).***

Genf vor. Beides sind kalkreiche Gebiete, was zeigt, dass auch bei kalkreichem Untergrund der Standort zumindest kleinflächig sauer sein kann.

Nach einem Picknick an der Sonne begaben wir uns in den kühlen Wald. Wir folgten der alten Strasse, die im 19. Jahrhundert gebaut wurde und welche auf den Mont Raimeux führt. Anfangs ist der Wald kühl und dunkel, die Buche *(Fagus sylvatica)* ist hier dominant und im Unterwuchs sind nur wenige Pflanzenarten anzutreffen. Je weiter wir den Berg hochwanderten, desto trockener, felsiger, lichter und damit artenreicher wurde der Wald. Hier wird die Buche von der Wald-Föhre *(Pinus sylvestris)* abgelöst, welche die Trockenheit an den Felsbändern besser erträgt. Auf den für diese Jahreszeit bereits heissen Kalkfelsen sind zwischen den Föhren einzelne Sträucher der wunderschönen Felsenmispel *(Amelanchier ovalis)* zu entdecken, ein in der Schweiz weit verbreiteter Spaltenwurzler und Rohboden-Pionier. Grosse Freude bereitete auch die Sand-Schaumkresse *(Cardaminopsis arenosa),* die mit ihren lieblichen weisslich-rosa Blüten und den haarigen Rosetten ab und zu am steinigen Strassenrand auftauchte. Bald hatten wir die Höhe erreicht, bei der wir von der alten Strasse auf einen Trampelpfad abzweigten, welcher ziemlich steil wieder den Hang hinunter, weg von den Kalkfelsen führte. Der

immergrüne Lorbeer-Seidelbast *(Daphne laureola)* den wir dort antrafen, erinnerte auch hier im Mischwald noch an das warme, trockene Klima dieses südexponierten Hanges.

Am Fuss des Raimeux wieder angekommen, verliessen wir das Waldreservat und gingen durch eine buschige Landschaft, wo zahlreiche Sträucher wie die Gemeine Berberitze *(Berberis vulgaris),* Schwarzdorn *(Prunus spinosa)* und Eingriffliger Weissdorn *(Crataegus monogyna)* wuchsen – ein perfekter Lebensraum für den Neuntöter, welcher jedoch nur mit viel Glück zu erblicken ist. Zum Schluss unserer Exkursion entdeckete Stefan Eggenberg kurz vor dem Bahnhof noch ein letztes Highlight: *Valeriana wallrhotii,* der schmalblättrige Baldrian, der dank seiner dichten Behaarung ganz unten am Stängel zu erkennen ist und in der Schweiz nur im Jura und im Unterwallis vorkommt. Zu dieser Jahreszeit war er zwar noch nicht am Blühen aber doch etwas, was man nicht alle Tage sieht! Zurück am Bahnhof suchten wir alle unsere Masken hervor und fuhren zufrieden wieder Richtung Bern.

**Auflistung der auf der Exkursion angetroffenen Arten.**

| Wissenschaftlicher Name | Deutscher Name |
|---|---|
| *Acer campestre* | Feld-Ahorn |
| *Acer opalus* | Schneeballblättriger Ahorn |
| *Acer pseudoplatanus* | Berg-Ahorn |
| *Actaea spicata* | Christophskraut |
| *Agrimonia eupatoria* | Kleiner Odermennig |
| *Amelanchier ovalis* | Felsenmispel |
| *Anthoxanthum odoratum* | Duftendes Ruchgras |
| *Anthriscus sylvestris* | Wiesen-Kerbel |
| *Aquilegia vulgaris* | Gemeine Akelei |
| *Arabidopsis thaliana* | Schotenkresse |
| *Arabis hirsute* | Gewöhnliche Rauhaar-Gänsekresse |
| *Asarum europaeum* | Europäische Haselwurz |
| *Berberis vulgaris* | Gemeine Berberitze |
| *Bromus erectus* | Aufrechte Trespe |
| *Campanula glomerata* | Knäuelblütige Glockenblume |
| *Capsella bursa-pastoris* | Gemeines Hirtentäschel |
| *Cardamine hirsuta* | Vielstängeliges Schaumkraut |
| *Cardaminopsis arenosa* | Sand-Schaumkresse |
| *Carex alba* | Weisse Segge |
| *Carex digitata* | Finger-Segge |
| *Carex flacca* | Schlaffe Segge |
| *Carex montana* | Berg-Segge |
| *Cerastium fontanum* subsp. *vulgare* | Gewöhnliches Hornkraut |
| *Cirsium acaule* | Stängellose Kratzdistel |
| *Clinopodium vulgare* | Wirbeldost |
| *Colchicum autumnale* | Herbst-Zeitlose |
| *Cornus sanguinea* | Hartriegel |
| *Coronilla vaginalis* | Scheiden-Kronwicke |
| *Crataegus monogyna* | Eingriffliger Weissdorn |
| *Crepis versicaria* subsp. *taraxacifolia* | Löwenzahnblättriger Blasen-Pippau |
| *Cynosurus cristatus* | Wiesen-Kammgras |
| *Dactylis glomerata* | Wiesen-Knäulgrass |
| *Daphne laureola* | Lorbeer-Seidelbast |
| *Daucus carota* | Wilde Möhre |
| *Digitalis lutea* | Gelber Fingerhut |
| *Erinus alpinus* | Leberbalsam |
| *Euphorbia amygdaloides* | Mandelblättrige Wolfsmilch |
| *Fallopia convolvulus* | Gemeiner Windenknöterich |
| *Festuca rubra* | Rot-Schwingel |
| *Genista pilosa* | Behaarter Ginster |
| *Geranium dissectum* | Schlitzblättriger Storchenschnabel |
| *Globularia cordifolia* | Herzblättrige Kugelblume |

| | |
|---|---|
| *Helianthemum nummularium* | Gemeines Sonnenröschen |
| *Heracleum sphondylium* subsp. *alpinum* | Jura-Wiesen-Bärenklau |
| *Hieracium pilosella* | Langhaariges Habichtskraut |
| *Hippocrepis comosa* | Schopfiger Hufeisenklee |
| *Hippocrepis emerus* | Strauchwicke |
| *Leucanthemum adustum* | Berg-Wiesen-Margerite |
| *Ligustrum vulgare* | Gemeiner Liguster |
| *Lithospermum officinale* | Echter Steinsame |
| *Lolium multiflorum* | Italienisches Raygras |
| *Lolium perenne* | Englisches Raygras |
| *Lotus corniculatus* | Gewöhnlicher Hornklee |
| *Luzula campestris* | Feld-Hainsimse |
| *Medicago sativa* | Saat-Luzerne |
| *Melittis melissophyllum* | Immenblatt |
| *Ononys repens* | Kriechende Hauhechel |
| *Orchis mascula* | Männliches Knabenkraut |
| *Paris quadrifolia* | Vierblättrige Einbeere |
| *Picris hieracioides* | Gewöhnliches Bitterkraut |
| *Pimpinella nigra* | Schwarze Kleine Bibernelle |
| *Plantago lanceolata* | Spitz-Wegerich |
| *Plantago media* | Mittlerer Wegerich |
| *Polygala amarella* | Sumpf-Kreuzblume |
| *Polygonatum odoratum* | Echtes Salomonssiegel |
| *Polygonum aviculare* | Gewöhnlicher Vogel-Knöterich |
| *Primula veris* | Frühlings-Schlüsselblume |
| *Ranunculus acris* | Scharfer Hahnenfuss |
| *Ranunculus bulbosus* | Knolliger Hahnenfuss |
| *Rosa spinossissima* | Reichstachelige Rose |

| | |
|---|---|
| *Salix elaeagnos* | Lavendel-Weide |
| *Sanguisorba minor* | Kleiner Wiesenknopf |
| *Sanicula europaea* | Sanikel |
| *Senecio jacobea* | Jakobs Greiskraut |
| *Sesleria caerulea* | Kalk-Blaugras |
| *Sorbus mougeoti* | Berg-Mehlbeerbaum |
| *Stachys officinalis* | Echte Betonie |
| *Succisa pratensis* | Abbisskraut |
| *Symphytum officinale* | Echte Wallwurz |
| *Taraxacum officinale* aggr. | Gewöhnlicher Löwenzahn |
| *Teucrium chamaedrys* | Edel-Gamander |
| *Teucrium montanum* | Berg-Gamander |
| *Teucrium scorodonia* | Salbeiblättriger Gamander |
| *Thesium alpinum* | Alpen-Bergflachs |
| *Thlaspi perfoliatum* | Stängelumfassendes Täschelkraut |
| *Tragopogon pratense* subsp. *orientalis* | Östlicher Wiesen-Bocksbart |
| *Trifolium pratense* | Rot-Klee |
| *Valeriana wallrhotii* | Schmalblättriger Arznei-Baldrian |
| *Veronica chamaedrys* | Gamander-Ehrenpreis |
| *Viburnum lantana* | Wolliger Schneeball |
| *Viburnum opulus* | Gemeiner Schneeball |
| *Vincetoxicum hirundinaria* | Schwalbenwurz |
| *Viola arvensis* | Acker-Stiefmütterchen |

Bericht: Hannah Inniger und Stefan Eggenberg
Fotos: Hannah Inniger

**Samstag, 19. Juni 2021**
*Die Gipfelflora des Chasserals, eine Flora Patenschaft*
Leitung: Christoph Käsermann und Nora Rieder
Nebst der atemberaubenden Aussicht wartete der Chasseral an diesem Samstag mit einem farbigen Bouquet einer einzigartigen Gipfelflora auf. Christoph Käsermann zeigte uns, wo entlang des Grates botanische

**Christoph Käsermann erzählt, welche Spezialitäten sich auf dem Grat des Chasserals finden lassen.**

**Grossblütiges Sandkraut *(Arenaria grandiflora).***

Highlights wie der Milchweisse Mannsschild *(Androsace lactea),* das Grossblütige Sandkraut *(Arenaria grandiflora)* oder Alpenelemente wie das Narzissenblütige Windröschen *(Anemone narcissiflora)* zu finden sind. Zudem erfuhren wir, welche Alpenelemente auf dem Gipfel natürlicherweise vorkommen und welche Arten von teils eher fragwürdigen Ansiedlungen der Vergangenheit stammen. Auch Gefährdung und mögliche Massnahmen zur Förderung der Pflanzen auf dem Chasseral wurden thematisiert. Erstaunlich war die unterschiedliche Artzusammensetzung innerhalb von wenigen Metern auf dem Grat zu beobachten. Je nachdem ob man sich auf der schattigen Nordseite oder auf der sonnigen Südseite befand, fanden sich aufgrund der unterschiedlichen Exposition und der damit verbundenen klimatischen Bedingungen sehr verschiedene Lebensräume und Arten.

Nebst dem «klassischen Exkursionsteil» konnten die Teilnehmenden an dieser Exkursion aktiv mitwirken. Gemeinsam kartierten wir mehrere Teilpopulationen des Grossblütigen Sandkrautes *(Arenaria grandiflora)* entlang dem langgezogenen Gipfelgrat vom Hotel zum Turm. Diese Population wird im Rahmen des Projekts «Flora Patenschaften» seit Jahren regelmässig kartiert. Ziel des Projektes ist es, solche seltenen und gefährdeten Arten mit Kartierungen durch Ehrenamtliche kontinuierlich zu überwachen. So können negative Entwicklungstrends und äussere Eingriffe frühzeitig erkannt und entsprechende Schutzmassnahmen ergriffen werden. Wir waren erfreut, dieses Jahr einige gut entwickelte Polster der Art zu finden und sind gespannt, welche Erkenntnisse wir aus künftigen Kartierungen ziehen können.

Nach den Entdeckungen der Gipfelflora wurde es abenteuerlich. Auf der Suche nach weiteren typischen

**Milchweisser Mannsschild *(Androsace lactea).***

**Zum Schutz der trittempfindlichen Gipfelflora wurden Holzabsperrungen erstellt.**

**Das Jura-Leinkraut *(Linaria alpina* subsp. *petraea)* und der Blassgelbe Schöterich *(Erysimum ochroleucum)* innerhalb der Geröllfelder unter dem Gipfel des Chasserals.**

Spezialitäten des Chasserals wagten wir uns in die Schotterfelder unterhalb des Gipfels. Obschon das Gelände nicht für alle Teilnehmer:innen einfach war, wurden wir reich belohnt: Inmitten von losem, grauem Gestein fanden sich botanische Farbtupfer und wir konnten die typischen Schotterpflanzen in voller Blüte bestaunen. Hier fanden wir das Jura-Leinkraut *(Linaria alpina* subsp. *Petraea),* den Blassgelben Schöterich *(Erysimum ochroleucum)* oder eine spezielle Form von Godets Witwenblume *(Knautia godetii).* Unterwegs zurück zum Gipfel fanden wir gar noch die Holunder Orchis *(Dactylorhiza sambucina),* welche am Chasseral fast die östlichsten Juravorkommen aufweist. Als Abschluss der Exkursion reichte es nach einem kurzen Aufstieg zurück auf den Gipfel sogar noch für ein gemeinsames Getränk mit guter Aussicht.

Mehr Informationen zum Projekt «Flora Patenschaften» finden sich auf der Homepage der Bernischen Botanischen Gesellschaft. Bei Interesse zum Mitmachen können Sie sich gerne bei Nora Rieder melden: nora.rieder@infoflora.ch

**Auflistung einiger auf der Exkursion angetroffener Arten.**

| Wissenschaftlicher Name | Deutscher Name |
|---|---|
| *Androsace lactea* | Milchweisser Mannsschild |
| *Anemone narcissiflora* | Narzissen-Windröschen |
| *Arenaria grandiflora* | Grossblütiges Sandkraut |
| *Arenaria multicaulis* | Vielstängeliges Wimper-Sandkraut |
| *Bupleurum ranunculoides* | Hahnenfuss-Hasenohr |
| *Carex ferruginea* | Rost-Segge |
| *Carex sempervirens* | Immergrüne Segge |
| *Coeloglossum viride* | Grüne Hohlzunge |
| *Dactylorhiza sambucina* | Holunder-Fingerwurz |
| *Dianthus gratianopolitanus* | Grenobler Nelke |
| *Draba aizoides* | Immergrünes Felsenblümchen |
| *Dryas octopetala* | Silberwurz |
| *Erophila verna* | Gewöhnliches Frühlings-Hungerblümchen |
| *Erysimum ochroleucum* | Blassgelber Schöterich |
| *Festuca quadriflora* | Niedriger Schwingel |
| *Gentiana acaulis* | Silikat-Glocken-Enzian |
| *Globularia cordifolia* | Herzblättrige Kugelblume |
| *Heracleum sphondylium* subsp. *alpinum* | Jura-Wiesen-Bärenklau |
| *Knautia godetii* | Jura-Witwenblume |
| *Laserpitium siler* | Berg-Laserkraut |
| *Linaria alpina* subsp. *petraea* | Jura-Leinkraut |
| *Nigritella austriaca* | Österreichisches Männertreu |

| | |
|---|---|
| *Phyteuma orbiculare* | Rundköpfige Rapunzel |
| *Pseudorchis albida* | Weisszunge |
| *Pulsatilla alpina* | Alpen-Anemone |
| *Ranunculus alpestris* | Alpen-Hahnenfuss |
| *Rhamnus alpina* | Alpen-Kreuzdorn |
| *Sedum atratum* | Dunkler Mauerpfeffer |
| *Traunsteinera globosa* | Kugelorchis |

Bericht: Nora Rieder und Christoph Käsermann
Fotos: Nora Rieder

**Samstag, 26. Juni 2021**
*Geschichtliches und Geschichten – AHV-Rundgang im Juragarten Weissenstein*
Leitung: Regine Anderegg und Adrian Möhl (als Vertretung für Brigitta Ammann)
Bei schönstem Sommerwetter durften wir eine grosse Gruppe BBG-Mitglieder im Juragarten Weissenstein willkommen heissen. Es ist eine grosse Ehre und erfüllt uns auch ein bisschen mit Stolz, dass der Juragarten – der seit über 60 Jahren besteht – dem botanisch interessierten Publikum gezeigt werden darf.

Kurzfristig musste sich Brigitta Ammann, ehemalige Präsidentin der BBG, abmelden. Die grosse Kennerin der Vegetationsgeschichte des Juras hätte bestimmt viel Spannendes zu erzählen gewusst. Aber nicht verzagen – kurzfristig stellte sich Adrian Möhl zur Verfügung und brachte uns mit gekonnt unterhaltsamen Erzählungen

**Seit 1977 ist der Juragarten vom Regierungsrat als schützenswertes Naturobjekt deklariert.**

**Interessante Erzählungen lassen sich prima mit einem Apéro kombinieren** (Foto Felix Winkenbach).

die letzten 11 000 Jahre des südwestlichen Jura näher. Der Jura ist und bleibt entwicklungsgeschichtlich interessant, das wird sich in Zukunft mit dem Klimawandel noch vermehrt zeigen. Bequem auf der Kalksteinmauer am Hauptweg sitzend, hätten wir noch lange weiter zuhören und diskutieren können, auch das schöne Sommerwetter und die prächtige Aussicht über das Mittelland und Seeland bis weit in die schneebedeckten Alpen lud zum Verweilen ein. So langsam machte sich aber der Hunger bemerkbar und das obligate Apéro läutete die Mittagspause ein. Nach der individuellen Mittagsverpflegung trafen wir uns gestärkt wieder im Garten, um mit einer allgemeinen Einführung zur Gartenentstehung, der Gartenpflege und der Arbeitsorganisation das Nachmittagsprogram zu starten. Die gemeinsame botanische Entdeckungstour endete ca. um 15 Uhr, so blieb noch Zeit für individuelle Touren und Entdeckungen durch den Garten, bevor es mit der Gondelbahn schwebend den Berg hinunterging.

Seit der Übernahme der Gartenleitung im Winter 2015 durch Eicke Knauer und Regine Anderegg, bekamen wir mit einem Lotteriefondsprojekt die Möglichkeit, an der Zukunft des Gartens im wahrsten Sinne des Wortes zu bauen. Viele zu grosse und schattenmachende Bergahorne *(Acer pseudoplatanus)* mussten gefällt werden. Es entstanden ganz neue Pflanzflächen, auf denen sich erst im Laufe der nächsten 2–3 Jahre zeigte, was noch im Boden schlummerte, aber nicht mehr geblüht hatte, z.B. Türkenbund *(Lilium martagon)* und Seidelbast *(Daphne mezereum).*

Der Garten ist ausschliesslich in einer Hanglage nach Südwesten ausgerichtet, steinig mit wenig Humus als Untergrund. Die Neu-Pflanzungen können fast nur im Herbst gemacht werden, wenn die Niederschläge das

**Trükenbund *(Lilium martagon).***

Anwachsen der Pflanzen erleichtern. Vermehrungseinrichtungen für Pflanzen haben wir im Garten keine, ausser für diejenigen, die sich leicht vegetativ vermehren lassen und so direkt in Töpfe zur Bewurzelung eingepflanzt werden, wie z. B. die Grenobler Nelke *(Dianthus gratianopolitanus),* das Gemeine Sommerröschen *(Helianthemum nummularium)* und der Schlangen-Knöterich *(Polygonum bistorta).*

In ca. 300 Arbeitsstunden von März bis Oktober wird der Garten durch Freiwillige unter Aufsicht der Gartenleitung gepflegt. Der Verein Pro Weissenstein unterstützt den Normalbetrieb des Gartens (Werkzeuge, Pflanzen, Essen der Freiwilligen) – Tickets spendet die Gondelbahn. Der Garten ist der Öffentlichkeit jederzeit frei zugänglich.

Noch ist die Bepflanzung vor allem auf den gerodeten Terrassen nicht ganz fertig. Das Ziel, ist den Garten in den nächsten Jahren in Themenbereichen (Medizinalpflanzen, Nutzpflanzen, Rosen usw.) weiter voranzutreiben, immer in Bezug zur Flora des Juras, damit den Besucher:innen die vielfältige Flora nähergebracht werden kann. Seit Herbst 2021 ergänzen zwei Infotafeln den Besuch zusätzlich mit spannenden Informationen über den Jura.

Bericht: Regine Anderegg
Fotos: Regine Anderegg

**Das Ysopblättrige Gliedkraut *(Sideritis hyssopifolia),* die Schmalblättrige Spornblume *(Centranthus angustifolia),* die Jurassische Braunwurz *(Scrophularia juratensis)* und die Aurikel *(Primula auricula)* sind einige Beispiele von Arten, die im Garten neu angesiedelt oder auch gezielt gefördert werden.**

**Samstag, 3. Juli 2021**
*Balmfluehchöpfli – eine echte Gratwanderung*
Leitung: Jonas Lüthy
Um 9.50 Uhr traf sich eine Gruppe von BBG-Mitgliedern an der Talstation der Weissenstein Bahn und wartete neugierig darauf, dass Jonas Lüthy ihnen auf dieser Exkursion seinen Hausberg zeigt. Es ging los mit einer Gondelfahrt in die Mittelstation und von dort aus auf einer richtigen Gratwanderung zum Balmfluechöpfli. Obwohl man auf der Exkursion nicht klettern musste, so war es doch gut, dass die Teilnehmenden schwindelfrei waren. Auf dem Balmfluechöpfli wurden die BBG-Mitglieder dann mit einer Sichtung des bedrohten Yssopblättrigen Gliedkrautes *(Sideritis hyssopifolia)* und dem als potentiell gefährdet eingestuften, rosa blühenden Felsen-Waldmeisters *(Asperula neilreichii)* belohnt.

Gespannt lauschten alle, wie Jonas Lüthy über die hier erfolgreich umgesetzten Schutzmassnahmen gegen die Gämsen berichtete, worauf sich auf dem Balmfluechöpfli wieder wunderschöne Felsrasen regenerieren konnten. Arten, die dort beobachtet werden konnten, waren der Jura-Wiesen-Bärenklau *(Heracleum sphondylium* subsp. *alpinum),* der Alpen-Seidelbast *(Daphne alpina)* und die Grenobler Nelke *(Dianthus gratianopolitanus).*

Zum Abschluss der Exkursion ging es dann zu der Bergstation des Weissensteins, wo der Jura-Garten seit wenigen Jahren wieder reaktiviert wurde und nun zahlreiche Jurapflanzen bestaunt werden können. So kam auch diese Gruppe von BBG-Mitgliedern noch in den Genuss, diesen schönen Garten zu besuchen.

**Samstag, 21. August 2021**
*Zu Besuch bei Aconitum anthora auf der La Dôle*
Leitung: Adrian Möhl
Wie eine Perlenkette haben sich die Jura-Exkursionen der BBG 2021 über den Jurabogen gezogen. Als Abschluss der Exkursionsreihe stand am 21. August 2021 noch eine ganz besondere Perle auf dem Programm, nämlich ein Besuch auf der La Dôle.

Vielen mag die äusserste Juraerhebung der Schweiz wegen den prominenten «weissen Kugeln» ein Begriff sein, sind doch die Radarstationen schon von weitem zu sehen. Bei botanisch Interessierten ist der Bergzug natürlich für die vielen Raritäten bekannt, welche hier für die Schweiz exklusive Vorkommen haben. Pflanzenjäger:innen, die sich im August auf die La Dôle machen, haben aber meist ein ganz bestimmtes Ziel im Kopf: den Gift-Eisenhut *(Aconitum anthora).*

Trotz der weiten Anreise (sprich dem frühen Start) und der Androhung einer sportlichen Höchstleistung hat sich am Morgen des 21. August 2021 ein beachtliches Grüppchen von BBGler:innen an der Bahnstation

**Die wackere Gruppe beim Aufstieg zur La Dôle.**

La Givérine bei prächtigem Spätsommerwetter versammelt. Der Tau lag noch schwer auf den Juraweiden, die im August nicht mehr ganz so bunt sind. Umso besser, denn für botanische Stopps für «gewöhnliche Arten» würde die Zeit an diesem Tag nicht reichen. Mit steigender Sonne wurden die Tautropfen bald von Schweisstropfen abgelöst, denn der Aufstieg zur La Dôle bedeutet, mehr als 600 Höhenmeter zu überwinden. Zum Glück war die Gruppe nicht nur gut gelaunt, sondern auch ganz gut zu Fuss.

Natürlich konnten auch hier und dort noch ein paar Spätblüher bestaunt werden und sogar ein herrlich blühender Dichtblütiger Blau-Eisenhut *(Aconitum napellus* subsp. *vulgare)* diente als Vorwand, um eine kleine Verschnaufpause einzulegen. Schliesslich sollte ja die Gattung *Aconitum* an diesem Exkursionstag ganz im

**An Steinmauern Waldrändern und auf Lägerstellen blüht im Jura oft der Dichtblütiger Blau-Eisenhut *(Aconithum napellus* subsp. *vulgare).***

Zentrum stehen, und so konnte beim Dichtblütigen Blau-Eisenhut schon einmal der Aufbau einer typischen Eisenhutblüte etwas genauer untersucht werden.

Zum Erstaunen und zur Erleichterung des Exkursionsleiters wurden die Höhenmeter schnell bewältigt, und so konnten schon vor dem Mittagessen die ersten Raritäten in der Gipfelregion bewundert werden. Es versteht sich, dass es im Juni sehr viel schöner blüht auf der La Dôle, doch botanische Cracks bestimmen zum Beispiel die verschiedenen Doldenblütler ohnehin lieber vegetativ. Eine besondere Herausforderung waren feingeschnittene dunkelgrüne Blätter, die beim Zerreiben unangenehm riechen (auch wenn die Beschreibung des Geruchs einer alten, leicht ranzigen Paella-Pfanne nicht für alle gleich nachvollziehbar war...). Des Rätsels Lösung war der Faserschirm *(Trinia glauca)* eine Art, die

**Eine Art, welche in der Schweiz nur an wenigen Stellen im Jura und Tessin gefunden werden kann: Feinblättrige Miere *(Minuartia capillacea)*.**

**Der Zottige Mannsschild *(Androsace villosa)* ist auch ohne Blüte hübsch anzuschauen.**

**Im Gipfelbereich blühte das Ysopblättrige Gliederkraut *(Sideritis hyssopifolia)* prächtig.**

in der Schweiz nur an wenigen Stellen vorkommt, auf der La Dôle aber in mehreren grossen Populationen zu finden ist.

Wir waren bei weitem nicht die einzigen, die an diesem Tag die Fernsicht von der Jura-Erhebung geniessen wollten. Rund um die Messstationen tummelten sich um die Mittagszeit viele Wanderer und die meisten von ihnen waren sich wohl nicht bewusst, auf welchen botanischen Kostbarkeiten sie gerade die Picknickdecken ausbreiteten. Die schlechte Besucherlenkung auf der La Dôle ist in der Tat ein Problem – an einem schönen Sommertag ist dies besonders augenfällig.

Im Gipfelgebiet (und somit an den beliebtesten Picknickplätzen) finden sich zahlreiche botanische Raritäten wie zum Beispiel der Zottige Mannsschild *(Androsace villosa),* der in der Schweiz nur gerade hier vorkommt. Auch das Graufilzige Sonnenröschen *(Helianthemum canum)* kommt in der Schweiz nur an wenigen Stellen im Jura vor – wir konnten ein paar schöne Exemplare dieser Art im Gipfelbereich finden. Besondere Hingucker waren auch die Feinblättrige Miere *(Minuartia capillacea)* oder Richers Johanniskraut *(Hypericum richeri),* welche wir beide noch blühend finden konnten – der regenreiche Sommer 2021 hatte doch auch seine guten Seiten! Unweit von unserem Picknickplatz blühte auch das Ysopblättrige Gliedkraut *(Sideritis hyssopifolia)* – manch ein:e Teilnehmer:in riskierte Kopf und Kragen, um ein besonders hübsches Bild zu machen.

**Verdienter Mittagsrast nach dem Aufstieg: die Gruppe bei der Messstation auf der La Dôle.**

**Die Route der BBG Exkursion zum Gift-Eisenhut.**

**Gift-Eisenhut *(Aconitum anthora)***

Frisch gestärkt machten wir uns dann auf den Abstieg und auf zum eigentlichen Kern der Exkursion. Etwas bange war dem Exkursionsleiter schon, denn was, wenn der Star des Tages noch nicht blühen sollte? Der kühle, verregnete Sommer 2021 konnte bei der Phänologie für die eine oder andere Überraschung sorgen. Doch kaum waren wir etwas in den Südosthängen der La Dôle, gab es zum einen grosse Erleichterung und bei anderen grosse Freude: der Gift-Eisenhut *(Aconitum anthora)* war in Vollblüte!

Für die Schweiz ist diese Art schon sehr aussergewöhnlich. Wir finden sie nur gerade hier, am äussersten Jurabogen und dann wieder im Südtessin, auf dem Monte Generoso. Auch weltweit hat *Aconitum anthora* eine aussergewöhnlich disjunkte Verteilung. Wir finden sie zwar bis weit ins ferne Asien, doch handelt es sich nicht um ein zusammenhängendes Verbreitungsgebiet. Immer wieder wurden Stimmen laut, dass dabei auch verschiedene Formen unterschieden werden könnten – was bei einer solch lückigen Verbreitung nicht erstaunlich wäre.

Nachdem alle ausgiebig fotografiert und bewundert hatten, konnten wir uns noch etwas vertiefter mit der Art befassen. Allein der Name ist spannend. Der deutsche Name passt sicher gut, ist doch diese Art wie alle Eisenhut-Arten sehr giftig. Mit dem wissenschaftlichen Namen verhält es sich etwas anders. Anthora leitet sich angeblich von *anti* (= gegen) und *thora* (welches auf *Ranunculus thora,* also dem sehr giftigen Schild-Hahnenfuss hinweist) ab, und in der Literatur findet sich deshalb manchmal auch der Name Gegengift-Eisenhut. Angeblich hat man früher geglaubt, dass diese Eisenhutart ein gutes Gegengift gegen Vergiftungen mit dem Schild-Hahnenfuss liefere. Obwohl wir diese seltene Hahnenfuss-Art ein bisschen weiter oben gesehen hatten, war zum Glück an diesem prächtigen Sommertag niemand in der Stimmung, sich auf solch abenteuerlichen Experimente einzulassen.

Schliesslich gelang es der Gruppe auch, sich vom Eisenhut mit den faszinierend grünlich-gelben Blüten zu verabschieden. Via dem Chalet de la Dôle wurde der Weg nach Saint-Cergue eingeschlagen. Immer wieder gab es weitere botanische Leckerbissen aber auch gewöhnliche Arten zu bestaunen. Besonders gefreut haben wir uns über den Fund vom Gemeinen Fichtenspargel *(Monotropa hypopytis),* welcher in der Region seit 1868 nicht mehr beobachtet worden war.

Schliesslich erreichten wir unser Ziel Saint-Cergue pünktlich und ohne Jogging-Einlage. Voller farbiger Eindrücke und doch ziemlich müde von der langen Wanderung ging es dann gemeinsam wieder zurück Richtung Bern. Der Bilderbuchtag auf der La Dôle wird allen Teilnehmenden noch lange in Erinnerung blieben.

**Der Star des Tages: Gift-Eisenhut *(Aconitum anthora)* – die schmalen Blattabschnitte und die grünlichgelbe Färbung sind typisch für diese seltene Art.**

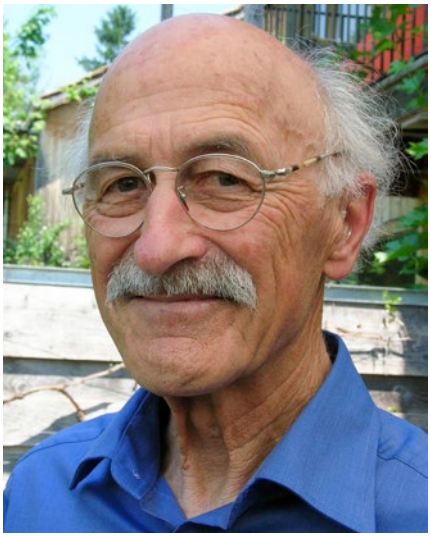
**Auflistung der wichtigsten auf der Exkursion angetroffenen Arten. Seltene, gefährdete oder besondere Arten sind fett hervorgehoben.**

| Wissenschaftlicher Name | Deutscher Name |
|---|---|
| ***Aconitum anthora*** | **Giftheil-Eisenhut** |
| *Aconitum lycoctonum* subsp. *neapolitanum* | Gelber Eisenhut |
| *Aconitum napellus* subsp. *vulgare* | Dichtblütiger Blau-Eisenhut |
| *Actaea spicata* | Christophskraut |
| ***Androsace villosa*** | **Zottiger Mannsschild** |
| *Athamanta cretensis* | Augenwurz |
| *Botrychium lunaria* | Echte Mondraute |
| *Bupleurum ranunculoides* subsp. *ranunculoides* | Gewöhnliches Hahnenfuss-Hasenohr |
| *Campanula glomerata* subsp. *glomerata* | Gewöhnliche Knäuel-Glockenblume |
| ***Carduus crispus* subsp. *multiflorus*** | **Krause Distel** |
| *Chaerophyllum aureum* | Gelbfrüchtiger Kälberkropf |
| *Coronilla vaginalis* | Scheiden-Kronwicke |
| *Dryas octopetala* | Silberwurz |
| *Euphorbia verrucosa* | Warzige Wolfsmilch |
| *Gnaphalium sylvaticum* | Wald-Ruhrkraut |
| ***Helianthemum canum*** | **Graufilziges Sonnenröschen** |
| ***Hypericum richeri*** | **Richers Johanniskraut** |
| *Juncus compressus* | Zusammengedrückte Binse |
| *Laburnum alpinum* | Alpen-Goldregen |
| *Laserpitium latifolium* | Breitblättriges Laserkraut |
| *Laserpitium siler* | Berg-Laserkraut |
| *Lithospermum officinale* | Echter Steinsame |
| ***Minuartia capillacea*** | **Feinblättrige Miere** |
| ***Monotropa hypopitys*** | **Gewöhnlicher Fichtenspargel** |
| *Pulsatilla alpina* subsp. *alpina* | Weisse Alpen-Anemone |
| ***Ranunculus thora*** | **Schildblättriger Hahnenfuss** |
| *Rhamnus alpina* | Alpen-Kreuzdorn |
| *Senecio doronicum* | Gämswurz-Greiskraut |
| ***Serratula tinctoria* subsp. *monticola*** | **Grossköpfige Färber-Scharte** |
| *Seseli libanotis* | Hirschheil |
| ***Sideritis hyssopifolia*** | **Ysopblättriges Gliedkraut** |
| *Silaum silaus* | Wiesensilge |
| *Thymus praecox* subsp. *polytrichus* | Gebirgs-Feld-Thymian |
| ***Trinia glauca*** | **Faserschirm** |

Bericht: Adrian Möhl
Fotos: Adrian Möhl

## 7. Nachruf

### Dr. Alfred Saxer, 8.8.1926–10.11.2020



Im November 2020 verstarb das langjährige Vorstandsmitglied der Bernischen Botanischen Gesellschaft Alfred Saxer im hohen Alter von 94 Jahren. Mit Fredi hat uns ein überaus liebenswerter, stets ruhiger, aber äusserst aktiver und engagierter Mensch verlassen. Mehr als 60 Jahre war er Mitglied der Bernischen Botanischen Gesellschaft.

Alfred Saxer ist im aargauischen Wettingen aufgewachsen und liess sich dort am Lehrerseminar zum Primarlehrer ausbilden. Unmittelbar danach studierte er an der Universität Zürich Biologie und Chemie und erwarb 1952 das Gymnasiallehrer-Diplom. Seinen Unterhalt verdiente er sich durch verschiedene Stellvertretungen und, während seiner Dissertation, durch eine Anstellung an der Bezirksschule Baden. 1954 schloss er seine Dissertation «Die Fagus-Abies- und Piceagürtelarten in der Kontaktzone der Tannen- und Fichtenwälder der Schweiz» ab, die er unter der Leitung von Prof. Emil Schmid durchgeführt hat und die im Folgejahr bei der Naturforschenden Gesellschaft der Schweiz als geobotanische Landesaufnahme publiziert wurde.

Es handelt sich hier um eine umfangreiche Publikation, welche noch heute durch ihre äusserst breit abgestützten Untersuchungen besticht. In akribischer Art wurden vom Menschen möglichst unbeeinflusste alpine Weisstannenwälder vom Graubünden bis in die Romandie nach Schmid'scher und Arrhenius'scher Methode untersucht und quantifiziert. Für den ganzen Pflanzenbestand wurden (in Abstimmung mit einer von Urs Schwarz parallellaufenden Arbeit über «Die natürlichen Fichtenwälder des Juras») taxonomische, phylogenetische, chorologische und genetisch-pflanzengeographische Fakten zusammengetragen. Ergänzend wurde für alle Arten eine ausführliche ökologische Analyse durchgeführt. Aufgrund dieser Datenfülle liessen sich schliesslich durch eine sogenannt biozönologische Analyse drei Tannenwaldtypen eingehend charakterisieren.

Bereits während des Studiums unternahm Alfred Saxer mit Prof. Schmid zwei Exkursionen nach Nordafrika und herbarisierte Pflanzen. 1954 heiratete er Heidi Kägi, mit der er im Folgejahr eine abenteuerliche Afrika-Reise unternahm, meist (ausser in grossen Städten) unerreichbar. Diese Reise führte die beiden in einem VW-Käfer und mit Zelt durch den Grossen Atlas, das Hoggar-Massiv, durch die Sahara, den Sudan, durch Kamerun, den Kongo und via den Viktoriasee zum Kilimandscharo. Oft waren sie die ersten Weissen in einem Gebiet. Und Fredi sammelte überall Pflanzen.

Zurück von der Reise unterrichtete er als Biologielehrer am Gymnasium in Biel und ab 1959 bis zur Pensionierung am Gymnasium Kirchenfeld in Bern, immer auch als sehr geschätzter Klassenlehrer. Er engagierte sich in der Praktikantinnen- und Praktikantenausbildung und stand umsichtig und hilfsbereit der Biologie-Fachschaft vor.

1961/62 erhielt Fredi die Gelegenheit, mit Prof. Schmid für 4 Monate nach Mexiko zu reisen, um dort in der atlantischen und pazifischen Küstenregion insbesondere die Wälder von der Tiefebene bis an die obere Waldgrenze zu untersuchen. Die Vegetationsaufnahmen wurden nach der Methode Schmid durchgeführt, wobei auch die Wuchsformengarnituren aufgenommen wurden. Nicht weniger als 2000 Exsikkate wurden gesammelt. Nicht nur die Pflanzenvielfalt, sondern auch das Land an sich hat ihn sehr beeindruckt; gut vorbereitet hatte er Spanisch gelernt und sich eingehend auch für die Lebensweise der Indios interessiert. 1963 haben Alfred Saxer («Wälder und Landschaften in Mexiko. Bilder von einer botanischen Forschungsreise») und Emil Schmid («Die Wuchsformen der Feuchtwälder Mexikos») der Bernischen Botanischen Gesellschaft von ihrer Reise berichtet.

Beim Besuch seiner Tochter in Israel wurde selbstverständlich auch herbarisiert. Auch auf seinen späteren mehrwöchigen Wanderferien mit seiner Frau in Schweden wurde, z.T. auf den Spuren Linnés botanisiert (ausser beim Kajakfahren mit seinem Sohn) – und so lernte er auch noch Schwedisch. Sein umfangreiches und sorgfältig geordnetes Herbarium überreichte er dem Botanischen Institut in Bern.

Der Bernischen Botanischen Gesellschaft diente Alfred Saxer 35 Jahre als Vorstandsmitglied, vorerst als langjähriger Kassier und später als Beisitzer. Er war mehrfacher Referent und leitete Exkursionen.

Mit Fredi, als vielseitig aktivem Menschen – er war auch Bienenzüchter, er spielte in jungen Jahren Violine in einem Streichquartett, war 70 Jahre Mitglied beim SAC – war es stets unterhaltsam und bereichernd zu diskutieren. Seine stets zuvorkommende und liebenswürdige Art bleibt unvergessen.

Gaston Adamek

Christa und Thomas Saxer danke ich für hilfreiche Informationen.

## Publikationen von A. Saxer

Saxer A. (1955) Die Fagus-Abies- und Piceagürtelarten in der Kontaktzone der Tannen- und Fichtenwälder der Schweiz. Beitr. geobot. Landesaufnahme Schweiz, 36. Diss. Univ. Zürich. 199 p. mit CV. Huber, Bern.

Saxer A. (1955) Der Tannenwald von Derborence. Die Alpen SAC 31(6): 154–157. https://www.sac-cas.ch/de/die-alpen/der-tannenwald-von-derborence-6899/

Saxer A. (1961) Botanische Exkursionen in den Bergen von Kamerun. (Sitzungsber. Bern. Bot. Ges. vom 24.10.1960) Mitt. Nat.forsch. Ges. Bern N.F. 19: (röm.) 63–64 + 2 p. Abb. https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=mnb-002%3A1961%3A19%3A%3A328

Saxer A. (1963) Wälder und Landschaften in Mexiko. Bilder von einer botanischen Forschungsreise. (Sitzungsber. Bern. Bot. Ges. vom 28.1.1963) Mitt. Nat.forsch. Ges. Bern N.F. 21: (röm.) 30–32 u. 42 + 2 p. Abb. https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=mnb-002%3A1963%3A21%3A%3A353
Der erwähnte Bericht von E. Schmid (Die Wuchsformen der Feuchtwälder Mexikos) weist dieselbe URL auf.

Saxer A. (1967) Eine Waldkartierung im aargauischen Suhrental nach der Methode von E. Schmid. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stift. Rübel, Zürich 39: 149–185. https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=gbi-002%3A1967%3A39%3A%3A347

Saxer A. (1991) Was kann die pflanzengeographisch-vegetationskundliche Methode von Emil Schmid (1891–1982) heute noch bieten? (Sitzungsber. Bern. Bot. Ges. vom 19.2.1990) Mitt. Nat.forsch. Ges. Bern N.F. 48: 218-225. https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=mnb-002%3A1991%3A48%3A%3A267

Saxer A. (1991) Exkursion vom 27. Oktober 1990, von Lalden nach Mund zu den Safrankulturen. (Bern. Bot. Ges.) Mitt. Nat.forsch. Ges. Bern N.F. 48: 240–241. https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=mnb-002%3A1991%3A48%3A%3A267

Saxer A. (1994) Auf Linnés Spuren quer durch Skandinavien in Lappland (1732) und in Dalarna (1734). (Sitzungsber. Bern. Bot. Ges. vom 8.3.1993) Mitt. Nat.forsch. Ges. Bern N.F. 51: 218–225.https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=mnb-002%3A1994%3A51%3A%3A223

# Naturforschende Gesellschaft in Bern Jahresbericht 2021

Sehr geehrte Mitglieder

Geschätzte Kolleginnen und Kollegen

Das Jahr 2021 ist für die Klimaforschung und -modellierung ein sehr wichtiges Jahr. Wie auch im Bericht zu Thomas Stockers Vortrag beschrieben, ging der Nobelpreis für Physik an Syukuro Manabe von der Princeton University und Klaus Hasselmann vom Max-Planck-Institut für Meteorologie. Diesen Nobelpreis haben die beiden Klimaforscher «für das physikalische Modellieren des Klimas der Erde, die quantitative Analyse von Variationen und die zuverlässige Vorhersage der Erderwärmung» erhalten. Beide sind Pioniere der Klimaforschung. Syukuro Manabe gelang es bereits 1963 mit dem weltweit ersten Supercomputer detaillierte Modelle zur Erdatmosphäre zu berechnen, 5 Jahre nach dem Start der kontinuierlichen Messung von Kohlenstoffdioxid bei Mauna Loa, Hawai, durch Charles David Keeling. Basierend auf diesen Messungen berechnete Manabe die Erderwärmung mit steigendem $CO_2$-Gehalt in der Atmosphäre und prognostizierte eine Erwärmung von 3–4 Grad Fahrenheit bei einer Verdoppelung des $CO_2$-Gehaltes in der Atmosphäre. Er führte schliesslich die ersten computerbasierten Treibhauseffekt-Simulationen durch, womit er das Fundament für die heute am häufigsten verwendeten Klimamodelle legte. Klaus Hasselmann war Meterologe, Ozeanologe und Klimaforscher. Er entwickelte das «Hasselmann-Modell» und damit konnten in den 1980er Jahren die natürlichen Klimaschwankungen von menschlich Einflüssen unterschieden werden. Und um zurück zu Bern zu kommen: es war genau im Jahre 1963 als Hans Oeschger die Abteilung für Klima- und Umweltphysik an der Universität Bern gründete und damit den Grundstein für Klimaforschung in Bern legte. Hans Oeschger konnte unter anderem nachweisen, dass die steigenden Treibhausgaskonzentrationen eine Folge der Verbrennung fossiler Brennstoffe waren. Oeschger war auch massgeblich an der Entwicklung des ersten Radiokarbondatierungslabors der Schweiz beteiligt.

**Die Klimaforscher Syukuro Manabe (links) und Klaus Hasselmann (rechts) erhielten den Nobelpreis in Physik 2021. Fotos: Nobel Prize Outreach.**

Dies leitet uns über zu unserem Jahresprogramm von 2021: «Zeitreisen II». Anlässlich der Jahresversammlung war eigentlich der Besuch des Radiokarbondatierungslabors der Universität Bern geplant. Aber auch dieses Jahr hat uns die Pandemie etwas ausgebremst. So startete der erste Vortrag genau wieder in einem Lockdown weshalb wir diesen nicht im Naturhistorischen Museum in Präsenz durchführen konnten. Doch dieses Jahr waren wir besser vorbereitet, weshalb wir den Vortrag kurzerhand online über Zoom veranstalteten. Im Gegensatz zum ersten Jahr der Covid-19-Pandemie ist es uns so gelungen (fast) alle vorgesehenen Veranstaltungen durchzuführen, allerdings teilweise nur über den Bildschirm oder mit kurzfristigen Verschiebungen. Zudem mussten wir für Veranstaltungen Anwesenheitslisten durchführen und hatten Auflagen zur maximalen Gruppengrösse zu befolgen. Für die Exkursionen haben wir deswegen Versuche mit einer Online-Anmeldung (ticketing) durchgeführt. Bei all diesen Varianten gab es einige Stolpersteine, wofür wir uns gerne entschuldigen möchten. Wir haben auch den Versuch unternommen einige Vorträge hybrid durchzuführen, so z.B. der Vortrag von Martin Mazurek zum Thema «Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz» und der Vortrag von Christoph Schwörer zum Thema «Vergangenheit und Zukunft der Schweizer Wälder». Mit der hybriden Variante war es möglich, die Referate im Vortragssaal des Naturhistorischen Museums in Präsenz mit zu erleben oder dem Vortrag von zu Hause am Bildschirm zu fol-

gen. Es freut uns sehr, dass sie alle zahlreich von diesen verschiedenen Varianten profitiert haben. In diesem Band finden Sie neben anderen Beiträgen zudem Zusammenfassungen zu einigen Vorträgen und Exkursionen. Wir hoffen, dass Ihnen dieses Angebot inhaltlich zusagt und es Ihnen ermöglicht, die Vorträge oder Exkursionen noch einmal in Ruhe zu studieren oder Verpasstes nachzuholen.

## 1. Briefliche Stimmabgabe anstelle einer Jahresversammlung

Die Jahresversammlung mit den anstehenden Wahlen und Abstimmungen musste schliesslich auch in diesem Jahr schriftlich durchgeführt werden. Zuerst hatten wir noch auf den Herbst gehofft, denn die Impfungen haben zuversichtlich gestimmt, aber die Universität Bern erlaubte auch am Verschiebungsdatum im Herbst immer noch keine externen Veranstaltungen. Abgestimmt wurde über den Jahresbericht 2020, die Jahresrechnung 2020 und die Mitgliederbeiträge 2021. Diese Traktanden wurden jeweils mit 86 Ja-Stimmen bei 1 Enthaltung angenommen. Die neuen Vorstandsmitglieder Stefan Hertwig und Renato Baumgartner wurden mit 87 Ja-Stimmen gewählt. Es gab jeweils keine Gegenstimmen. Die hohe Teilnahme hat uns gefreut und wir danken Ihnen sehr für das Vertrauen.

## 2. Rückblick auf das Jahresprogramm 2021

Das Jahresprogramm 2021 stand wiederum unter dem Motto ZEITREISEN (ZEITREISEN II), da wir einige Vorträge im Jahr 2020 nicht durchführen konnten, aber die betroffenen Vortragenden bereit waren diese um ein Jahr zu verschieben. Wie schon erwähnt mussten wir dann allerdings bereits den ersten Vortrag «Mikroplastik im Boden: Indikator einer neuen Zeit» von Dr. Moritz Bigalke als online Version anbieten. Völlig überrannt wurden wir mit dem Interesse für die Exkursion ins Büsselimoos im Mai. Zum Glück war Herr Prof. Dr. em. Paul Ingold bereit, diese Exkursion doppelt zu führen. Es freut uns sehr, dass Gaston Adamek bereit war einen ausführlichen Beitrag zu dieser Exkursion für die Mitteilungen zu verfassen. Die Jahresversammlung mit einem Vortrag und einer Besichtigung des Radiokarbonlabors unter der Leitung von Prof. Dr. Sönke Szidat, war zu optimistisch auf den 29. Mai 2021 geplant. Wie erwähnt haben wir die Jahresversammlung mit den Abstimmungen und Wahlen brieflich durchgeführt und die Begleitveranstaltung auf den Herbst verschoben – wo sie dann am 30. Oktober auch tatsächlich endlich stattfinden konnte. Der Vortrag «Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz – eine geologische Perspektive» vom 1. Juni 2021 von Prof. Dr. Martin Mazurek vom Institut für Geologie der Universität Bern wurde dann hybrid durchgeführt, also einerseits in Präsenz und gleichzeitig als Zoom-Veranstaltung für die Mitverfolgung von zu Hause aus. Am 21. September konnte der abendliche Vortrag mit Führung am Eidgenössischen Institut für Metrologie METAS durchgeführt werden, so auch die andere abendliche Führung «Bahnhof Bern – vor 20 Millionen Jahren, heute und in der Zukunft» vom 19. Oktober. Der Vortrag von Prof. Dr. Thomas Stocker geplant am 16. November 2021 musste infolge einer Expedition ins Gletschereis auf das nächste Jahr verschoben werden. Schliesslich konnten wir das NGB-Jahr 2021 mit dem Vortrag von Dr. Christoph Schwörer zu den Wäldern der Zukunft abschliessen, auch dieser Vortrag wurde in Präsenz und hybrid durchgeführt.

| Datum | Titel – Referent*In / Führer*In / Organisator*In | Teilnehmer |
|---|---|---|
| **27. April 2021** | **Vortrag: Mikroplastik im Boden: Indikator einer neuen Zeit**<br>Dr. Moritz Bigalke, Geographisches Institut, Universität Bern<br>(organisiert durch Chinwe Ifejika Speranza) | **26 Zoom** |
| **11./18. Mai 2021** | **Exkursion: Das Büsselimoos – ein Eiszeitrelikt im Riederenwald bei Kirchlindach**<br>Prof. Dr. em. Paul Ingold<br>(organisiert durch Christine Keller) | **36** |
| **1. Juni 2021** | **Vortrag: Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz – eine geologische Perspektive**<br>Prof. Dr. Martin Mazurek, Institut für Geologie, Universität Bern<br>(organisiert durch Daniela van den Heuvel) | **10 Präsenz<br>42 Zoom** |
| **21. September 2021** | **Vortrag und Führung: Hüter der Masseinheiten – Das Eidgenössische Institut für Metrologie METAS**<br>Dr. Jürg Niederhauser, Eidg. Institut für Metrologie Metas<br>(organisiert durch Michael Moser) | **30** |
| **19. Oktober 2021** | **Abendliche Führung: Bahnhof Bern – vor 20 Millionen Jahren, heute und in Zukunft**<br>Reto Wagner, Kellerhals + Häfeli AG<br>Prof. Dr. Fritz Schlunegger, Institut für Geologie, Universität Bern<br>Dr. Ursula Menkveld-Gfeller, Naturhistorisches Museum Bern<br>(organisiert durch Ursula Menkveld) | **20** |
| **30. Oktober 2021** | **Vortrag und Führung: Radiokohlenstoffdatierungen in Archäologie und Klimaforschung**<br>Prof. Dr. Sönke Szidat, Departement für Chemie, Biochemie und Pharmazie, Uni Bern<br>Dr. des Regine Stapfer, Archäologischer Dienst des Kanton Berns<br>(organisiert durch Sönke Szidat) | **20** |
| **7. Dezember 2021** | **Vortrag: Was uns die Vergangenheit über die Wälder der Zukunft verrät**<br>Dr. Christoph Schwörer, Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern<br>(organisiert durch Erika Gobet) | **35** |

## 3. Wissenschaftliche Publikationen

Unser Mitteilungsband 2021 (Nr. 78) erschien unter dem Titel Zeitreisen II im Juli unter der Regie unseres Redaktors Christoph Thalmann. Darin finden sich Artikel zu Veranstaltungen und Exkursionen des vergangenen Jahres z.B. über die Sonderausstellung zu Tyrannosaurus rex im Naturhistorischen Museum, zu Dinosaurierspuren im Jura, sowie zu geologischen Zeitreisen. Auch weitere Beiträge über einen Gletschersturz am Altels, über 100 Jahre Steinbockforschung sowie über ein EEM-zeitliches Umweltarchiv waren Bestandteile dieser Zeitreisen. Aktuelle Themen, wie ein Artikel über lokale Pflanzenraritäten und ein Interview zu Virologie und Immunologie rundeten diese Ausgabe ab. Wie üblich beinhalteten unsere Mitteilungen auch den Bericht der Bernischen Botanischen Gesellschaft.

## 4. Mitgliedschaft

Der Mitgliederbestand per 31.12.2021 beträgt 301 Mitglieder (Vorjahr 315). Die meisten Rücktritte fanden altersbedingt statt. Die Mitgliederbeiträge bleiben unverändert bei Fr. 60.— für Normalmitglieder, Fr. 20.— für Jungmitglieder und Fr. 100.— für Korporationsmitglieder. Alle Mitglieder erhielten im Januar/Februar das Jahresprogramm 2021 und im Juli die Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern 2021/78.

## 5. Subventionen

Der SCNAT hat die NGB auch im Jahr 2021 wiederum grosszügig mit einem finanziellen Beitrag von Fr. 10 000.– unterstützt. Dabei floss der grösste Teil in die Herstellungskosten der Mitteilungen 78/2021, mit

Fr. 2600.– wurden Exkursionen und Vorträge unterstützt. Wir danken dem SCNAT einmal mehr für diesen wichtigen Beitrag.

## 6. Vorstandstätigkeiten

Auch 2021 fanden wieder zwei ordentliche Vorstandssitzungen der NGB statt (am 24. März und 26. Oktober). Ein grosses Thema war natürlich die Pandemie und die damit verbundenen Einschränkungen des Jahresprogrammes. Davon blieb auch der Vorstand nicht verschont, so fand die erste Vorstandssitzung über Zoom statt. Der Vorstand hat sich zudem überlegt, wie er vor allem junge Neumitglieder für die Naturforschende Gesellschaft begeistern kann, denn seit einigen Jahren sind die Mitgliederzahlen leicht rückläufig, obwohl wir auch neue Mitglieder gewinnen können. Daher entschlossen wir uns für das Jahresprogramm 2022 entsprechend für das Thema «Klimakrise». Dies ist ein Thema, welches weltweit Schüler und Studierende anspricht, die globale Bewegung «Fridays for Future» ausgelöst hat und tausende Menschen auch in der Schweiz mobilisiert hat, welche sich für umfassende und rasche Klimaschutzmassnahmen einsetzen.

Auch dieses Jahr gab es im Vorstand wieder Wechsel. So verlässt mit Ursula Menkveld, unserer langjährigen Aktuarin, ein wichtiges und geschätztes Mitglied unseren Vorstand. Ursula Menkveld hat mit grossem Engagement jahrelang als Aktuarin die Protokolle verfasst, uns bei den Vorträgen im Naturhistorischen Museum unterstützt und zahlreiche Veranstaltungen organisiert. Als erste Sekretärin stand sie auch oft im direkten Kontakt mit unseren Mitgliedern. Wir danken ihr an dieser Stelle ganz herzlich. Stefan Hertwig, wie Ursula Menkveld im Naturhistorischen Museum angesiedelt, hat die Stelle als Aktuar übernommen und unterstützt uns nun bei Veranstaltungen der NGB. Ebenfalls in den Vorstand gewählt wurde Renato Baumgartner, er führt die Mitgliederverwaltung, liefert die Adresslisten für den Versand und erinnert per E-mail an die Veranstaltungen. Zu guter Letzt möchten wir auch allen aktiven Vorstandsmitgliedern der NGB für ihr grosses Engagement und freiwilligen Einsatz in diesem Jahr danken.

### Zusammensetzung des Vorstandes

| | |
|---|---|
| **Co-Präsidium** | Dr. Erika Gobet, Biologie, Universität Bern |
| | Dr. Christoph Schwörer, Biologie, Universität Bern |
| **Aktuar:** | Dr. Stefan Hertwig, Biologie, Naturhistorisches Museum Bern |
| **Kassier:** | Matthias Haupt, Haupt Verlag |
| **Redaktor:** | Dr. Christoph Thalmann, Physik |
| **Homepage:** | Dr. Michael Moser, Physik |
| **Mitgliederbetreuung:** | Dr. Renato Baumgartner, Chemie, Gymnasium Hofwil |
| **Beisitzer/in:** | Christine Keller, Biologie, Gymnasium Hofwil |
| | Prof. Markus Leuenberger, Physik, Universität Bern |
| | Prof. Willy Tinner, Biologie, Universität Bern |
| | Prof. Marcel Egger, Physiologie, Universität Bern |
| | Prof. Sönke Szidat, Chemie, Universität Bern |
| | Martin Künzle, Pro Natura |
| | Dr. Daniela van den Heuvel, Geologie, Universität Bern |
| | Prof. Chinwe Ifejika Speranza, Geografie, Universität Bern |

## 8. Kontrollstelle

Frau Marianne Del Vesco
Frau Franziska Nyffenegger

**Christoph Schwörer**

studierte Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich und doktorierte in Klimawissenschaften an der Universität Bern. Für seine Doktorarbeit im Bereich Paläoökologie untersuchte er den Einfluss von Klima und menschlicher Landnutzung auf die Vegetation am Iffigsee im Berner Oberland. Nach einem Postdoc an der University of Oregon (USA) kehrte er and die Universität Bern zurück, wo er seit 2019 eine eigene Forschungsgruppe leitet. Er interessiert sich besonders für die Auswirkungen vergangener Klimaänderungen auf Wälder und kombiniert dazu paläoökologische Methoden mit dynamischen Vegetationsmodellen und der Analyse von alter DNA.

# Warnung des Bundesamtes für Gesundheit BAG:

die Lektüre des folgenden Textes könnte bei Ihnen Schmunzeln auslösen… in schweren Fällen ist auch Lachen möglich. Für Risiken und Nebenwirkungen kontaktieren Sie Ihren Hausarzt oder den Redaktor unter thalmannch@gmx.ch

**Eine Gruppe von Personen beobachtet folgenden Vorgang: in einen Bus mit 10 freien Sitzplätzen steigen 10 Fahrgäste ein und der Bus fährt los … kurze Zeit später hält der Bus an der nächsten Haltestelle und es steigen 11 *(elf!)* Personen aus!**

## Wie ist das möglich?

Eine Biologin meint: «die Fahrgäste haben sich während der Fahrt vermehrt, das erklärt die elfte Person»
Ein Experimentalphysiker findet: «Na ja, 10% Messfehler, damit kann ich leben»

Ein theoretischer Physiker: «Die Zustandswellenfunktion eines externen Fahrgastes erlaubt dem Tunneleffekt gemäss eine nicht-verschwindende Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines weiteren Fahrgasts im Innern des Buses.»

Eine Mathematikerin folgert: «Nun sind -1 Personen im Bus; das heisst, es muss zuerst wieder ein Fahrgast einsteigen, damit niemand mehr im Bus ist».
Der Pfarrer: «Oh Wunder, wie schön, dass wir der Inkarnation des Heiligen Geistes noch zu Lebzeiten beiwohnen dürfen».

Der qualitätsbeauftragte Lehrer zum Kollegen: «Bei der nächsten Konferenz werde ich ein Gefäss (sprich: Zeit; Anm. der Red.) bereitstellen, um niederschwellig und proaktiv eine genderneutrale Lösung des Bus-Problems anzudenken. Die Mit-und-ohne-glieder:innen der ad hoc gebildeten Arbeitsgruppe werden mit IPB-Lektionen aus dem Lektionenpool entschädigt».

Der Philosoph: «ist es überhaupt so wichtig, wie viele Personen in einen Bus ein- bzw. aussteigen?».
Der Bauarbeiter zu seinem Kollegen: «He Alter, ist doch klar: auch ein Busfahrer muss mal pissen».

**Die folgende Frage, wurde in einer Physikprüfung, an der Universität von Kopenhagen gestellt: «Beschreiben Sie, wie man die Höhe eines Wolkenkratzers mit einem Barometer feststellt.»**

Ein Kursteilnehmer antwortete: «Sie binden ein langes Stück Schnur an den Ansatz des Barometers, senken dann das Barometer vom Dach des Wolkenkratzers zum Boden. Die Länge der Schnur plus die Länge des Barometers entspricht der Höhe des Gebäudes.÷

Diese originelle Antwort entrüstete den Prüfer dermassen, dass der Kursteilnehmer sofort entlassen wurde. Er appellierte an seine Grundrechte, mit der Begründung, dass seine Antwort unbestreitbar korrekt war, und die Universität ernannte einen unabhängigen Schiedsrichter, um den Fall zu entscheiden. Der Schiedsrichter urteilte, dass die Antwort in der Tat korrekt war, aber kein wahrnehmbares Wissen von Physik zeige. Um das Problem zu lösen, wurde entschieden den Kursteilnehmer nochmals herein zu bitten und ihm sechs Minuten zuzugestehen, in denen er eine mündliche Antwort geben konnte, die mindestens eine minimale Vertrautheit mit den Grundprinzipien von Physik zeigte.

Für fünf Minuten saß der Kursteilnehmer still, den Kopf nach vorne, in Gedanken versunken. Anschliessend antwortete der Prüfling wie folgt:

«Erstens könnten Sie das Barometer bis zum Dach des Wolkenkratzers nehmen, es über den Rand fallen lassen und die Zeit messen, die es braucht, um den Boden zu erreichen. Die Höhe des Gebäudes kann mit einer einfachen Formel aus der Kinematik berechnet werden. Das Barometer wäre allerdings dahin!

Oder, falls die Sonne scheint, könnten Sie die Höhe des Barometers messen, es hoch stellen und die Länge seines Schattens messen. Dann messen Sie die Länge des Schattens des Wolkenkratzers, anschließend ist es eine einfache Sache, anhand der proportionalen Arithmetik die Höhe des Wolkenkratzers zu berechnen.

Wenn Sie aber wissenschaftlich sein wollten, könnten Sie ein kurzes Stück Schnur an das Barometer binden und es schwingen lassen wie ein Pendel, zuerst auf dem Boden und dann auf dem Dach des Wolkenkratzers. Die Zeitdifferenz der beiden Schwingungsperioden erlaubt Ihnen einen Rückschluss auf die oben und unten am Wolkenkratzer unterschiedlichen Fallbeschleunigungen; das Newtonsche Gravitationsgesetz erlaubt dann eine Berechnung der Höhe des Hauses.

Oder, wenn der Wolkenkratzer eine äußere Nottreppe besitzt, würde es am einfachsten gehen da hinauf zu steigen, die Höhe des Wolkenkratzers in Barometerlängen abzuhaken und oben zusammenzuzählen.

Wenn Sie aber bloß eine langweilige und orthodoxe Losung wünschen, dann können Sie selbstverständlich das Barometer benutzen, um den Luftdruck auf dem Dach des Wolkenkratzers und auf dem Grund zu messen und der Unterschied bezüglich der gemessenen Luftdrücke erlaubt dann eine Berechnung der Höhe des Gebäudes.

Aber, da wir ständig aufgefordert werden die Unabhängigkeit des Verstandes zu üben und wissenschaftliche Methoden anzuwenden, wurde es ohne Zweifel viel einfacher sein, an der Tür des Hausmeisters zu klopfen und ihm zu sagen:

Wenn Sie ein schönes neues Barometer möchten, gebe ich Ihnen dieses hier, vorausgesetzt Sie sagen mir die Höhe dieses Wolkenkratzers.»

Der Kursteilnehmer war Niels Bohr, der erste Däne, der überhaupt den Nobelpreis für Physik gewann.

# Rechnungsabschluss

31. Dezember 2021

## 1. Betriebsrechnung

| | | Einnahmen | | Ausgaben | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2021 | 2020 | 2021 | 2020 |
| **Einnahmen** | | | | | |
| 1. Beiträge und Zuwendungen | | | | | |
| 1.1. Mitgliederbeiträge | 17 080.00 | | | | |
| 1.2. Freiwillige Beiträge | 570.00 | | | | |
| 1.3. Spenden | 0.00 | 17 650.00 | 18 605.00 | | |
| 2. Erlös aus Verkäufen | | | | | |
| 2.1. Mitteilungen | 795.16 | 795.16 | 226.57 | | |
| 3. Mitteilungen der NGB | | | | | |
| 3.1. Beitrag der SCNAT | 7 400.00 | | | | |
| 3.2. Weitere Beiträge | 4 480.00 | 11 880.00 | 12 100.00 | | |
| 4. Verschiedene Einnahmen | | 0.00 | 0.00 | | |
| 5. Einnahmen Exkursionen | | | | | |
| 5.1. Beitrag der SCNAT | 2 600.00 | | | | |
| 5.2. Beiträge Teilnehmer | 0.00 | 2 600.00 | 2 500.00 | | |
| 6. Entnahme aus Fonds | | 0.00 | 0.00 | | |
| **Ausgaben** | | | | | |
| 1. Mitteilungen der NGB | | | | | |
| 1.1. Herstellungskosten | | | | 23 465.20 | 21 970.55 |
| 2. Vorträge, Tagungen, Exkursionen | | | | 1 465.50 | 1 382.00 |
| 3. Beiträge | | | | | |
| 3.1. SCNAT | 630.00 | | | | |
| 3.2. Andere Gesellschaften | 90.00 | | | 720.00 | 710.00 |
| 4. Informationen | | | | | |
| 4.1. Veranstaltungskalender | | | | 1 054.40 | 1 001.60 |
| 5. Administration | | | | | |
| 5.1. Gebühren | 148.30 | | | | |
| 5.2. Büromaterial, Telefon, Porti | 1 781.37 | | | | |
| 5.3. Drucksachen | 420.05 | | | 2 349.725 | 1 254.95 |
| 6. Werbung | | | | 0.00 | 0.00 |
| 7. Verschiedenes | | | | 1 032.30 | 1 021.45 |
| 8. Vorstandskosten | | | | 153.90 | 899.60 |
| 9. Steuern | | | | –17.25 | 116.15 |
| 10. Einlage in Fonds | | | | 2 000.00 | 5 000.00 |
| 11. Ausserordentlicher Aufwand | | | | 0.00 | 0.00 |
| Gewinn | | | | 701.39 | 75.27 |
| | | **32 925.16** | **33 431.57** | **32 925.16** | **33 431.57** |

## 2. Bilanz

| | Aktiven | | Passiven | |
|---|---|---|---|---|
| | **2021** | **2020** | **2021** | **2020** |
| 1. Postcheck 30-1546-4 | 15 878.20 | 12 540.19 | | |
| 2. Postcheck E-Deposito 92-331142-7 | 0.00 | 2 000.00 | | |
| 3. Aktive Rechnungsabgrenzung | 10 260.00 | 10 040.00 | | |
| 4. Debitoren | 0.00 | 0.00 | | |
| 5. Kreditoren | | | 0.00 | 0.00 |
| 6. Passive Rechnungsabgrenzung | | | 916.62 | 60.00 |
| 7. Eigenkapital | | | 25 221.58 | 24 520.19 |
| | **26 138.20** | **24 580.19** | **26 138.20** | **24 580.19** |

## 3. Fondsrechnungen

| | | Aktiven | Passiven |
|---|---|---|---|
| | | **2021** | **2021** |
| 1. Wertschriften | | 135 000.00 | |
| 2. Valiant Bank Bern Universalkonto | | 107 745.35 | |
| 3. Postcheck 30-1546-4 | | 2 000.00 | |
| 4. Postcheck E-Deposito 92-331142-7 | | 0.0 | |
| 5. Verrechnungssteuerguthaben | | 241.25 | |
| 6. Publikationsfonds | | | |
| Bestand 1.1.2021 | 90 067.61 | | |
| Neuanlage/Entnahme | 2 000.00 | | |
| Überschuss 2021 | 191.25 | | 90 067.61 |
| 7. Vortragsfonds | | | |
| Bestand 1.1.2021 | 35 246.41 | | |
| Neuanlage/Entnahme | 0.00 | | |
| Überschuss 2021 | 74.85 | | 35 321.26 |
| 8. La Nicca-Naturschutzfonds | | | |
| Bestand 1.1.2021 | 41 005.76 | | |
| Neuanlage/Entnahme | 0.00 | | |
| Überschuss 2021 | 87.10 | | 41 092.86 |
| 9. De Giacomi-Fonds | | | |
| Bestand 1.1.2021 | 31 860.86 | | |
| Neuanlage/Entnahme | 0.00 | | |
| Überschuss 2021 | 67.65 | | 31 928.51 |
| 9. Wyss-Fonds | | | |
| Bestand 1.1.2021 | 44 291.06 | | |
| Neuanlage/Entnahme | 0.00 | | |
| Überschuss 2021 | 94.05 | | 44 385.11 |
| | | **244 986.60** | **244 986.60** |

## 4. Bericht der Rechnungsrevisorinnen

Die unterzeichnenden Rechnungsrevisorinnen haben die Rechnung der Naturforschenden Gesellschaft in Bern für die Zeit vom 1. Januar bis 31. Dezember 2021, bestehend aus

- der Betriebsrechnung 2021
- der Bilanz per 31. Dezember 2021
- den Fondsrechnungen 2021
  (Publikationsfonds, Vortragsfonds, La Nicca-Naturschutzfonds, De Giacomi-Fonds, Wyss-Fonds)

geprüft und für richtig befunden.

Die Betriebsrechnung schliesst mit einem Gewinn von **Fr. 701.39** ab.

Die Bilanz weist ein Eigenkapital von **Fr. 25 221.58** aus.

Das Vermögen der NaturforschendenGesellschaft (einschliesslich der Fonds) ist in Wertschriften und auf Bank- und Postcheckkonti ausgewiesen.

Das Vermögen der zweckgebundenen Fonds beträgt:

| | |
|---|---|
| • Publikationsfonds | **Fr. 92 258.86** |
| • Vortragsfonds | **Fr. 35 321.26** |
| • La Nicca-Naturschutzfonds | **Fr. 41 928.51** |
| • De Giacomi-Fonds | **Fr. 31 928.51** |
| • Wyss-Fonds | **Fr. 44 385.11** |

Das Rechnungswesen ist sauber und übersichtlich geführt.

Die Rechnungsrevisorinnen beantragen der Hauptversammlung

- die Rechnung für das Geschäftsjahr 2021 zu genehmigen
- dem Kassier für seine Arbeit herzlich zu danken
- Kassier und Vorstand zu entlasten
- den Mitgliederbeitrag für 2022 bei Fr. 60.00 bzw. Fr. 20.00 (Jungmitglieder) bzw. Fr. 100.00 (Korporativmitglieder) zu belassen.

Bern, 5. April 2022

Die Rechnungsrevisorinnen

M. Del Vesco

Marianne Del Vesco

Franziska Nyffenegger