

Mitteilungen der

Naturforschenden Gesellschaft in Bern

2017

Neue Folge Band 74

Jahresbericht der Bernischen Botanischen Gesellschaft

Redaktion

Dr. Thomas Burri
Naturhistorisches Museum der Burgergemeinde Bern
Bernastrasse 15
3005 Bern

www.ngbe.ch

Zitierweise:

Mitt. Natforsch. Ges. Bern NF Bd. 74, Seiten 1–142, Bern Juli 2017

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:

Fotografische Vielfalt des Vereinsjahres 2016

Herstellung: **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 10 700.– unterstützt.

Inhaltsverzeichnis

<i>Editorial</i>	5
MARCO HERWEGH <i>Jahresbericht des Präsidenten</i>	13
MATTHIAS HAUPT <i>Rechnungsabschluss 2016</i>	19
Die Autoren der diesjährigen Ausgabe	23
 Vorträge 2016: Jahresthema Visionen	
GINA RETSCHNIG, LARS STRAUB UND PETER NEUMANN <i>Forschung rund um die Bienengesundheit</i>	29
GUNTER SIDDIQI <i>Geothermie in der Schweiz: direkte Nutzung für Strom und Wärme</i>	37
MARCO HERWEGH, VALENTIN GISCHIG UND THOMAS SPILLMANN <i>Der Geothermie auf der Spur: NGB-Exkursion zum Hydrothermal-Feld Grimsel und ins Felslabor Grimsel</i>	45
YVES MARTIN, AMBROGIO FASOLI, FABIAN MANKE, CHRISTIAN THEILER <i>Die Kernfusion – Auf dem Weg zu einer alternativen Energiequelle</i>	55
 Ordentliche Beiträge	
SILVAN MINNIG UND CHRISTOF ANGST <i>Biber-Multikulti im Schweizer Mittelland</i>	75
CHRISTIAN IMESCH <i>Natürliche Quelllebensräume im Smaragdgebiet Oberaargau</i>	93
Aus den Vereinsannalen <i>Beiträge aus den Mitteilungen 1943</i>	115
Berner Botanische Gesellschaft <i>Jahresbericht 2016</i>	121

Editorial

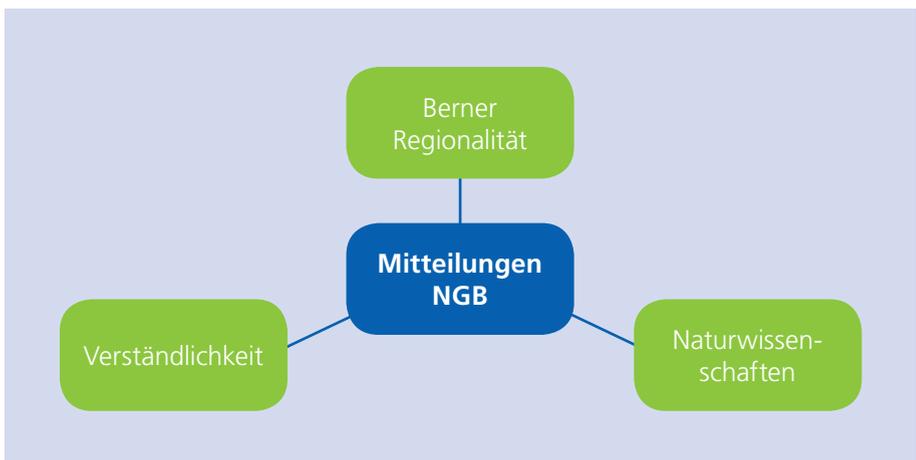


Wohin geht die Reise?

«Wohin geht die Reise» ist der Titel eines Impulsvortrages, den ich im Rahmen der Sektionspräsidentenkonferenz der SCNAT gehalten haben. «Wohin geht die Reise» bezieht sich ganz konkret auf die Mitteilungen der NGB, deren Redaktor ich momentan bin, und «wohin geht die Reise» bezieht sich auch auf meine Gefühlslage, wenn ich an die Entwicklung unseres Mitteilungsbandes denke. Es ist eine Mischung aus Abenteuerlust und Unsicherheit, von Ernüchterung und Freude über die Arbeit. Eines ist klar, die Mitteilungen haben sich stetig verändert, stetig weiterentwickelt. Auch hier kann man die bekannten Weisheiten wie «Beständig ist einzig der Wandel» und «Stillstand ist Rückschritt» bemühen. Stillstand ist tatsächlich nicht angebracht, denn die Medienlandschaft hat sich seit dem Bestehen der NGB, mit dem Aufkommen des Internets und den Social Media, noch nie so rasch gewandelt wie in den letzten 25 Jahren. Stillstand wäre wirklich ein Rückschritt, Beständigkeit hingegen schon eher eine Option.

Was wollen wir publizieren?

Was soll überhaupt in unseren Mitteilungen publiziert werden? Ich habe dies mittels einer simplen Dreiecksgrafik dargestellt.

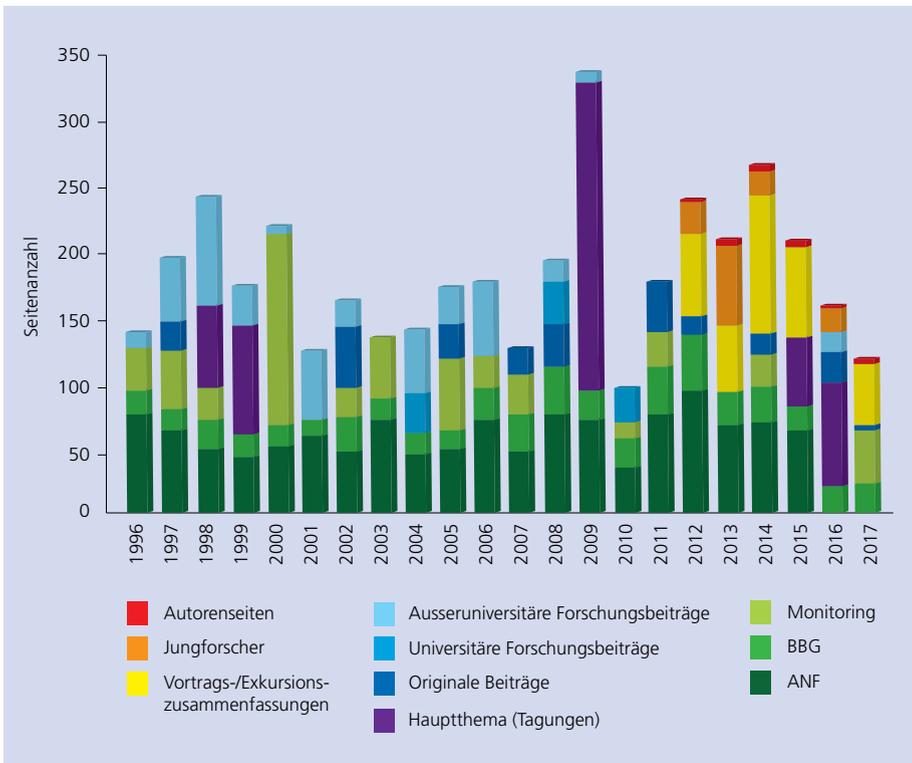


Im Idealfall erfüllt ein Beitrag alle drei Punkte: 1) er behandelt ein naturwissenschaftliches Thema, dabei sollen möglichst alle Fachbereiche abgedeckt werden; 2) er besitzt einen regionalen, Berner Bezug, was sozusagen unsere Marktnische darstellt und 3) – für mich ein Schwerpunkt – er ist verständlich geschrieben, so dass auch Nicht-Fachleute den Beitrag, möglichst ohne Zuhilfenahme von Internetsuchmaschinen, verstehen können. Dieses Zielpublikum soll zudem nicht durch überbordende Angaben zu Methodik und wirren Fachbegriffen gleich wieder die Leselust verlieren, sondern einen Beitrag bis zum Ende durchlesen wollen. Leselust statt Lesefrust, könnte man somit den Leitsatz auf einen einfachen Nenner bringen. Dass dieser dreisäulige Anspruch nicht immer einfach umzusetzen ist, versteht sich von selbst.

Ein Rückblick zur Vorausschau

Wohin geht die Reise der Mitteilungen der NGB? Um dies zu ergründen, verfolgte ich zuerst einen gegenteiligen Ansatz und schaute, was in den letzten zwanzig Jahren passiert ist. Ich wollte wissen, woher die Reise kommt, um besser beantworten zu können, wohin die Reise in Zukunft gehen soll. Deshalb habe ich die in den letzten 20 Jahren publizierten Artikel in unterschiedliche Gruppen geordnet und in einem Balkendiagramm dargestellt. Die Gruppen, die ich definiert habe sind 1) «Hauptthemen», also einerseits Themenbände, mit Themen, die wir uns selbst gesetzt haben, und andererseits Tagungsbände mit den Tagungsbeiträgen; 2) «Originale Beiträge» zu naturwissenschaftlichen Themen, die aber keine eigentlichen Forschungsbeiträge darstellen; oftmals haben diese Beiträge auch eine historische Komponente; 3) «Universitäre Forschungsbeiträge», also Artikel von Personen, die an der Universität oder an Museen aktiv Forschung betreiben; 4) «Ausseruniversitäre Forschungsbeiträge», meist, aber nicht immer, von Fachleuten geschrieben; 5) «Monitoringbeiträge», also Forschungsarbeiten, die hauptsächlich eine Floren- oder Faunengruppe betreffen und deren räumliche und zeitliche Entwicklung untersuchen; 6) «Vortrags- und Exkursionszusammenfassungen» des NGB-Jahresprogramms; 7) «Beiträge von Jungforschern» wie MasterandInnen oder MaturandInnen; 8) Jahresberichte der Bernischen Botanischen Gesellschaft BBG; 9) Jahresberichte des Amtes für Naturförderung ANF des Kantons Bern; 10) «Autorenseiten» mit den Autorenportraits. Vereinsmeldungen wie den Jahresbericht des Präsidenten und den Bericht des Kassiers habe ich nicht berücksichtigt, meist ist der Umfang kleiner als 10 Seiten und sie gehören zum gesetzten Standartinventar der Mitteilungen.

Natürlich liess sich ein Beitrag nicht immer genau einer Gruppe zuweisen, so sind gerade bei den Jungforscher-Beiträgen auch Monitoring-Themen zu finden, zudem stellen die meisten Vortragszusammenfassungen eigentlich Zusammenfassungen von universitären Forschungsbeiträgen dar. Dies im Hinterkopf behaltend und eingestehend, dass diese Schwierigkeiten der Gruppierung die Auswertung auch etwas subjektiv einfärbt, habe ich versucht, so objektiv wie möglich zu bleiben.



Was haben wir publiziert?

Ganz klar ersichtlich, «grüne» Beiträge, die Umwelt-, Flora- und Monitoringthemen betreffen, dominieren die Beitragspalette. Dazu gehören die Jahresbeiträge des ANF und der BBG, aber auch alle Monitoringbeiträge. Tatsächlich könnten auch die wenigen universitären Forschungsbeiträge, die Hauptthemen der Jahrgänge 1998 und 1999 sowie die Mehrheit der Jungforscherbeiträge in den Themenkreis Biologie und Monitoring eingeordnet werden. Das Bild begann sich erst 2012 zu ändern, als mit der Einführung der Vortragszusammenfassungen ein Gegengewicht zu diesem dominanten grünen Themenblock entstand. Noch stärker änderte sich das Bild 2015, als mit dem Rückzug des Jahresberichts des ANF der Hauptteil dieser Gruppe entfiel. Das ANF hatte sich schon länger eine flexiblere Lösung gewünscht und erstellt jetzt seinen Jahresbericht als Publikation in Eigenregie.

Ohne hier wertend sein zu wollen, in den letzten zwanzig Jahren dominierte der Namensteil «Natur» über den tatsächlichen Namensteil «Naturforschung», also die heutigen Naturwissenschaften. Da wir uns als naturwissenschaftliche Gesellschaft betrachten, und auch der Vorstand dementsprechend breit zusam-

mengesetzt ist, wird ein solch «biologisches» Übergewicht eigentlich dem Anspruch unserer Gesellschaft nicht gerecht, auch nicht der Zusammensetzung unserer Mitglieder. Beiträge aus der Chemie oder Physik existieren, bis auf wenige Ausnahmen, einzig in der Gruppe Vortragszusammenfassungen. Was sind die Gründe dieser Dominanz? Einerseits nahmen die Jahresberichte der BBG und ANF seit Jahrzehnten einen ansehnlichen Teil der Mitteilungen ein und die Redaktion war auch immer sehr froh, über diese Grundaustausung. Andererseits gab es früher noch weitere Gesellschaften, wie die Chemische Gesellschaft, die ihre Jahresberichte in den Mitteilungen publizierten. Mit dem Wegfall dieser Jahresberichte geriet das einst besser austarierte Konstrukt Mitteilungen in «biologische Schiefelage». Mit dem Abgang des Jahresberichtes des ANF hat sich diese Schiefelage nun wieder etwas ausbalanciert, auch wenn dabei ein grosser Teil der Grundaustausung verloren ging.

Ein weiterer Grund dieser Dominanz ist die Art und Weise, wie der Inhalt der Mitteilungen zusammengestellt wird. Vereinfacht gesagt sind wir fremdgesteuert, d.h. wir publizieren, was bei uns eingereicht wird. Abgesehen von den wenigen Themenbänden, wurde der Inhalt also durch die Leute bestimmt, die bei uns publizieren wollten. Und hier scheint es so, dass wir v.a. für Beiträge aus dem biologischen Themenkreis attraktiv sind. Dies hat wohl damit zu tun, dass gerade Monitoring-Arbeiten oftmals einen starken regional-bernerischen Bezug aufweisen. Und wir als NGB streben ja genau die Publikationen von naturwissenschaftlichen Themen mit Berner Bezug an. Themen aus der Chemie und Physik, die oftmals einen umfassenderen Anspruch besitzen, mit keinem oder bloss einem losen Bezug zur Region, werden dementsprechend weniger eingereicht.

Eine weitere wichtige Beitragsgruppe bilden die ausseruniversitären Forschungsarbeiten, also Forschungsartikel, die in der Regel durch erfahrene Fachleute eines Themenbereichs verfasst werden. Solche Beiträge wurden allerdings in den letzten 10 Jahren immer seltener, vermutlich wird sich dieser Trend nicht wieder umkehren. Zusätzlich gab es damit auch Probleme, denn während fast eines Jahrzehnts hatte eine kleine Gruppe von maximal drei Personen diesen Beitragsteil dominiert. Dabei wurden eifrig Forschungsbeiträge verfasst und in den Mitteilungen publiziert, die in Fachzeitschriften so wahrscheinlich nicht akzeptiert worden wären. Hier hat bei uns leider der Reviewprozess etwas versagt. Zudem scheint es problematisch, wenn während Jahren immer wieder die gleichen Personen in der gleichen Zeitschrift publizieren. Hier kommt auch wieder der Punkt «Fremdbestimmung» zum Zuge, publiziert wird eben in der Regel was bei uns reinkommt. Ausserdem besteht die Gefahr, wie ich es persönlich erlebt habe, dass aus solchen Publikationen ein Recht auf weitere Publikationen abgeleitet wird und zusätzlich in Anspruch genommen wird, dass der Redaktor und der gesamte Vorstand hinter den in einer publizierten Arbeit vertretenen Ansichten und Hypothesen stehen und diese auch vertreten müssten. Das darf eigentlich nicht passieren, denn die Artikel vertreten immer nur eines, die Ansichten der Autoren. Als Redaktor kann man den Inhalt auf Plausibilität prüfen lassen, muss aber nicht mit dem Inhalt

einverstanden sein. Bei einer negativen Begutachtung eines eingereichten Artikels haben der Redaktor und der Vorstand zudem das Recht, einen Beitrag auch abzulehnen. Ein Recht auf Publikation in den Mitteilungen besteht nicht. Eine Verweigerung desselben ist allerdings eine extreme Ausnahme.

Was wurde nicht publiziert?

Eine zweite wichtige Erkenntnis, die aus dem 20-jährigen Rückblick gezogen werden kann: Universitäre Forschungsbeiträge wurden in den letzten 20 Jahren praktisch nur in den Tagungsbänden oder neu in den Vortragszusammenfassungen und den Jungforscherbeiträgen publiziert. Wir sind nicht die Publikationsplattform für Beiträge aus der Spitzenforschung. Diese Funktion nehmen heute internationale Journals mit strengen Review-Richtlinien und hohen Impaktfaktoren ein, da die «Performance» von Wissenschaftlern direkt daran gemessen wird. Eine Veröffentlichung in den Mitteilungen der NGB ist nach den heutigen Bewertungskriterien für Wissenschaftler nicht karriereförderlich, und kommt somit nur als Goodwillaktion zustanden. Nichtsdestotrotz kommt die Spitzenforschung bei der NGB nicht zu kurz, werden doch deren aktuelle Resultate bei uns in Form von Vorträgen präsentiert, oder dann eben in den Mitteilungen, als Vortragszusammenfassungen publiziert. Erstpublikationen gibt es bei uns nicht, die wollen wir auch nicht, denn diese müssten auf hohem Fachniveau geschrieben werden und wären somit für die meisten unserer Leser nur schwer verständlich. Wir verstehen uns als Brückenbauer zwischen den Fachbereichen und zwischen Forschung und interessierter Öffentlichkeit. Dementsprechend müssen die bei uns publizierten Artikel zwar wissenschaftlich korrekt aber auch für Laien verständlich geschrieben sein. Dies ist bei den Vortragszusammenfassungen denn auch der Fall. Mit diesen Vortragszusammenfassungen kommen wir nun auch wieder zu Publikationen aus den Bereichen Chemie und Physik, die in den letzten zwanzig Jahren inexistent waren. Zudem handelt es sich hier um Beiträge aus der Spitzenforschung, welche in den letzten Jahrzehnten ebenfalls sehr selten waren. Aber auch hier gibt es ein Problem – Spitzenforscher sind sehr engagiert und haben in der Regel wenig Zeit für Beiträge ausserhalb der Journal-Welt. Deswegen erhalten wir auch nur von etwa der Hälfte der ReferentInnen eine solche Zusammenfassung. Umso dankbarer sind wir denjenigen AutorInnen, die sich Zeit nehmen, einen solchen Beitrag zu schreiben.

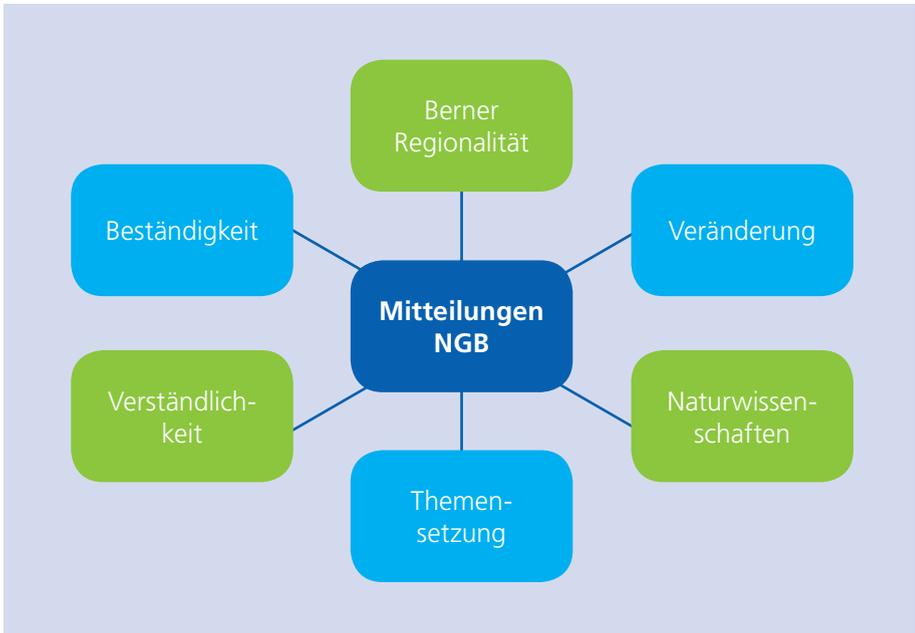
Wohin geht denn nun die Reise?

Eigentlich verfügen wir im Moment über eine tolle und spannende Themenpalette. Mit den Vortragszusammenfassungen publizieren wir Beiträge aus der Spitzenforschung und aus sämtlichen Fachbereichen, mit den «grünen» Beiträgen

decken wir vor allem das regionale Spektrum gut ab. Da wir die Vortragsthemen selbst bestimmen, nimmt auch die Fremdbestimmung des Inhaltes deutlich ab. Mit den vermutlich häufiger werdenden Themenbänden wird dieser Faktor wohl noch einmal an Bedeutung verlieren. Mit den in den letzten zehn Jahren durchgeführten, layoutlichen Anpassungen, sowie dem Einführen der Autorensseiten, wurden die Mitteilungen zudem zeitgemässer und persönlicher. Wichtig ist sicherlich, dass in Sachen Verständlichkeit der Beiträge nochmals konsequent weitergearbeitet wird. Das heisst, der Lesefluss soll gefördert werden und die Beiträge sollen v.a. die Kernaussagen einer Arbeit beleuchten. Alle Informationen, die nur für Fachleute von Belang sind, sollen zukünftig, so weit wie möglich, in einen Anhang verschoben oder auf ein verträgliches Mass gekürzt werden. Diese Informationen haben ihre Berechtigung und sind wichtig, haben aber zukünftig im Haupttext wenig verloren. Umso mehr Berechtigung haben zukünftig gute Illustrationen oder Abbildungen, vielleicht auch einmal grossformatig, die einen Beitrag und den ganzen Mitteilungsband attraktiver gestalten helfen. Eye-catcher darf und soll es auch in den Mitteilungen geben, der Leser oder interessierte Durchblätterer sollen ruhig auch wegen eines tollen Fotos an einem Beitrag hängen bleiben.

Diese evolutiven Anpassungen sollen konstant weiter getrieben werden, dabei soll aber eine Konstanz oder eben Beständigkeit gewahrt werden. Auch unsere Beiträge sollen Beständigkeit zeigen, denn es handelt sich nicht um Newsflashes, die bereits am nächsten Tag wieder überholt sind, sondern um wissenschaftliche Beiträge, die auch in zehn oder mehr Jahren noch von Relevanz sind oder als Grundlage für neuere Forschung verwendet werden können. Die Rolle der NGB als Zeitarchiv naturwissenschaftlicher Forschung auf dem Platz Bern darf nicht unterschätzt werden. Dank der Archivierung der NGB-Unterlagen, und hiermit auch der Mitteilungen, ist in der Bürgerbibliothek ein einmaliger Wissenschaftsfundus über einen Zeitraum von mittlerweile 231 Jahren erhalten. Nicht zu vergessen, dass mit der Digitalisierung der Mitteilungen (www.e-periodica.ch) diese nun auch online zugänglich sind.

Wohin geht die Reise? Angesichts der generell rückläufigen Zahl von Artikel-eingaben, könnte ein Weg in Richtung vermehrte Themenbände gehen, wie wir sie mit den beiden Bänden zu Göldi (2015) und der Geschichte der Kristallografie (2016) bereits eingeschlagen haben. Auch der Jubiläumsband zum Hallerjahr (2009) ging bereits in diese Richtung. Der Vorteil dabei – wir definieren die Inhalte und sind somit weniger fremdbestimmt, der Nachteil dabei – die schreibwilligen Personen und meist wohl auch ein Koordinator, der bei der Konzeption mithilft und Kontakte vermittelt, müssen erst einmal gefunden werden. Das ist keine einfache Aufgabe.



Wohin geht die Reise? Angesichts des für einen Milizredaktor doch relativ grossen Aufwandes und der eher stagnierenden oder abnehmenden Mitgliederzahlen, könnte man sich auch die Frage stellen, ob mehrere regionale Sektionen einen redaktionellen Regionalverbund machen könnten und künftig gemeinsam eine Zeitschrift publizieren sollen?

Gibt es vielleicht sogar noch andere Wege? Sind das Internet und digitale Beiträge unsere Zukunft? Sollen wir weg von Jahressbänden und dafür reine Themenbände publizieren, die dafür auch in kleinem Umfang im Buchhandel bezogen werden können?

Wie gesagt, ich bin eher für eine gewisse Beständigkeit, zudem ziehe ich ein gedrucktes Medium noch immer einem digitalen Beitrag vor – ausser bei der Arbeit. Eines ist sicher, die Entwicklung wird weitergehen, versprechen kann ich nichts ... ausser dass ich mich im nächsten Editorial deutlich kürzer halten werde.

Der Redaktor
Thomas Burri

Naturforschende Gesellschaft in Bern

Jahresbericht 2016



1. Wissenschaftliche Tätigkeit

Im NGB-Jahr 2016 haben wir uns mit «Visionen» beschäftigt und zwar mit Visionen aus den Bereichen der Biologie, Physik und den Erdwissenschaften. Wir hatten ein spannendes, wiederum mit hochkarätigen Referenten besetztes, Jahresprogramm zusammengestellt und waren voll der Freude, als es dann im Februar mit dem von der NGB co-organisierten Vortrag *Principles of planetary climate* der Weltkapazität Prof. R. Pierrehumbert, endlich losgehen sollte. Leider musste der Vortrag jedoch wegen Visa-Problemen des renommierten USA-Referenten kurzfristig abgesagt werden. Die Enttäuschung war gross, wurde aber dank dem hervorragenden Vortrag von Prof. Fortunat Joos über das Zusammenspiel zwischen *Klima und Co₂* mehr als wettgemacht. Mit dem Vortrag *eine Welt ohne Bienen? Bienen und das Bienensterben* sowie der anschliessenden Agroscope-Führung durch unseren Schweizer Bienenpapst Prof. Peter Neumann, folgte anlässlich der NGB-Jahresversammlung gleich das nächste Highlight. Mit seinem Präsentationstil wusste Peter Neumann neue Massstäbe zu setzen und die fast 50 Teilnehmenden tief in seinen Bann zu ziehen. Danach folgte leider erneut ein herber Schlag: Die geplante dreitägige Exkursion zum Rieskrater mit dem Thema *Vision Weltuntergang – Zeuge eines Meteoritenimpakts* musste wegen zu geringer Teilnehmerzahl abgesagt werden. Auf gutes Echo stiessen hingegen wiederum die beiden folgenden Events, ein Vortrag von Dr. Gunter Siddiqi zum Thema *Geothermie* und eine Exkursion zum *Hydrothermalfeld Grimsel* und dem *Nagra Felslabor* (Prof. Marco Herwegh, Dr. Valentin Gischtig und Dr. Thomas Spillmann), letzteres bereits nach der Sommerpause. Das schöne und aussergewöhnlich warme Septemberwetter hat wohl dazu geführt, dass der fantastische Einblick in die neuesten Einrichtungen der *Laboranalytik* des Inselspitals durch Prof. Martin Fiedler dann wieder auf ein eher geringes Interesse stiess. Die faszinierenden Ausführungen zu Visionen an der Technikfront waren mit den Vorträgen zu *autonomen Robotern* (Prof. Roland Siegwart), zur *Kernfusion* (Prof. Christian Theiler) und zum *Rechnen mit ultrakalten Atomen* (Prof. Uwe-Jens Wiese) wieder recht gut besucht.

Die Jahresbilanz bezüglich Anzahl Teilnehmende bei den NGB-Veranstaltungen fällt somit etwas ambivalent aus, einige Veranstaltungen waren überaus gut besucht, andere mussten gar ganz abgesagt werden. Der Vorstand hat sich natürlich damit befasst, was in Zukunft geändert und verbessert werden kann. Es wurden drei Beschlüsse gefasst: (1) Wir werden unsere Vorträge vermehrt im Winterhalbjahr konzentrieren und machen in den wärmeren Monaten Platz für Exkursionen.

(2) Da nun bereits zum zweiten Mal hintereinander eine mehrtägige Exkursion auf zu geringes Interesse gestossen ist, werden wir diese Form der Veranstaltung in Zukunft nicht weiterverfolgen, wollen aber mit Eintages- oder Halbtagesexkursionen weiterfahren. (3) Hingegen scheint das Ausrichten von Jahresthemen mit entsprechendem Programm auf ein sehr positives Echo zu stossen. Diesen Weg wollen wir weiterbeschreiten.

<i>Datum</i>	<i>Titel – ReferentIn/FührerIn</i>	<i>Teilnehmer</i>
29.3.2016	<i>Principles of planetary climate</i> PROF. DR. FORTUNAT JOOS, Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut und Oeschger Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern (organisiert durch Center for Space and Habitability)	41
30.4.2016	<i>Eine Welt ohne Bienen? Bienen und das Bienensterben</i> PROF. PETER NEUMANN, Institut für Bienengesundheit, Veterinärmedizin, Universität Bern (organisiert durch Eva Knop)	48
14.6.2016	<i>Geothermie in der Schweiz – direkte Nutzung für Strom und Wärme</i> DR. GUNTER SIDDIQI, Sektion Energieforschung, Bundesamt für Energie, Bern (organisiert durch Marco Herwegh)	33
27.8.2016	<i>Der Geothermie auf der Spur – Exkursion ins Hydro- thermalfeld Grimsel</i> PROF. DR. MARCO HERWEGH, Institut für Geologie, Universität Bern (organisiert durch Marco Herwegh)	23
20.9.2016	<i>Precision medicine – Neues aus der Welt der Labormedizin</i> PROF. DR. MARTIN FIEDLER, Direktor des Universitätsinstituts für klinische Chemie (UKC), Inselspital Bern (organisiert durch Marcel Egger)	23
25.10.2016	<i>Autonome Roboter die fahren, laufen, schwimmen und fliegen</i> PROF. DR. ROLAND SIEGWART, Founding Co-Director of Wyss Zurich, Director Autonomous Systems Lab, ETH Zurich (organisiert durch Ursula Menkveld)	40
22.11.2016	<i>Die Kernfusion – Beitrag zu einer nachhaltigen Energie- versorgung</i> DR. CHRISTIAN THEILER, Swiss Plasma Center, EPFL (organisiert durch Michael Moser)	57

- 13.12.2016 *Rechnen mit ultra-kalten Atomen vom Quantensimulator zum Quantencomputer* 41
 PROF. DR. UWE-JENS WIESE, Institut für theoretische Physik,
 Albert Einstein Center für Grundlagenphysik, Universität
 Bern (organisiert durch Günter Baars)

Eine wesentliche Neuerung betraf im 2016 die Kommunikation über unsere naturwissenschaftlichen Veranstaltungen auf dem Platz Bern. Der NGB-Präsident hatte zu Jahresbeginn in seinem Begrüssungsschreiben an die Mitglieder auch um deren Email-Adressen gebeten. Dank dem guten Rücklauf konnte zum einen der Veranstaltungskalender naturwissenschaftlicher Vorträge per Email drei Mal übers Jahr verteilt den Mitgliedern zugestellt werden, zum anderen war es uns nun möglich, per Email die NGB-spezifischen Veranstaltungen des Jahresprogramms in Erinnerung zu rufen und gleichzeitig ein Vortragsabstract beizulegen. Wir haben diesbezüglich sehr positive Rückmeldungen seitens der Mitglieder erhalten.

2. Publikationen

Auch im 2016 hat unser Redaktor Dr. Thomas Burri mit grossem persönlichem Engagement einen NGB-Mitteilungsband (Nr. 73) veröffentlicht. Zum zweiten Mal ist es dem Redaktor gelungen, einen spannenden Themenband zu erstellen, wobei dieses Mal der Hauptbeitrag mit dem Titel *Mineralien und Kristalle: Die Erforschung ihrer Eigenschaften im Wandel der Zeit* aus der Feder des erst kürzlich emeritierten Kristallographen/Mineralogen Prof. Thomas Armbruster stammt. Daneben konnten folgende kürzere naturwissenschaftliche Artikel im Mitteilungsband erscheinen:

- Jahresbericht des Präsidenten
(MARCO HERWEGH)
- NGB-Jahresrechnung 2015
(MATTHIAS HAUPT)
- Gibt es Mittelmoränenablagerungen? – eine Literaturrecherche auf der Basis von Bildmaterial und eigenen Beobachtungen
(VICTORIA MATZKA, MARKUS FIEBIG)
- Die Reise des Hugiblocks auf der Mittelmoräne des Unteraargletschers
(GERHARD WAGNER)
- Felsstürze und Klimawandel – Auswertung historischer Daten aus dem Kanton Bern
(UELI GRUNER, CORNELIA BRÖNNIMANN)
- Aus den Vereinsannalen der NGB – Beiträge aus den Mitteilungen 1879
(THOMAS BURRI)
- Berner Botanische Gesellschaft: Jahresbericht 2015

Wir alle danken Thomas Armbruster und Thomas Burri für ihren grossen Aufwand, welchen sie für diesen sehr gelungenen Mitteilungsband betrieben haben, danken aber ebenso allen anderen Autoren und Autorinnen für ihre Beiträge. Die NGB bedankt sich bei Rubmedia für die sehr angenehme und fruchtbare Zusammenarbeit.

3. Mitgliedschaft

Mitgliederbestand per 31.12.2016: 328 (Vorjahr 338).

Mitgliederbeiträge:

Fr. 60.– (Normalmitglieder)

Fr. 20.– (Jungmitglieder)

Fr 100.– (Korporationsmitglieder)

Die Mitgliederzahlen sind in den letzten Jahren rückläufig. Dies hat leider vor allem mit Todesfällen und altersbedingten Austritten zu tun. Wir möchten aus diesem Grund alle Mitglieder aufrufen, in ihrem Freundes- und Bekanntenkreis Werbung für eine Mitgliedschaft bei der NGB zu machen.

Alle Mitglieder erhielten das NGB-Jahresprogramm 2016, welches wiederum durch Irène Herwegh (www.ideastogo.ch) grafisch sehr ansprechend gestaltet wurde. Ihrer Verpflichtung des Übermittelns von naturwissenschaftlichem Wissen nachkommend, hat die NGB mittels des Veranstaltungskalenders im 2016 auf 46 relevante Veranstaltungen in Bern und Umgebung hingewiesen. Die Auswahl und Übersicht wurde einmal mehr von Michael Helfer erstellt und nun das erste Mal nicht mehr in gedruckter, sondern digitaler Form versendet. Ausserdem erhielten alle Mitglieder den NGB-Mitteilungsband Nr. 73.

4. Subventionen / Unterstützungen

Die SCNAT hat für die NGB einen Unterstützungsbeitrag von CHF 12 700.– gesprochen, wobei der weitaus grösste Teil für die Deckung der Kosten der Mitteilungen aufgewendet wurde. Wir danken der SCNAT sehr für den wichtigen finanziellen Beitrag, ohne welchen die Mitteilungen in ihrer jetzigen Form nicht erscheinen könnten.

5. Vorstandstätigkeiten

Der NGB-Vorstand hat sich im 2016 zu zwei ordentlichen Sitzungen am 14.3.2016 und 31.10.2016 getroffen. Nebst dem Tagesgeschäft, dem Planen, Organisieren

und Durchführen von Vorträgen/Exkursionen, den Finanzen, dem Mitteilungsband etc., hat uns Ende 2015 und Anfang 2016 die Änderung der NGB-Statuten sehr stark beschäftigt. Die letzte Revision stammte aus dem Jahr 1991 und enthielt viele alte «Zöpfe», welche dringend einer Überarbeitung bedurften. Unter der kompetenten Führung von Erwin Flückiger hat sich ein Kernteam (Matthias Haupt, Willy Tinner, Thomas Burri, Marco Herwegh) der Revision angenommen und einen Vorschlag ausgearbeitet. Dieser wurde erst dem Vorstand und danach in modifizierter Version den NGB-Mitgliedern zur finalen Abstimmung vorgelegt. Anlässlich der Jahresversammlung 2016 wurden die neuen Statuten bestätigt und sind danach in Kraft getreten. Ich möchte Erwin und dem ganzen Team für den grossen Einsatz in dieser eher trockenen, aber doch sehr wichtigen Materie sehr danken und hoffe, dass unser NGB-Schiff mit diesen Grundlagen in den nächsten Jahren auf solider Basis weiter segeln kann.

Als langjähriges Vorstandsmitglied ist Günter Baars, eines der NGB-Urgesteine, aus dem Vorstand zurückgetreten. Der gesamte Vorstand dankt ihm für den grossen Einsatz und die vielen tollen Ideen und Beiträge zu Gunsten der NGB ganz herzlich! Die von ihm organisierten Exkursionen zur Abegg-Stiftung oder in die luftigen Höhen des Münsterturms anlässlich seiner Renovation werden uns noch lange in Erinnerung bleiben! Die von Günter Baars über viele Jahre ausgeübte Funktion des Vizepräsidenten wird nun neu von unserem Vorstandsmitglied Eva Knop wahrgenommen. Im Vorstandsteam neu begrüssen durften wir Erika Gobet (Paläobotanikerin), Sönke Szidat (Chemiker und Präsident Berner Chemische Gesellschaft) und Martin Künzle (Biologe). Letzterer übernimmt den vakanten Einsitz des pro natura-Vertreters (Vorgänger Charles Huber). Sönke Szidat wird als Beisitzer tätig sein (ersetzt Günter Baars), Erika Gobet entlastet Matthias Haupt, in dem sie neu für die Mitgliederverwaltung und den Mitgliederversand zuständig ist. Matthias Haupt hatte mit den Ressorts Finanzen und Mitgliederverwaltung/-versand eine beträchtliche Doppelbelastung inne. Wir danken ihm für diese sehr wertvolle Arbeit ganz herzlich und hoffen, dass wir mit ihm als Finanzchef noch viele Jahre weiterfahren dürfen. Erika, Sönke und Martin dankt der Vorstand für ihr Engagement und wünscht ihnen eine schöne und befriedigende Zeit in unserem NGB-Kreis.

Ich möchte es auch dieses Jahr nicht versäumen an dieser Stelle allen NGB-Vorstandsmitgliedern für ihre Arbeiten zum Wohle der NGB aus tiefem Herzen zu danken. Ohne ihren freiwilligen Einsatz wäre das Aufrechterhalten der NGB nicht möglich. Ein ganz grosses Merci!

6. Zusammensetzung des Vorstandes

Präsident	Prof. Marco Herwegh	Erdwissenschaften
Vizepräsident	PD Dr. Eva Knop	Biologie
1. Sekretär	Dr. Ursula Menkveld	Naturhistorisches Museum Bern
2. Sekretär	PD Dr. Eva Knop	Biologie
Kassier	Matthias Haupt	Haupt Verlag
Redaktor	Dr. Thomas Burri	Naturhistorisches Museum Bern
Archivar	Michael Helfer	Geologie
Homepage	Dr. Michael Moser	Physik
Mitgliederverwaltung	Dr. Erika Gobet	Biologie
Beisitzer/in	Christine Keller	Gymnasium Hofwil
	Prof. Erwin Flückiger	Physik
	Prof. Willy Tinner	Biologie
	Dr. Robert Brügger	Geographie
	Prof. Dr. Marcel Egger	Physiologie
	PD Dr. Sönke Szidat	Chemie
	Martin Künzle	pro natura

7. Kontrollstelle

Frau Marianne Del Vesco
 Frau Franziska Nyffenegger

Naturforschende Gesellschaft in Bern

Rechnungsabschluss 31. Dezember 2016

1. Betriebsrechnung

Einnahmen	Einnahmen		Ausgaben	
	2016	2015	2016	2015
<i>1. Beiträge und Zuwendungen</i>				
1.1. Mitgliederbeiträge	19700.00			
1.2. Freiwillige Beiträge	900.00			
1.3. Spenden	<u>0.00</u>	20600.00	70955.00	
<i>2. Erlös aus Verkäufen</i>				
2.1. Mitteilungen	345.72			
2.2. Veranstaltungskalender	<u>0.00</u>	345.72	487.70	
<i>3. Mitteilungen der NGB</i>				
3.1. Beitrag der scnat	10700.00			
3.2. Weitere Beiträge	<u>1904.50</u>	12604.50	18867.50	
<i>4. Verschiedene Einnahmen</i>		0.00	0.00	
<i>5. Einnahmen Exkursionen</i>				
5.1. Beitrag der scnat	2000.00			
5.2. Beiträge Teilnehmer	<u>2140.00</u>	4140.00	4410.00	
<i>7. Zinsen</i>		0.00	2.85	
<i>8. Entnahme aus Fonds</i>		0.00	0.00	
Ausgaben				
<i>1. Mitteilungen der NGB</i>				
1.1. Herstellungskosten			16553.60	22324.30
<i>2. Vorträge, Tagungen, Exkursionen</i>			5118.90	4494.35
<i>3. Beiträge</i>				
3.1. scnat	676.00			
3.2. Andere Gesellschaften	<u>70.00</u>		746.00	786.00
<i>4. Informationen</i>				
4.1. Veranstaltungskalender			1004.40	2114.65
<i>6. Administration</i>				
6.1. Gebühren	91.60			
6.2. Büromaterial, Tel., Porti,	1149.15			
6.3. Drucksachen	<u>2206.45</u>		3447.20	6669.85
<i>7. Werbung</i>			0.00	0.00
<i>8. Verschiedenes</i>			171.50	279.20
<i>9. Vorstandskosten</i>			589.55	317.50
<i>10. Einlage in Fonds</i>			0.00	56000.00
<i>11. Ausserordentlicher Aufwand</i>			6080.00	0.00
<i>Gewinn</i>			3979.07	1737.20
		37690.22	94723.05	37690.22
				94723.05

2. Bilanz

	Aktiven		Passiven	
	2016	2015	2016	2015
1. Postcheck 30-1546-4	14 534.87	5 783.50		
2. Postcheck E-Deposito 92-331142-7	0.00	1 123.60		
3. Aktive Rechnungsabgrenzung	12 700.00	12 810.00		
4. Debitoren	0.00	0.00		
5. Kreditoren			0.00	0.00
6. Passive Rechnungsabgrenzung			6 080.00	2 541.30
7. Eigenkapital			21 154.87	17 175.80
	27 234.87	19 717.10	27 234.87	19 717.10

3. Fondsrechnungen

	Aktiven 2016	Passiven 2016
1. Wertschriften	125 000.00	
2. Valiant Bank Bern Universalkonto	64 867.30	
3. Postcheck E-Deposita 92-331142-7	56 035.90	
4. Verrechnungssteuerguthaben	664.85	
4. Publikationsfonds		
Bestand 1.1.2016	97 267.81	
Neuanlage	0.00	
Überschuss 2016	<u>679.80</u>	97 947.61
5. Vortragsfonds		
Bestand 1.1.2016	29 659.46	
Neuanlage	0.00	
Überschuss 2016	<u>207.30</u>	29 866.76
6. La Nicca-Naturschutzfonds		
Bestand 1.1.2016	43 212.31	
Neuanlage/Entnahme	0.00	
Überschuss 2016	<u>302.00</u>	43 514.31
7. De Giacomi-Fonds		
Bestand 1.1.2016	31 260.56	
Neuanlage/Entnahme	0.00	
Überschuss 2016	<u>218.50</u>	31 479.06
8. Wyss-Fonds		
Bestand 1.1.2016	43 456.61	
Neuanlage/Entnahme	0.00	
Überschuss 2016	<u>303.70</u>	43 760.31
	246 568.05	246 568.05

4. Bericht der Rechnungsrevisorinnen

Die unterzeichnenden Rechnungsrevisorinnen haben die Rechnung der Naturforschenden Gesellschaft in Bern für die Zeit vom 1. Januar bis 31. Dezember 2016, bestehend aus

- der Betriebsrechnung 2016
- der Bilanz per 31. Dezember 2016
- den Fondsrechnungen 2016
(Publikationsfonds, Vortragsfonds, La Nicca-Naturschutzfonds, De Giacomi-Fonds, WyssFonds)

geprüft und für richtig befunden.

Die Betriebsrechnung schliesst mit einem Einnahmenüberschuss von Fr. 3979.07 ab.

Die Bilanz weist ein Eigenkapital von Fr. 21 154.87 aus.

Das Vermögen der Naturforschenden Gesellschaft (einschliesslich der Fonds) ist in Wertschriften und auf Bank- und Postcheckkonti ausgewiesen.

Das Vermögen der zweckgebundenen Fonds beträgt:

– Publikationsfonds	Fr. 97 947.61
– Vortragsfonds	Fr. 29 866.76
– La Nicca-Naturschutzfonds	Fr. 43 514.31
– De Giacomi-Fonds	Fr. 31 479.06
– Wyss-Fonds	Fr. 43 760.31

Das Rechnungswesen ist sauber und übersichtlich geführt.

Die Rechnungsrevisorinnen beantragen der Hauptversammlung

- die Rechnung für das Geschäftsjahr 2016 zu genehmigen
- dem Kassier für seine Arbeit herzlich zu danken
- Kassier und Vorstand zu entlasten
- den Mitgliederbeitrag für 2017 bei Fr. 60.00 bzw. Fr. 20.00 (Jungmitglieder) bzw. Fr. 100.00 (Korporativmitglieder) zu belassen.

Bern, 30. März 2017

Die Rechnungsrevisorinnen



Marianne Del Vesco



Franziska Nyffenegger



Die Autoren der diesjährigen Ausgabe



MARCO HERWEGH studierte Geologie an der Universität Bern, wo er auch zum Thema experimentelle Deformation von Gesteinsanalogmaterialien promovierte. Während seiner anschließenden wissenschaftlichen Jugendjahre hat er sich mit Deformationsstrukturen in der Natur (Universität Bern) und in Hochdruck-Hochtemperatur-Experimenten (MIT, Boston) befasst, war Leiter des Labors für Rasterelektronenmikroskopie des Instituts für Geologie und hat in diesem Zusammenhang auch die materialwissenschaftliche Brücke zwischen natürlichen Gesteinen und künstlichen Werkstoffen (Kompositmaterialien Zement-Polymer) geschlagen. Seit 2012 ist er an der Universität Bern ordentlicher Professor für Strukturgeologie und befasst sich momentan unter anderem mit der Exploration der Geothermie im Falle natürlicher Systeme. Marco Herwegh ist ausserdem seit 2006 Mitglied des NGB-Vorstandes und präsidiert diesen seit 2011.



GINA RETSCHNIG stammt ursprünglich aus der Ostschweiz und studierte Ökotoxikologie an der Universität Wien in Österreich. Ihre Masterarbeit absolvierte sie bei der österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) zum Thema Rückstandsanalytik von Neonikotinoiden in Honig. Im Rahmen dieser Arbeit entdeckte sie ihre Leidenschaft für die Bienen und kehrte danach für ihre Promotion in die Schweiz zurück. Am Zentrum für Bienenforschung der Agroscope beschäftigte sie sich mit Interaktionen von Parasiten und Pestiziden und deren Effekten auf Bienenvölker. Nach erfolgreichem Abschluss der mehrfach mit Preisen ausgezeichneten Doktorarbeit folgte sie Prof. Peter Neumann ans Institut für Bienengesundheit der Vetsuisse Fakultät der Universität Bern und arbeitet seither als Post-Doc und Assistentin am Institut. In ihrer Forschung befasst sie sich weiterhin mit den Auswirkungen verschiedener Stressfaktoren auf die Bienengesundheit und möglichen Interaktionen zwischen denselben.



LARS STRAUB studierte Biologie und Chemie an der Humboldt Universität Berlin und schloss dort mit seiner Bachelorarbeit am Institut für Virologie ab. Danach folgte eine Masterarbeit an der Universität Bern (Ecology and Evolution) über DNA Barcoding mit Spinnen unter der Leitung von Prof. Christian Kropf am Naturhistorischen Museum Bern. Zurzeit absolviert er seine Doktorarbeit am Institut für Bienengesundheit unter der Leitung von Prof. Peter Neumann. Sein Forschungsschwerpunkt umfasst die Auswirkungen einer Gruppe von hochwirksamen Insektiziden, den Neonikotinoiden, auf die Bienengesundheit. Dabei erforscht er hauptsächlich die Wirkung dieser Substanzen auf die männlichen Bienen, die Drohnen.



PETER NEUMANN studierte Chemie an der TU Berlin bis zum Vordiplom und Biologie an der FU Berlin, wo er 1991 mit einer Diplomarbeit zur molekularen Ökologie der Drohnen (Männchen) von Honigbienen abschloss. Nach seiner Dissertation zur Paarungsbiologie der Honigbienen-Königinnen an der MLU Halle-Wittenberg arbeitete er als Postdoktorand an der Rhodes University in Südafrika am Sozialparasitismus legender Arbeiterinnen der Kaphonigbiene und am Kleinen Beutenkäfer, einem Parasiten von Bienenvölkern. Diese Themengebiete vertiefte er während seines anschließenden Emmy Nöther Stipendiats der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Halle an der Saale, Deutschland. Nach seinem Wechsel an das schweizerische Zentrum für Bienenforschung in Liebfeld erweiterte er sein Forschungsspektrum auf weitere Krankheiten von Bienen. Es folgten mehrere Jahre, in denen Peter Neumann insbesondere zu Verlusten von Bienenvölkern arbeitete. Er realisierte dabei einen dringenden Bedarf für stärkere internationale Zusammenarbeit in der Bienenforschung und etablierte daher zusammen mit Kollegen das Forschungsnetzwerk COLLOSS (prevention of honeybee COLony LOSSes) mit momentan mehr als 850 Forschern aus über 90 Ländern, das er bis heute leitet. Im Jahre 2013 erhielt er den Ruf auf die Professur für Bienengesundheit an der Vetsuisse Fakultät der Universität Bern, wo er seitdem das Institut für Bienengesundheit leitet. Seine aktuelle Forschung umfasst die Schlüsselfaktoren für die Bienengesundheit: Krankheiten, Pestizide und Ernährung.



GUNTER SIDDIQI hat am Imperial College (London, UK) Geologie studiert und danach eine Dissertation in der Geophysik am MIT (Cambridge, USA) geschrieben. Vor seiner derzeitigen Tätigkeit am Bundesamt für Energie in Bern rund um die tiefe Geothermie und anderen energetischen Ressourcen des tiefen Untergrunds in der Schweiz, war er als Produktionsingenieur in Geothermie- und Erdölfeldern in den Niederlanden, den USA, El Salvador und Kanada unterwegs und hat so praktische und Industrie-Erfahrungen gesammelt.



VALENTIN GISCHTIG studierte Erdwissenschaften an der ETH Zürich, wo er 2011 auch in Ingenieurgeologie promovierte. Dabei studierte er die Bewegungsprozesse bei der heutigen Hanginstabilität oberhalb Randa (VS). Danach arbeitete er zwei Jahre lang als Assistent am Schweizerischen Erdbebendienst, wo er Forschung zum Thema induzierte Seismizität bei Tiefengeothermie-Projekten betrieb. Nach einem einjährigen Forschungsaufenthalt an der UBC Vancouver in Kanada kehrte er 2014 an die ETH Zürich zurück, wo er sich mit Feld-Experimenten im Bereich hydro-mechanisches Felsverhalten, induzierter Seismizität und Geothermie beschäftigt.



THOMAS SPILLMANN studierte angewandte und Umweltgeophysik an der ETH Zürich, wo er im Jahr 2006 doktorierte. Im Anschluss wechselte er in die Praxis und unterstützte das Deep Heat Mining Team in Basel, mit Schwerpunkt mikroseismische Überwachung. Seit Mitte 2017 ist er bei der Nagra tätig und leitet Projekte in den Felslabors Grimsel und Mont Terri sowie in der Exploration für geologische Tiefenlager.



YVES MARTIN ist Ingenieur für Physik an der EPFL. Er erhielt sein Diplom zum Ingenieur im Bereich Plasmaphysik im Jahr 1986 sowie seinen Dokortitel 1992. Nach einem Post-doc in einem amerikanischen Forschungszentrum zur Fusion bei General Atomics, San Diego, ist er ans SPC zurückgekehrt, um eine Serie von Experimenten am TCV Tokamak durchzuführen. Er ist im Moment der Personalleiter des Instituts und ebenso verantwortlich für Kommunikation und PR.



AMBROGIO FASOLI hat in Mailand studiert und erhielt seinen Dokortitel 1993 an der EPFL, worauf er eine Zeit lang am JET Tokamak arbeitete und an den Experimenten teilnahm, die dank ihrer D-T Mischung bis heute den weltweiten Rekord für erreichte Fusionsleistung in einem Reaktor halten. Er wurde 1998 Professor der Physik am MIT in Boston (USA). Er kehrte als Professor im Jahr 2001 an die EPFL zurück, wo er die Verantwortung für den TCV Tokamak übernahm und durch die Konstruktion der TORPEX-Maschine die Gruppe für Experimente zu Grundlagen der Plasmaphysik begründete. Seit 2007 ist er der Leiter des Instituts.



FABIAN MANKE ist seit 2015 Doktorand am Swiss Plasma Center, in der Forschungsgruppe zu Grundlagen der Plasmaphysik. Er arbeitet mithilfe der TORPEX-Anlage vorwiegend an Modellen für den Transport von schnellen Ionen durch Plasma-Turbulenz. Zuvor erhielt er seinen Abschluss als MSci in Physik mit Theoretischer Physik vom Imperial College London.



CHRISTIAN THEILER hat an der ETH Zürich Physik studiert und seine Doktorarbeit an der EPFL im Jahr 2011 abgeschlossen. Nach einer zweijährigen Tätigkeit als Post-doc am Alcator C-Mod Tokamak am MIT in Boston (USA) ist er ans Swiss Plasma Center der EPFL zurückgekehrt. Seit September 2016 ist er dort Assistenzprofessor in Plasmaphysik. Er beschäftigt sich mit der experimentellen Erforschung der Randregion von Fusionsplasmas, insbesondere dem turbulenten Transport, der Optimierung der Magnetfeldstruktur und der Entwicklung neuer Messmethoden.



SILVAN MINNIG brachte die Faszination Biber zur wissenschaftlichen Arbeit und zum Studium Biologie mit Schwerpunkt Ökologie und Evolution an der Universität Fribourg. Sowohl Bachelor- (2011) wie Masterarbeit (2014) behandelten die Genetik der Biber. In der einen lag der Schwerpunkt auf der Analyse genetischer Proben wie Kot und Castoreum. Die andere Arbeit behandelte Proben von Totfunden für die Lancierung des gesamtschweizerischen genetischen Bibermonitorings. Momentan bearbeitet er verschiedene Arten- und Gewässerschutzstudien für ein kleineres Umweltberatungsbüro (umweltbildner.ch). Dabei liegen seine Themenschwerpunkte im Bereich der Gewässerökologie und Artenförderung (Fließgewässer bis Quellaustritte). Daneben ist er als Wanderleiter und Lehrer mit Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen in vielfältigen Wasserlandschaften der Schweiz unterwegs.



CHRISTOF ANGST studierte Biologie an der Universität Bern, wo er 1996 mit einem Master über die Brutbiologie und die soziale Organisation des Birkenzeisigs im Urserental abschloss. Nach dem Studium arbeitet er acht Jahre im KORA (Raubtierökologie und Wildtiermanagement) und suchte nach Schutzmassnahmen für Schafe gegen Luchsangriffe. Seit 2006 führt er die Biberfachstelle, eine Beratungs- und Koordinationsstelle für Biberfragen, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt.



CHRISTIAN IMESCH studierte an den Universitäten Fribourg und Neuchâtel Wildtier-Ökologie, Populationsbiologie und Pflanzenökologie und hat 2004 mit dem lic. phil. nat. in Ökologie abgeschlossen. Während einem CAS Nachdiplomstudium hat er sein Wissen in der Gewässerökologie vertieft. Heute ist er Mitglied der Geschäftsleitung des Umweltbüros Atelier für Naturschutz und Umweltfragen – UNA AG – in Bern. Er bearbeitet Projekte im Bereich Quelllebensräume, Gewässer-Revitalisierungen und der Wasserqualität- Analyse von Fließgewässern. Der Erhalt und die Förderung von naturnahen Quellen und Gewässerlandschaften sind ihm nicht nur wegen der einzigartigen biotischen Vielfalt ein zentrales Anliegen, sondern auch wegen deren Schönheit und Ausstrahlungskraft. Er schätzt diese Lebensräume als energetische Kraftorte.



GINA RETSCHNIG¹, LARS STRAUB¹ UND PETER NEUMANN¹

Forschung rund um die Bienengesundheit

Zusammenfassung des Vortrags vom 30.04.2016

Situation der Honigbienen und der Rückgang wilder Bienen

Die Westliche Honigbiene (Abb. 1), *Apis mellifera*, gehört zu einer der wirtschaftlich wichtigsten Insekten überhaupt. Ihre Funktion für die Bestäubung von landwirtschaftlichen, aber auch wildlebender Pflanzen ist von essentieller Bedeutung und gewährleistet die Nahrungsmittelsicherheit, sowie den Erhalt der Biodiversität (Vanengelsdorp & Meixner, 2010). Ungefähr 35% aller Kulturpflanzen, darunter in erster Linie solche, die Gemüse und Früchte produzieren, sind unmittelbar von Bestäubern abhängig (Gallai et al., 2009). Angesichts der beachtlichen Rolle, welche die Honigbiene für unsere Nahrungsmittelsicherheit und im komplexen Gefüge der Ökologie spielt, erscheinen die starken Völkerverluste der letzten Jahre mehr als nur besorgniserregend.



Abb. 1: Arbeiterinnen der Westlichen Honigbiene (*Apis mellifera*) auf einer Honigwabe. (Foto: G.R. Williams)

¹ Institut für Bienengesundheit, Vetsuisse Fakultät, Universität Bern

Auf der nördlichen Welthalbkuugel sind seit den 2000er-Jahren erhöhte Winterverluste von Honigbienenvölkern zu verzeichnen (NEUMANN & CARRECK, 2010). Im Jahr 2012 wurden von den Imkern in der Schweiz rund 50 % der Völker als verloren bzw. unproduktiv gemeldet (SIEBER & CHARRIÈRE, 2012). Die effektive Zahl der Bienenvölker nimmt allerdings nicht ab, weil die Imker die auftretenden Verluste mittels regelmässiger Produktion neuer Jungvölker kompensieren. Viele andere für die Bestäubung essentielle Organismen, insbesondere Wildbienen, geniessen dieses Privileg nicht und sind von sehr hohen Populationsrückgängen betroffen (BURKLE ET AL., 2013). Dies ist alarmierend, denn es wurde erst vor Kurzem gezeigt, dass die Bestäubung und infolgedessen der Fruchtansatz am höchsten ist, wenn die Pflanzen von unterschiedlichen Bestäubergruppen besucht werden (ALBRECHT ET AL., 2012). Für die massiven Rückgänge von Wildbienen und die erhöhten Verluste von Honigbienenvölkern konnte bislang keine alleinige Ursache identifiziert werden. Viel wahrscheinlicher als ein Einzelfaktor ist, dass ein komplexes Gefüge von unterschiedlichen Stressfaktoren, sowie Interaktionen zwischen denselben, die Gesundheit der Bienen beeinträchtigen können (NEUMANN & CARRECK, 2010).

Schlüsselfaktoren der Bienengesundheit

Es gibt zahlreiche Stressfaktoren, denen die Honigbienen ausgesetzt sein können. Neben unterschiedlichen Schädlingen und Parasiten, spielen auch diverse Umweltfaktoren eine entscheidende Rolle (POTTS ET AL., 2010). Dazu zählen vor allem die Qualität und Quantität der verfügbaren Nahrung, aber auch die Belastung mit bienentoxischen Stoffen, wie beispielsweise den in der Landwirtschaft eingesetzten Pestiziden. Gleichzeitig beeinflussen die genetische Diversität und Vitalität der Bienen massgeblich, wie gut Einzelbienen oder auch ein ganzes Bienenvolk mit den vorhandenen Stressfaktoren zurechtkommen. Diese Schlüsselfaktoren bilden zusammen ein komplexes Gefüge (POTTS ET AL., 2010, *Abb. 2*). Einzelfaktoren innerhalb der gleichen Gruppe, beispielsweise zwei Parasiten, können sich gegenseitig beeinflussen, aber auch Faktoren aus unterschiedlichen Gruppen, wie Parasiten und Pestizide können miteinander interagieren und die Wirkung auf die Bienen modifizieren (zB. FRANCIS ET AL., 2013, RETSCHNIG ET AL., 2014).

Auf der Ebene von Schädlingen und Parasiten bereiten den Bienen vor allem eingeschleppte, sogenannte invasive Arten Probleme. Durch die fehlende gemeinsame Entwicklung (Ko-Evolution) und dem damit verbundenen Mangel an spezifischen Abwehrstrategien, sind die Honigbienen diesen eingeschleppten Arten gegenüber äusserst anfällig. Die zurzeit grösste Bedrohung für die Westliche Honigbiene ist die aus Asien eingeschleppte ektoparasitische Milbe *Varroa destructor*. Bei Befall mit der Varroamilbe bricht ein Volk, welches vom Imker nicht erfolgreich mit milbentoxischen Chemikalien (z.B. organischen Säuren) gegen die Milben behandelt wird, innerhalb von 2–3 Jahren zusammen (LE CONTE ET AL., 2010). Die Milbe schädigt die Bienen, indem sie während der Larvenentwicklung Hämolymphe

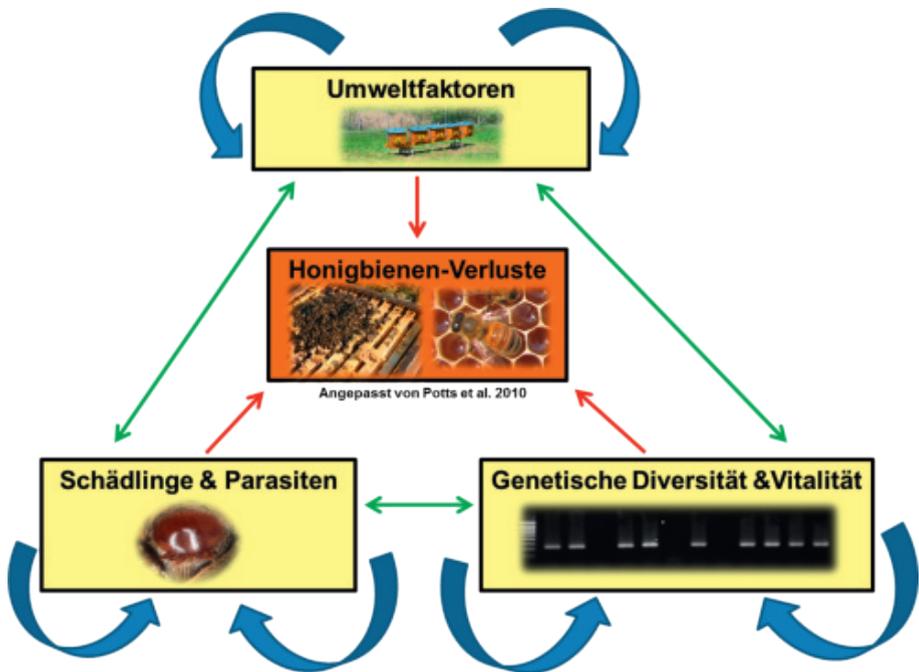


Abb. 2: Überblick zu den Stressfaktoren für die Bienengesundheit (POTTS ET AL. 2010). Interaktionen innerhalb der Gruppen sind durch blaue Pfeile gekennzeichnet und Interaktionen zwischen den Gruppen mit grünen Pfeilen.

phe (Bienenblut) saugt und die Bienen dabei als Virenvektor (Krankheitsüberträger) mit zahlreichen Viren infizieren kann (z.B. deformierter Flügelvirus oder Akutes Bienenparalyse Virus) (ROSENKRANZ ET AL., 2010).

Die Umweltfaktoren, darunter die Nahrungsmittelf Verfügbarkeit und Belastung durch bienentoxische Substanzen, betreffen sowohl Honig- als auch Wildbienen. Durch die zunehmende Fragmentierung der Landschaft, sowie das Ersetzen der pflanzlichen Vielfalt durch grossflächige industrielle Monokulturen in den landwirtschaftlich genutzten Zonen, gehen die Diversität und Qualität vieler Nährstoffe für die Bienen verloren (DECOURTYE ET AL., 2010). Die fehlende Diversität an blühenden Pflanzen führt zu einschneidenden zeitlichen Einschränkungen bei der Nahrungsmittelf Verfügbarkeit. Zur Maximierung der Produktivität werden Schädlinge in der Landwirtschaft mit Pflanzenschutzmitteln bekämpft, welche aber leider auch den Nützlingen schaden. Insbesondere die Pestizide aus der Gruppe der Neonikotinoide haben in jüngster Zeit für viel Aufsehen und Unruhe gesorgt. Bisherige Studien deuten darauf hin, dass Neonikotinoide sowohl tödliche, wie auch nicht-tödliche Auswirkungen auf die einzelnen Bienen sowie das Bienenvolk

als Ganzes haben können (BLACQUIÈRE ET AL., 2012, SANDROCK ET AL., 2014). Nichtsdestotrotz bleiben die genauen Auswirkungen dieser Substanzen höchst umstritten und es besteht immer noch die Dringlichkeit für weitere Untersuchungen und Risikoabschätzungen für die Gesundheit der Bienen (NEUMANN, 2015).

Bienenforschung und Bienenschutzmassnahmen

Es bestehen heutzutage noch immer erhebliche Wissenslücken im Bereich der Bienengesundheit. Gerade um wirksame Bienenschutz-Strategien zu entwickeln, ist Grundlagenwissen zur Biologie von Parasiten von enormer Bedeutung. Interaktionen zwischen Parasiten und Bienen, sowie die Wirkung dieser und der zahlreichen anderen Stressfaktoren auf die einzelne Biene, aber auch auf das Volk als Ganzes, sind noch nicht ausreichend aufgeklärt. Es ist Aufgabe der Forschung, Fragen in diesem Bereich zu stellen und die vorliegenden Abläufe und Effekte genau zu untersuchen. Ein besseres Verständnis der Gesundheit dieser wichtigen Tiere ist notwendig für eine nachhaltige Landwirtschaft und den Erhalt der natürlichen Artenvielfalt.

Am Institut für Bienengesundheit der Universität Bern werden von einem internationalen und hochmotivierten Team (*Abb. 3*) ganz unterschiedliche Bereiche erforscht.

Eine Studie untersuchte beispielsweise Abweichungen bei der Immunabwehr zwischen den physiologisch unterschiedlichen Sommer- und Winterbienen (STEIN-



Abb. 3: Das aktuelle Team des Instituts für Bienengesundheit mit Mitarbeitenden aus neun Ländern. (Foto: Vincent Dietemann)

MANN ET AL., 2015)². Es konnte aufgezeigt werden, dass Winterbienen ein anderes Immunprofil aufwiesen als Sommerbienen, was mit höheren Infektionsleveln des deformiertem Flügelvirus einherging. Dies könnte ein weiterer Faktor sein, der zu den erhöhten Winterverlusten von Bienenvölkern beitragen könnte. Eine andere aktuelle Studie verglich die Anfälligkeit von immaturren Arbeiterinnen der Asiatischen (*Apis cerana*) und Westlichen Honigbienen (*Apis mellifera*) bei Anwesenheit der Milbe *Varroa destructor* (PAGE ET AL., 2016). Interessanterweise konnte beobachtet werden, dass die Asiatischen Honigbienen, die mit der Milbe bekanntlich besser zurechtkommen, im Brutstadium empfindlicher auf die Anwesenheit der Milbe reagierten und bei Befall wesentlich häufiger starben (Abb. 4). Durch diesen sogenannten altruistischen (=selbstlos, uneigennützig) Selbstmord der befallenen Honigbienenbrut, wird das Volk als Ganzes vor der weiteren Ausbreitung des Parasiten geschützt. Die höhere Empfindlichkeit und das damit verbundene erhöhte Ableben der Brut als Strategie von varroatoleranten Völkern ist ein neu entdeckter Mechanismus im Bereich der Bienengesundheit und könnte dereinst ein interessanter Faktor in zukünftigen Zuchtaktivitäten darstellen.



Abb. 4: Milben-infizierte Brut (obere Reihe) und Milben-freie Kontrollbrut (untere Reihe) von Asiatischen Honigbienenvölkern (*Apis cerana*). (Foto: P. Page)

Die bestehenden Probleme im Bereich der Bienengesundheit beschränken sich nicht auf die Schweiz, sondern sind weltweit ein hochaktuelles Thema. Deswegen gibt es auf globaler Ebene zahlreiche Institute und Forschungsstätten, die sich mit dem Thema Bienengesundheit auseinandersetzen. Damit die offenen Fragen möglichst effizient bearbeitet werden können, bedarf es sowohl auf nationaler, als

² Sommerbienen, also Arbeiterinnen, die in den wärmeren Monaten des Jahres produziert werden, haben eine Lebenserwartung von nur wenigen Wochen und sind in dieser Zeit im Volk für altersabhängige Aufgaben wie die Brutaufzucht und das Sammeln von Nektar und Pollen zuständig. Winterbienen hingegen leben mehrere Monate und überbrücken die Winterzeit gemeinsam mit der Königin in einer Wintertraube. Dabei sind sie für die Regulierung der Temperatur im Volk (Thermoregulation) und die Brutpflege der ersten Generation Sommerbienen nach dem Winter verantwortlich (WINSTON, 1987).

auch auf internationaler Ebene einer sorgfältigen Koordination zwischen den Forschungsgruppen. Zu diesem Zweck wurde vor einigen Jahren das Netzwerk COLOSS (=Prevention of honey bee COLony LOSSes) gegründet. Inzwischen zählt COLOSS die beachtliche Zahl von 852 Mitglieder, welche aus 95 verschiedenen Ländern stammen (www.coloss.org). Im Rahmen dieses Netzwerkes finden regelmässig Workshops und Konferenzen statt, bei denen ein reger Austausch von Wissen unter den Forschenden ermöglicht wird. In den thematisch unterschiedlichen Arbeitsgruppen (z.B. Nachhaltige Bienenzucht, Bientoxikologie, Monitoring Völkerverluste, etc.) werden auch immer wieder gemeinsam grössere internationale Studien durchgeführt.

Neben der internationalen Forschung gibt es aber auch zahlreiche Massnahmen, welche von der Öffentlichkeit und jedem Einzelnen von uns ergriffen werden können. Ziel dieser Massnahmen ist es, die Gesundheit von Bienen, also sowohl von Honig- als auch von Wildbienen zu schützen und dadurch langfristig die Bestäubung sicherzustellen.

Einer der zentralen Schlüssel für eine Zukunft mit vitalen und leistungsfähigen Honigbienen liegt in der Imkerei (NEUMANN & BLACQUIÈRE, 2016). Es ist zentral, dass die bestehenden Imkereien weiterhin ihr Handwerk ausüben und ausreichend Nachwuchsimkerinnen und -imker zur Verfügung stehen. Ebenso von Bedeutung ist eine hygienisch einwandfreie und qualitativ hochwertige Betreuung der Bienenvölker. Dies ist besonders wichtig, um die Verbreitung von Krankheiten zwischen Bienenvölkern innerhalb eines Bienenstandes, aber auch zwischen verschiedenen Bienenständen zu verhindern. Wie in der Humanmedizin gilt auch bei den Bienen der Grundsatz, dass Vorsorge immer besser ist als Nachsorge. Ständige Weiterbildung der Imkerinnen und Imker und die anhaltende Optimierung der Bienenhaltung sind deshalb wichtige Punkte, um den Honigbienenvölkern in der Schweiz eine optimale Lebensgrundlage bieten zu können. Damit die Gesundheit der Bienenvölker langfristig optimiert werden kann, wäre eine Resistenz oder eine Toleranz gegenüber den schädlichsten Einflussfaktoren wünschenswert. Ein möglicher Weg, diesem Ziel ein Stück näher zu kommen, ist die natürliche Selektion von lokalen Völkern, die besser als andere mit den entsprechenden Stressfaktoren umgehen können (NEUMANN & BLACQUIÈRE, 2016). Auch dies erfordert vom Imkersektor ein hohes Mass an Wissen und die Bereitschaft, ihre Betriebsweise entsprechend anzupassen.

Die breitere Öffentlichkeit kann zum Wohlergehen der Bienen beitragen, indem sie die Verfügbarkeit von Nahrung optimiert. Damit während des Jahres keine Zeiträume ohne verfügbare Nahrung, sogenannte Trachtlücken, entstehen, kann die Ansaat von Blumenmischungen, welche ein durchgehendes Blütenangebot über die gesamte Saison hinweg liefern, den Bienen eine wichtige Nahrungsquelle bieten. Der Anbau und die Pflegen von solchen Blumen im Garten oder auf dem Balkon hilft den Honig- und den Wildbienen gleichermassen.

Ein weiterer relevanter Punkt ist der Einsatz von Pestiziden, welche naturgemäss nicht nur Schädlinge vernichten, sondern auch den Nützlingen schaden (NEUMANN,

2015). Gerade Gartenbesitzer sollten deswegen auf die Anwendung von Pestiziden möglichst komplett verzichten und stattdessen alternative Schädlingsbekämpfungsverfahren wählen. Durch die konsequente Wahl von Bioprodukten können Konsumenten ausserdem dazu beitragen, eine nachhaltige Landwirtschaft ohne übermässigen Pestizideinsatz zu fördern.

Wildbienen können zudem unterstützt werden, indem man ihnen durch das Aufstellen von Nisthilfen (z.B. in Form von Insektenhotels) in Gärten und auf Balkonen zusätzlichen Lebensraum verschafft.

All diese Massnahmen machen deutlich, dass die Gesundheit der Bienen in der Verantwortung eines jeden Einzelnen liegt. Durch engagierte Forschung und einen respektvollen und bewussten Umgang der Öffentlichkeit mit den Bienen und ihrem Lebensraum können die notwendigen Voraussetzungen geschaffen werden, damit die Bienen auch in Zukunft ihren beachtlichen Beitrag bei der Bestäubung der Pflanzen leisten können.

Referenzen

- ALBRECHT, M., SCHMID, B., HAUTIER, Y., MÜLLER, CB., 2012: Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proc R Soc B Biol Sci*, 279: 4845–4852. DOI: 10.1098/rspb.2012.1621
- BLACQUIÈRE, T., SMAGGHE, G., VAN GESTEL, CAM, MOMMAERTS, V., 2012: Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicol* 21: 973. DOI: 10.1007/s10646-012-0863-x
- BURKLE, L., MARLIN, JC., KNIGHT, TM., 2013: Plant-pollinator interactions over 120 years: Loss of species, co-occurrence, and function. *Science* (80), 339: 1611–1615. DOI: 10.1126/science.1232728
- DECOURTYE, A., MADER, E., DESNEUX, N., 2010: Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie*, 41: 264–277. DOI: 10.1051/apido/2010024
- FRANCIS, RM., NIELSEN, SL., KRYGER, P., 2013: Varroa-virus interaction in collapsing honey bee colonies. *PLoS ONE* 8(3): e57540. DOI: 10.1371/journal.pone.0057540
- GALLAI, N., SALLES, J-M., SETTELE, J., VAISSIÈRE, BE., 2009: Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol Econ*, 68: 810–821. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014
- LE CONTE, Y., ELLIS, M., RITTER, W., 2010: Varroa mites and honey bee health: can Varroa explain part of the colony losses? *Apidologie* 41: 353–363. DOI: 10.1051/apido/2010017
- NEUMANN, P., 2015: Ecosystem services: Academies review insecticide harm. *Nature* 520, 157. DOI: 10.1038/520157a
- NEUMANN, P., BLACQUIÈRE, T., 2016: The Darwin cure for apiculture? Natural selection and managed honeybee health. *Evol Appl*. DOI: 10.1111/eva.12448.
- NEUMANN, P., CARRECK, N., 2010: Honey bee colony losses. *J Apic Res*, 49, 1 : 1–6. DOI: 10.3896/IBRA.1.49.1.01
- PAGE, P., LIN, Z., BUAWANGPONG, N., ZHENG, H., HU, F., NEUMANN, P., CHANTAWANNAKUL, P., DIETEMANN, V., 2016: Social apoptosis in honey bee superorganisms. *Sci Rep* 6, 27210. DOI: 10.1038/srep27210
- POTTS, SG., BIESMEIJER, JC., KREMEN, C., NEUMANN, P., SCHWEIGER, O., KUNIN, WE., 2010: Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends Ecol Evol*, 25, 345–353. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007
- RETSCHNIG, G., NEUMANN, P., WILLIAMS, GR., 2014: Thiacloprid–*Nosema ceranae* interactions in honey bees: Host survivorship but not parasite reproduction is dependent on pesticide dose. *J Invertebr Pathol* 118: 18–19. DOI: 10.1016/j.jip.2014.02.008

- ROSENKRANZ, P., AUMEIER, P., ZIEGELMANN, B., 2010: Biology and control of *Varroa destructor*. *J Invertebr Pathol* 103: 96–119. DOI: 10.1016/j.jip.2009.07.016
- SANDROCK, C., TANADINI, M., TANADINI, LG., FAUSER-MISSLIN, A., POTTS, SG., NEUMANN, P., 2014: Impact of chronic neonicotinoid exposure on honeybee colony performance and queen supersedure. *PLoS ONE* 9(8): e103592. DOI: 10.1371/journal.pone.0103592
- SIEBER, R., CHARRIÈRE, J-D., 2012: Massive Völkerverluste im vergangenen Winter. *Schweizer Bienen-Zeitung*, 135: 14–17.
- STEINMANN, N., CORONA, M., NEUMANN, P., DAINAT, B., 2015: Overwintering is associated with reduced expression of immune genes and higher susceptibility to virus infection in honey Bees. *PLoS ONE* 10(6): e0129956. DOI: 10.1371/journal.pone.0129956
- VANENGELSDORP, D., MEIXNER, MD., 2010: A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *J Invertebr Pathol*, 103: 80–95. DOI: 10.1016/j.jip.2009.06.011
- WINSTON, ML., 1987: *The biology of the honey bee*. Cambridge: Havard University Press Cambridge.

GUNTER SIDDIQI¹

Geothermie in der Schweiz: direkte Nutzung für Strom und Wärme

Zusammenfassung des Vortrags vom 14.06.2016

Die Nutzung der tiefen Geothermie ist umweltfreundlich, jedoch ist sie nicht frei von Gefahren und Risiken. Die Risiken müssen auf ein so gering wie praktikabel mögliches Niveau gesenkt werden müssen. Verglichen mit anderen Formen erneuerbarer Energien benötigt die Geothermienutzung wenig Materialien, deren Abbau die Natur belastet. Auch der Ausstoss von CO₂ ist selbst dann minimal, wenn nicht nur der Betrieb, sondern auch der Bau betreffender Anlagen bei der Bilanzierung der Umweltfolgen berücksichtigt wird. Als eine der wenigen «neuen» erneuerbaren Energiequellen hängt die Geothermie nicht von Witterungsbedingungen ab, sondern kann sowohl Bandenergie liefern, wie auch flexibel eingesetzt werden. Dies fällt umso mehr ins Gewicht, als es künftig darum gehen wird, unregelmässig anfallende Stromspitzen aus anderen erneuerbaren Energiequellen auszugleichen.

Strom aus einheimischer Geothermie wird generell als dezentraler Grundlaststromlieferant vorgesehen und geothermische Wärme kann direkt mit Fernwärmenetzen genutzt werden. Jedoch haben Fortschritte in der Kraftwerk- und Regelungstechnik von Geothermie-Stromanlagen dazu geführt, dass flexible Betriebsarten möglich geworden sind. So z.B. an der Puna Geothermieanlage in Hawaii, wo 8 der 38 MW von der Hawaii Electric Company kontrolliert werden und nach Bedarf schnell nieder- oder wiederangefahren werden, um systemrelevante Hilfsdienste zu leisten, wie die Netzstützung und Netzregulierung zu liefern, als rotierende und nicht-rotierende Reserven für die Strombereitstellung sowie als Ersatz- und zusätzliches Kraftwerk. Energie aus dem Erdinneren könnte auch in der Schweiz einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten und die Abhängigkeit von ausländischen Energielieferanten verringern. Gelingt es, die Wärme, die nicht zur Stromproduktion benötigt wird, in Fernwärmenetze einzuspeisen und zu verkaufen, werden auf Grund von zukünftiger Kenntnis- und Erfahrungsgewinn und Technologieentwicklung die Kosten für geothermisch erzeugte Elektrizität am Markt durchaus konkurrenzfähig und werden gar unter jenen der meisten anderen Formen erneuerbarer Energie liegen (HIRSCHBERG ET AL., 2015).

¹ Gunter Siddiqi, Bundesamt für Energie, 3003 Bern

Aber heute wird in der Schweiz kein Strom und nur sehr selten Wärme aus der tiefen Geothermie für Konsumentinnen und Konsumenten bereitgestellt – trotz des grossen Ressourcenpotenzials in der Schweiz (HIRSCHBERG ET AL., 2015). Die Gründe sind die hohen Fündigkeitsrisiken, um Ressourcen in nutzbare Geothermiereservoirs zu wandeln; selbst bei vorgefundenen nutzbaren Reservoirs bedarf die Erschliessung sehr hoher Vorlaufinvestitionen und schliesslich existieren nur sehr wenige industrielle Betriebe, die sich in dieses Geschäft wagen können.

Konventionelle geothermische oder hydrothermale Ressourcen bedingen das Zusammenspiel dreier Faktoren (*Abb. 1*):

1. Eine hohe Temperaturen im Untergrund.
2. Die Präsenz Wasser führender Gesteinsschichten oder geologischer Strukturen.
3. Eine genügend grosse Wasserwegsamkeit des Gesteins für eine wirtschaftlich nachhaltige Heisswasser Schüttung auf der Erdoberfläche.

Wenn auch das Potenzial vorhanden ist, haben Tiefbohrungen in jüngerer Vergangenheit (Zürich Sonnengarten, St. Gallen) nicht die erwartete Fündigkeit gehabt. Das Zusammentreten aller drei erwähneter Faktoren ist relativ selten. Um sich von der natürlich vorgegebenen Fündigkeitswahrscheinlichkeit zu lösen, werden noch andere Nutzungskonzepte verfolgt. Nebst der hydrothermalen Geothermie stellt eben die petrothermale Geothermie, auch Engineered Geothermal Systems beziehungsweise EGS genannt, ein Nutzungsverfahren dar, welches lediglich eine genügend hohe Temperatur im tiefen Untergrund zur Nutzung bedingt (*Abb. 1*). Weil die Notwendigkeiten einer Heisswasser führenden Schicht oder geologischen Struktur mit genügend hoher Wasserdurchlässigkeit entfallen, ist EGS höchst attraktiv. Kaltes Wasser wird in einem quasi geschlossenen Kreislauf in den Untergrund gepresst, um eine mehrere Quadratkilometer grosse Wärmetauschfläche im heissen Gestein mittels hydraulischer (angedacht sind auch thermische oder chemische) Frakturierungs- und Stimulationsverfahren zu erschliessen. In der Produktionsphase dienen mindestens zwei Bohrlöcher der Zuführung von Wasser in das Reservoir und der zutage Förderung des Wassers, welches auf dem Weg durch das Reservoir dem Gestein die Wärme entzieht. Der Einsatz des EGS Konzepts erweitert das Potenzial der Geothermie, da die Ressourcen quasi unbegrenzt sind. Aber aufgrund der operativen und technischen Risiken ist die EGS Technologie zurzeit nicht marktreif. Seit rund zehn Jahren werden in Länder wie den USA, Island, Deutschland, Frankreich und Australien Fortschritte in der Technologieentwicklung erzielt. Selbstverständlich gibt es noch eine Reihe weiterer Nutzungs- oder Wärmeabbaukonzepte, die sich aber zumeist noch in einem technologischen Frühstadium befinden, im besten Fall pilotiert, aber noch nicht demonstriert wurden.

Für beide Nutzungskonzepte und in Anbetracht der erwarteten Temperaturen einheimischer Ressourcen, wird an der Oberfläche für Stromprojekte eine binäre Kraftwerkstechnologie eingesetzt. Dabei wird dem natürlichen Heisswasser mittels

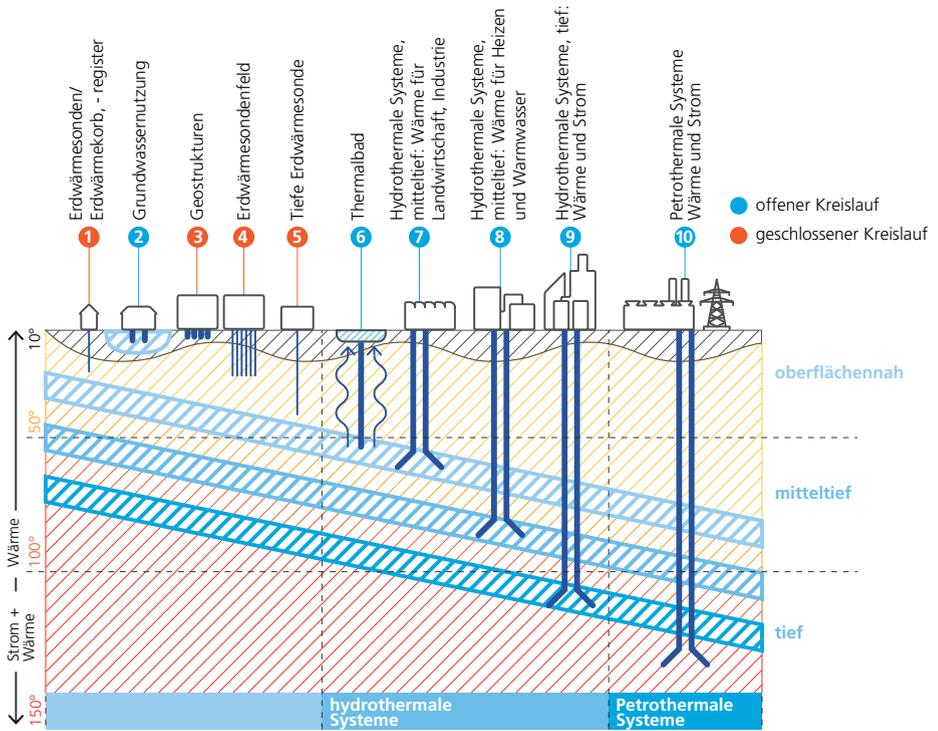


Abb. 1: Die Geothermie hat viele Nutzungsmöglichkeiten (1–6 sind in der Schweiz zum Teil sehr weit verbreitet). Die direkte Nutzung der hydrothermalen Geothermie in der Agrar- und Landwirtschaft wird derzeit im thurgauischen Schlattingen mit neuen Bohrkonzepten erprobt – Nutzungstyp 7. Das Geothermieprojekt in Riehen (BS) stellt bereits seit über 20 Jahren Wärme für Haushalte und Grosskunden bereit – ein in der Schweiz einzigartiges Projekt (Nutzungskonzept 8). Weitere Versuche in der jüngeren Vergangenheit natürlich vorkommende Heisswasser-Aquifere zu nutzen (wie zum Beispiel in Zürich) sind auf Grund mangelnder Fündigkeit gescheitert. Manchmal wird sogar anstatt des erwarteten Heisswassers für die Strom- und Wärmebereitstellung Erdgas gefunden (wie in St. Gallen – Nutzungstyp 9). Schliesslich kann es bei der Erschliessung von petrothermalen Ressourcen, wie das Pionierprojekt in Basel 2006 gezeigt hat, zu spürbaren Erdbeben kommen, die für eine Bevölkerung inakzeptabel sein kann (Nutzungstyp 10).

eines zweiten anorganischen (z.B. ein Ammoniak-Wassergemisch) oder organischen (z.B. Pentan) Arbeitsmediums die Wärme entzogen und in der Kraftwerksanlage Strom produziert. Dem Heisswasser kann danach noch weitere Wärme entzogen werden für den Absatz nützlicher Wärme mittels existierender Wärmenetze. Das so gekühlte Heisswasser wird nun wieder in das unterirdische Reservoir rückgeführt und die Zirkulation und Erwärmung des gekühlten Wassers beginnt von neuem.

Die Energiestrategie 2050 des Bundesrats begleitet seit dem Jahr 2011 die schweizerische Bevölkerung. Mit dem Störfall in einem Kernkraftwerk im japanischen Fukushima infolge eines durch ein Erdbeben verursachten Tsunamis, hat der Bun-

desrat einer Vielzahl von Tendenzen Rechnung getragen, um Szenarien für die Energiezukunft der Schweiz zu entwickeln. Die Trends sind die zunehmende Wichtigkeit einer nachhaltigen, mit der Klimapolitik kongruenten Energiewirtschaft; signifikante Kostenreduktion in der Nutzung erneuerbarer Energien; politische Instabilitäten in Nordafrika und im Mittleren Osten; Aspekte der Versorgungssicherheit und letztendlich neue Märkte, die mittels schweizerischer Technologie bedient werden können.

Der Bundesrat sieht mit der Energiestrategie 2050 Potenzial für die langfristige Nutzung der Geothermie (Abb. 2). Theoretisch ist das Potenzial sehr gross: in vier bis fünf Kilometern unter der Erdoberfläche lagert so viel Erdwärme, dass sie ein Vielfaches des Schweizer Strom- und Wärmebedarfs decken könnte. In Realität wird vermutlich nur ein kleiner Teil dessen wirtschaftlich genutzt werden können. Die Haupthemmnisse, die zum heutigen Mangel an realisierten Projekten führen, sind primär die im Vorfeld hohen Investitionskosten und das hohe Risiko der Nichtfündigkeit. Letzteres hängt eng mit dem geringen Wissensstand über den einheimischen Untergrund zusammen. Aus diesem Grund strebt der Bundesrat unter anderem einen signifikanten Zubau von Strom- und Wärmebereitstellung aus neuen erneuerbaren Energien wie der Geothermie an.

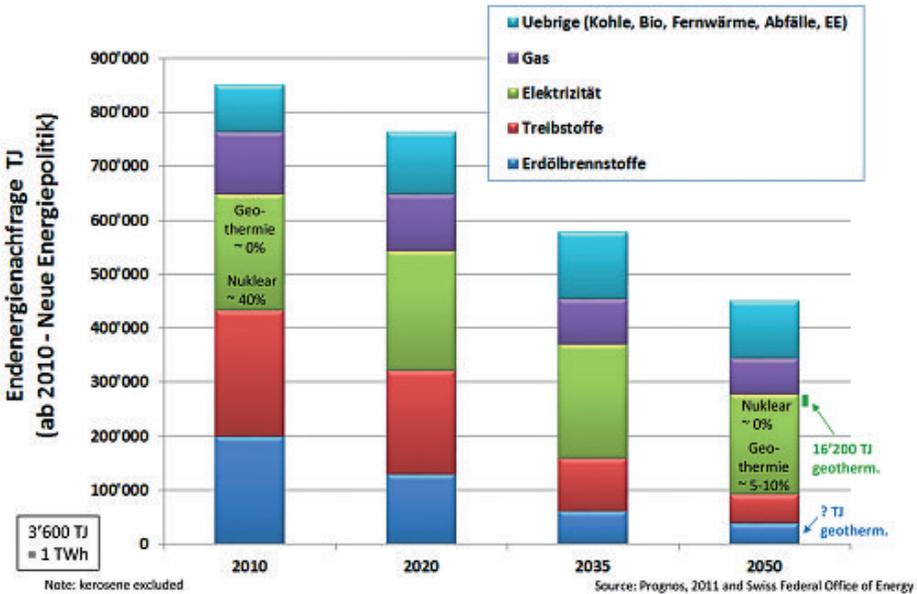


Abb. 2: Die Geothermie im Planungsszenario Neue Energiepolitik innerhalb der Energiestrategie 2050 der Schweiz. Die Stossrichtungen umfassen (1) Energieeffizienz und -sparen, (2) erhöhte Nutzung der Wasserkraft, neuer Erneuerbarer und Wärme-Kraft-Kopplung, (3) Importe, (4) Erneuerung der Netzinfrastruktur und (5) ein Ausbau der Energieforschung (PROGNOS, 2011).

Auf der anderen Seite zielt die Klimapolitik der Schweiz auf eine weitgehende Dekarbonisierung des Energiesektors ab. In der Energiestrategie 2050 zählt die Geothermie daher zu den förderbaren Technologien. Diese Ziele verfolgen auch die drei vom Parlament überwiesenen Motionen 11.3562 («Tiefe Geothermie. Offensive»), 11.3563 («Tiefe Geothermie. Schweizweite geologische Erkundung») und 11.4027 («Aktionsplan für die Geothermie»), die den Bundesrat beauftragen, über besondere Massnahmen die Nutzung der tiefen Geothermie zu fördern. Die Motionen betreffen Risiken in der Technik, Ökonomie, und Gesellschaftspolitik, die mittels einer Reihe von Massnahmen reduziert werden sollen.

Im Rahmen der am 30. September 2016 vom Parlament beschlossenen Totalrevision des Energie-Gesetzes (EnG) und der Teilrevision des CO₂-Gesetzes sowie den damit einhergehenden Revisionen der Energieverordnung (EnV) und der Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emission (CO₂-Verordnung), sollen wesentliche Elemente der parlamentarischen Aufträge umgesetzt werden: Im total revidierten Energiegesetz sind drei Förderinstrumente (Geothermie-Erkundungsbeiträge, Geothermie-Garantie, Einspeiseprämien) für Geothermie-Stromprojekte verankert. Im neu teil-revidierten CO₂-Gesetz ist das Förderinstrument (Investitionsbeitrag) zur Unterstützung von Projekten zur direkten Nutzung der Geothermie für die Wärmebereitstellung verankert. Mit der geplanten Einführung und dem Ausbau der Instrumente (i) Erkundungsbeiträge und (ii) Geothermie-Garantie für Geothermie-Stromprojekte und (iii) Beiträge zur direkten Nutzung der Geothermie durch einen Teil der CO₂-Abgabe, die noch unter dem Vorbehalt des Referendums stehen, haben Parlament und Bundesrat den Anliegen der Motionäre 11.3563 und 11.4027 durch eine pragmatische, subsidiäre, projekt-orientierte Förderung, die zudem zeitlich terminiert ist, Rechnung getragen. Die Koordination für eine geordnete Umsetzung obliegt dem BFE, swisstopo und den Standortkantonen.

Mit diesen Instrumenten für die Erkundung der Schweiz nach geothermischen Ressourcen im Untergrund und einer Nutzung durch Strom- und Wärmeprojekte werden die Rahmenbedingungen beträchtlich verbessert. Ökonomische Barrieren werden sich konsequenterweise auch senken, da sich Beiträge und Garantien positiv auf Projekt-Cashflows niederschlagen. Weiter ist angedacht, den höheren Kosten für die Erschliessung petrothermaler Ressourcen dadurch Rechnung zu tragen, dass petrothermale Geothermie-Stromprojekte, zusätzlich zu den Einspeisevergütungen für Strom aus hydrothermalen Geothermieanlagen, 7,5 Rp./kWh Elektrizität erhalten könnten. Eine effiziente Anreizsetzung über Steuern und Abgaben erfolgt in zunehmend mehr Kantonen der Schweiz über die kantonalen Gesetze zur Nutzung des Untergrunds. Dort wird meistens auf Konzessionsgebühren für die Geothermie verzichtet oder sie werden sehr tief gehalten. Weitere Steueranreize sind auf Grund der ohnehin geringen Steuerlast nicht empfehlenswert; daher werden weitere Steuervergünstigungen oder -Rabatte nicht verfolgt.

Die Förderinstrumente könnten am 1. Januar 2018 in Kraft treten, gegen das Energiegesetz war aber das Referendum zustande gekommen: Die Volksabstimmung fand am 21. Mai 2017 statt. Die Stimmbürgerinnen und Stimmbürger haben

das erste Massnahmenpaket angenommen, und so werden die geplanten Massnahmen ab dem 1. Januar umgesetzt.

Der Bundesrat hat seit Annahme der Motionen die schweizerische Energieforschungslandschaft im Bereich der tiefen Geothermie nachhaltig gestärkt und damit neue Perspektiven für die internationale Forschungszusammenarbeit geschaffen. Seit 2013 hat die Kommission für Technologie und Innovation KTI im Rahmen des Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz» den Auftrag, Aufbau und Betrieb von interuniversitär vernetzten Forschungskompetenzzentren, den Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER) zu finanzieren und steuern. Dies geschieht durch den Aufbau personeller und institutioneller Kapazitäten. Forschung und Innovation im Bereich der tiefen Geothermie werden durch das SCCER–Supply of Electricity SCCER-SoE abgedeckt, mit der ETH Zürich als Leading House und im Verbund mit 30 Organisationen aus Forschung und Wissenschaft, der Industrie und der Verwaltung. Wenn auch zu Anfang auf die Strombereitstellung mittels Geothermie (und Wasserkraft) ausgerichtet, wurde für die Periode 2017–2020 das Aufgabenfeld auf die direkte Nutzung der Geothermie für Wärme und Energiespeicherung ausgedehnt. Konzeptionell sind die Geothermie und Geo-Energieforschungsthemen einerseits im Konzept der Energieforschung 2017–2020 des Bundes verankert, welches durch die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE ausgearbeitet wurden. Andererseits hat auch das SCCER-SoE eine Roadmap erstellt, die die offenen Fragen zwischen Potenzial und dessen Realisierung und Umsetzung beleuchtet. Gemäss der Eidgenössischen Forschungskommission CORE sind die folgenden Themenbereiche von grosser Wichtigkeit:

- Physikalische, chemische und mechanische Eigenschaften von Gestein und Fluiden
- Erhalt der Integrität von Deckgestein, aber ebenso die Erzeugung von Durchlässigkeit in Reservoir-Gesteinsformationen
- Hoch-auflösende Erkundungsmethoden zur Auffindung und Evaluation von Ressourcen und damit verbundener Störungsarchitekturen
- Integrierte numerische Simulationsmethoden für dynamische Fließprozesse im Untergrund;
- Neue Methoden die Gesteinspermeabilität zu erhöhen, um optimale Wärmetauscher und Geothermiereservoirs her zustellen
- Planbare, zuverlässige und kostengünstige Erschliessungs- und Nutzungsmethoden (auch obertägiger Natur) von Geothermiereservoirs
- Methoden für die Risikoeinschätzung, Überwachung, Vermeidung induzierter Seismizität und Minderung allfälliger Konsequenzen von Schadenbeben
- Testen und Validierung von Technologien, Prozessen und Verfahrensabläufen in in-situ Bedingungen im Untergrund und Einrichtung einer entsprechenden nationalen Forschungsinfrastruktur für Geothermieforschung im Untergrund
- Nationale Pilot- und Demonstrationsprojekte für tiefe Geothermie, CO₂- und andere Gasspeicher.

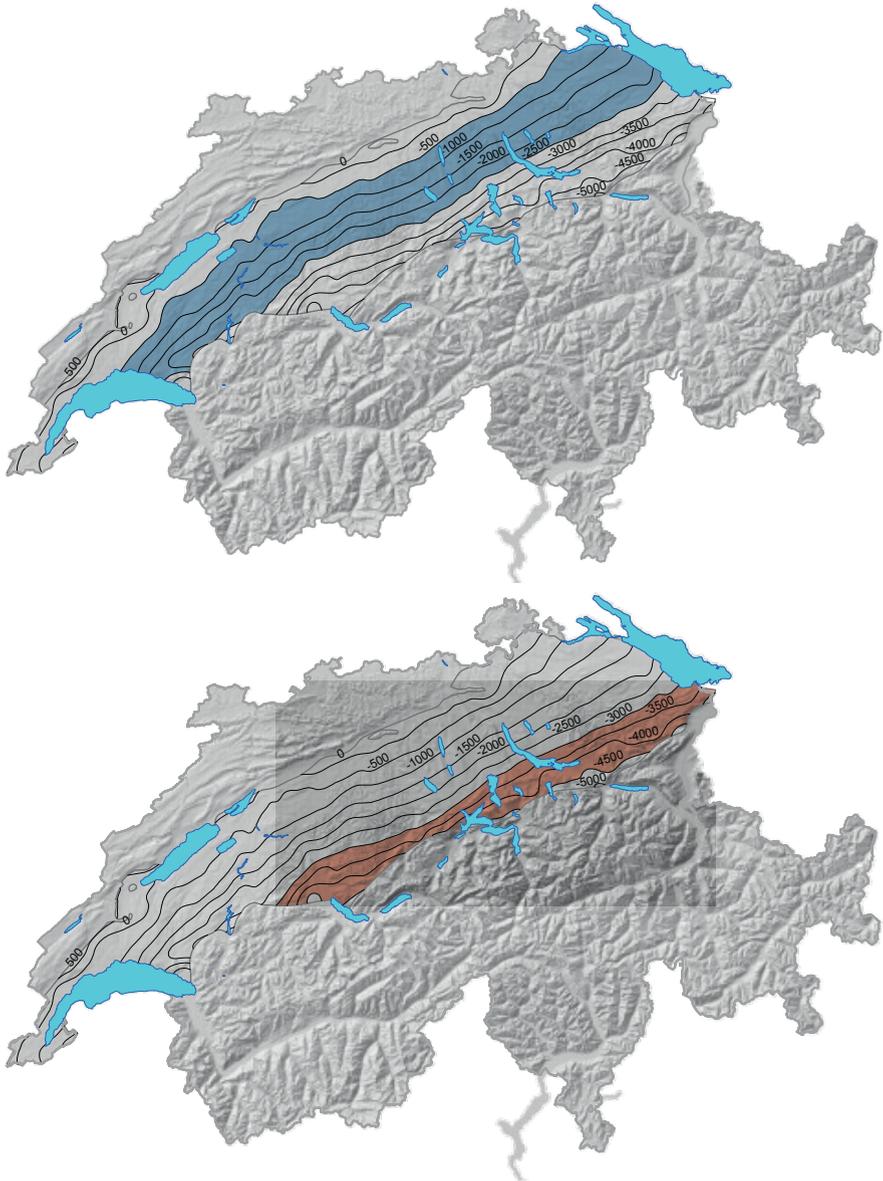


Abb. 3a+b (Karten): Es gibt einige Hinweise, dass z.B. die Oberfläche des Mesozoikums, meist in Zusammenhang mit geologischen Störungen, eine vielversprechende geologische Anordnung zur geothermischen Nutzung darstellen kann. Die Karten zeigen, wo in der Schweiz das theoretische Potenzial besteht, dass für dieses Gestein die richtigen Bedingungen bezüglich Wärmequelle, dem Wärme-Migrationsweg, den Speicherbedingungen sowie die technischen und ökonomischen Möglichkeiten für eine direkte Wärmenutzung (Abb. 3a)/für eine Nutzung zur Stromproduktion (Abb. 3b) bestehen. Ob das Potenzial realisiert werden kann, muss eine Reihe von Erkundungsprojekten aufzeigen, (Quelle: swisstopo 2017, in Vorbereitung /swisstopo nach SOMMARUGA ET AL. 2012).

Die letzten beiden Themen erfolgen im Bereich der Forschungsinfrastrukturen, wo einheimische Forschungsinfrastrukturen ausgebaut werden sollen und international über die Teilnahme am European Plate Observatory System EPOS, einer European Strategic Forum Research Infrastructure positioniert werden sollen. Diese Einrichtungen eröffnen weitere Möglichkeiten für die Realisierung internationaler Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte. Die Beteiligung an europäischen Forschungsrahmenabkommen wird – entsprechend den politischen Gegebenheiten – so weit wie möglich verstärkt. Die Beteiligung am Geothermal Technology Collaboration Program der Internationalen Energieagentur IEA Geothermal TCP, sowie an der International Partnership for Geothermal Technology IPGT eröffnet den Zugang zu und eine aktive Beteiligung an Projekten ausserhalb Europas, soweit es verfügbare Finanzmittel der Schweiz zulassen.

Die Kompetenz der Regelung über die Nutzung des Untergrunds liegt weitgehend bei den Kantonen, die ihrerseits die Nutzung des Untergrundes an die Gemeinden delegieren können. In der Bundesverfassung gibt es keine explizite Regelung über die Nutzung des Untergrundes. Nichtsdestoweniger unterstützt der Bund, wie im Postulatsbericht Riklin 11.3229 detailliert, die Bestrebungen der Kantone. Konkret erarbeitet der Bund zusammen mit den Bewilligungs-, Vollzugs- und Aufsichtsbehörden der Kantone, Richtlinien für Tiefbohrungen und assoziierten Arbeiten, und mit dem Schweizerischen Erdbebendienst Richtlinien zur Überwachung des Risikos der induzierten Seismizität.

Die schweizerische Energiepolitik und Energieforschungspolitik hat somit einen weit umfassenden Rahmen bereitgestellt, von Forschungs- und Innovationsanreizen über die finanzielle Unterstützung von projektorientierter Erkundung nach Geothermiereservoirs für die Wärme- und Strombereitstellung, bis hin zur Gewährung attraktiver Einspeisetarife für «geothermischen» Strom. Gestützt durch attraktive kantonale Bedingungen hinsichtlich Abgaben und Gebühren werden somit gute Voraussetzungen für die wohl wichtigsten Akteure geschaffen: die Industrie, welche lediglich mit den sehr viel tieferen Risiken umgehen muss, um Projekte realisieren zu können.

Referenzen

STEFAN HIRSCHBERG, STEFAN WIEMER and PETER BURGHERR, 2015: Energy from the earth. Deep geothermal as a resource for the future? TA-SWISS Study TA/CD 62/2015, vdf Hochschulverlag AG, 524 Seiten, ISBN 978-3-7281-3654-1 (Buch) / Download open access (TA 62/2015 e)

MARCO HERWEGH¹, VALENTIN GISCHIG² UND THOMAS SPILLMANN³

Der Geothermie auf der Spur

Exkursion zum Hydrothermal-Feld und Felslabor Grimsel vom 27.08.2016

Die Stromgewinnung mittels Tiefengeothermie stellt ein wichtiger Stützpfiler der Energiewende 2050 des Bundes dar. Aufgrund der fehlgeschlagenen Geothermieprojekte von Basel und St. Gallen laufen im Moment verschiedene Forschungsprojekte zur Tiefengeothermie und ihrer erfolgreichen Nutzung zur Stromgewinnungen. Um aus Wärme Strom zu erzeugen, müssen Gesteinsbereiche in Tiefen von 4–5 Kilometern mit Temperaturen von mindestens 120°C angezapft werden. Damit ein Wärmetausch zwischen dem heissen Gestein und einem mobilen Wärmeträger (z.B. Wasser) erfolgen kann, muss das Gestein einerseits eine genügend hohe Wasserdurchlässigkeit besitzen und andererseits die längerfristige Zirkulation einer ausreichend grossen Wassermenge pro Zeiteinheit gewährleisten sein.

Um diese Voraussetzungen zu erreichen, gibt es zwei generelle Ansätze: Zum einen kann versucht werden, natürliche Fliesswege in der Tiefe anzuzapfen (St. Gallen), um direkt die heissen Wässer zur Stromgewinnung zu nutzen. Diese Art der Energieförderung nennt man hydrothermale Systeme. Zum anderen können Gesteine mechanisch in der Tiefe mittels hoher Wasserdrücke aufgebrochen werden, um eine künstliche Wegsamkeit für die Wasserzirkulation zu erzeugen. Dies nennt man dann petrothermale Systeme. Man kann auch beide Systeme miteinander verknüpfen, um ein natürlich bestehendes Fliesssystem mittels Stimulierung zu erweitern.

Einleitung

Vorhersagen über das Vorhandensein von geeigneten Tiefenbereichen sind für hydrothermale Systeme von der Oberfläche aus sehr schwierig. Man weiss zwar, dass die Tiefenzirkulation heisser Wässer tatsächlich existiert, wo und wieviel Wasser jedoch zirkuliert, ist weitgehend unbekannt. Als Analogbeispiel mag die Entnahme einer Blutprobe gelten, bei welcher der Betroffene nicht Willens ist, den Arm freizulegen, sondern die Spritze ihren Weg durch den Pullover in die Vene finden muss. Es versteht sich, dass es ohne weitere technische Hilfsmittel

¹ Prof. Dr. Marco Herwegh, Institut für Geologie, Universität Bern

² Dr. Valentin Gischig, SCCER-SoE, ETH Zürich

³ Dr. Thomas Spillmann, Nagra, Wettingen

hier viele Versuche benötigt, bis man erfolgreich ist. Im Falle der Tiefengeothermie kostet jedoch jeder durch die Geologen geplante «Nadelstich» mehrere Zehnermillionen Franken. Misserfolge sind somit schlichtweg zu teuer, um mehrere Versuche zu erlauben. Ein weiteres Problem hydrothermalen Systeme sind induzierte Erdbeben. Erhöhte Wasserwegsamkeiten treten häufig in Bruchsystemen der oberen Erdkruste auf. Als Folge der Alpenbildung sind diese Bruchsysteme auch heute noch mechanisch gespannt, was die geringe aber immerhin vorhandene seismische Aktivität in der Schweiz anzeigt. Mit dem Hineinpumpen von Wässern in hydrothermal aktive Fließwege kann eine zusätzliche künstliche Seismizität ausgelöst werden. Solange nur schwache Beben ohne Schäden auftreten, ist dies unproblematisch. Werden die Erdbeben aber deutlich wahrgenommen, steigt die subjektive Wahrnehmung des Gefahrenpotentials und die Anwendung dieser Technologie wird stark hinterfragt. Im Falle petrothormaler Systeme werden beim künstlichen Aufbrechen des Gesteins ebenfalls Beben induziert. Hier wird die grosse Kunst sein, die Energiefreisetzung dieser Beben so zu kontrollieren, dass sie an der Erdoberfläche nicht spürbar sind und keine Schäden an Infrastrukturen auslösen.

Im Rahmen des Swiss Competence Centers for Research of Energy Supply (SCCER-SoE) und des Nationalen Forschungsprogramms (NFP70) arbeiten schweizweit unterschiedliche Forschungsgruppen intensiv an dieser Thematik. Der Zufall will es, dass zwei grössere Forschungsvorhaben momentan im Bereich des Grimselgebietes durchgeführt werden. Zum einen untersucht ein Konsortium, bestehend aus Forschungsteams der Universitäten Bern und Lausanne sowie der ETHZ, natürliche Fließwege im Hydrothermal-Feld Grimselpass. Zum anderen finden im Nagra Felslabor Grimsel Experimente der ETHZ zur künstlich induzierten Erhöhung der Wasserfließwege statt.

Unsere Exkursion hatte zum Ziel, diese beiden Projekte näher kennen zu lernen. Zu diesem Zweck fanden sich 23 interessierte Teilnehmer und Teilnehmerinnen um 7.35h am Institut für Geologie in Bern ein, um von Herrn Kaspar von Dysli Reisen ins Exkursionsgebiet im Grimselgebiet chauffiert zu werden. Bei phantastischem Exkursionswetter führte uns die Reise von der Mittelländischen Molasse, über die Subalpine Molasse und die Helvetischen Decken schliesslich in die Gneise und Granitkörper des Grimselgebietes. Der Exkursionsleiter, Marco Herwegh, vermittelte hierzu während der Fahrt geologische Hintergrundinformation. Nach einem kurzen Kaffee/WC Stopp am Grimselpass, ging es mit dem grossen Reise-car über die äusserst schmale Einspurfahrstrecke Richtung Oberaarsee. Die Millimeterarbeit, vor allem in den engen Kurven, verlangte Herrn Kaspar sein ganzes Fahrkönnen ab, welches er eindrucklich unter Beweis stellte (*Abb. 1*).

Am Trübensee angekommen, machten sich die Teilnehmer bei stahlblauem Himmel und warmen Temperaturen auf zur Wanderung ins Hydrothermal-Feld Grimsel.



Abb. 1: Absolute Konzentration und Präzisionsarbeit im Millimeterbereich waren von unserem Chauffeur, Herrn Kaspar, auf der engen und seitlich sehr steil abfallenden Oberaar Bergstrasse gefragt (Blick auf Grimselsee und Grimselospiz).

Einblicke in das Hydrothermal-Feld Grimsel

Vor 22–20 Millionen Jahren, in Mitten der Phase der Alpenbildung, waren die Gesteine des Aar Massivs noch in einer beträchtlichen Tiefe von rund 20 Kilometern bei Temperaturen von 450°C versenkt (CHALLENGES ET AL., 2008; ROLLAND ET AL., 2009). Unter diesen Bedingungen sind Minerale wie Quarz oder Glimmer in den granitischen Gesteinen fließfähig, sprich plastisch verformbar, und es haben sich mehrere 10er Kilometer lange Störungszonen ausgebildet (STECK, 1968; WEHRENS ET AL., HERWEGH ET AL., 2017), welche die ganze Erdkruste durchdrangen (Abb. 2 und 3). In dieser ersten Phase der Deformation (ROLLAND ET AL., 2009; WEHRENS ET AL., 2017) entstanden aus den 300 Millionen Jahren alten granitischen Gesteinen (LABHART, 1977; ABRECHT, 1994; SCHALTEGGER, 1994) in den Störungszonen (Aufschiebungen) feinkörnige, gneissartige Strukturen, sogenannte Mylonite. Während der Hebungsgeschichte wurden die Gesteine vor ca. 14–12 Millionen Jahren nochmals plastisch durch Blattverschiebungen (seitliche horizontale Verschiebung) überprägt (ROLLAND ET AL., 2009; WEHRENS ET AL., 2017; WEHRENS ET AL., 2016), bevor dann die hebungsbedingte Abkühlung der Gesteine zu einer Änderung im Deforma-



Abb. 2: Marco Herwegh erläutert den Zusammenhang zwischen der Hebung des Aar Massivs und den damit assoziierten Störungszonen.



Abb. 3: Die Störungszonen lassen sich an der Oberfläche über mehrere Kilometer verfolgen. Eine der Störungszonen wird von den Exkursions-Teilnehmern näher untersucht.

tionsmechanismus führte. Bei den nun tieferen Temperaturen wurden die Gesteine spröde deformiert, sprich sie zerbrachen. Es ist dieses spröde Aufbrechen, welches Platz und Hohlräume in den Gesteinen schaffte (Abb. 4) und somit das Eindringen von Wasser erlaubte. Hier wurden in einer ersten Phase die wunderbaren Kluffminerale des Grimselgebiets wie Quarz, Albit, Adular oder Fluorit auskristallisiert (MULLIS, 1996; BERGEMANN ET AL., 2014). Bei weiterer Abkühlung beschränken sich diese Ausfällungen vor allem auf mikrokristallines und amorphes SiO_2 (HOFMANN ET AL., 2004; BELGRANO ET AL., 2016).

Es sind die Prozesse der Zirkulation heisser Wässer und ihrer Ausfällungsprodukte die wir heute an der Oberfläche finden. Dieselben Prozesse gehen noch heute im Hydrothermal-Feld Grimsel vorstatten, allerdings in Tiefen von mehreren Kilometern. Sie manifestieren sich unter anderem im Austritt von warmen Wässern bei Gletsch oder im Transitgasstollen, in 250 m Tiefe unterhalb des Grimselpasses (PFEIFER ET AL., 1992; HOFMANN ET AL., 2004; BELGRANO ET AL., 2016). Unsere Untersuchungen belegen deshalb eindrücklich, dass ab dem Zeitpunkt, wenn eine mechanische Schwächezone in der Erdkruste gebildet wird, diese immer wieder im Verlaufe der geologischen Geschichte aufgebrochen und reaktiviert wird. Quantitative Kenntnisse über den dreidimensionalen Verlauf dieser grossräumigen Störungssysteme stellen somit den ersten wichtigen Schritt in der Erkundung von Fließsystemen bei der Tiefengeothermie dar.



Abb. 4: Grimselbreccie aus der Grimselscherzone, bestehend aus ehemaligem Granit, welcher in grosser Tiefe plastisch zu einem Gneis (konkret Mylonit) deformiert wurde, bevor kalte Deformation in seichteren Krustenpositionen zu einem Zerbrechen des Gesteins führte. Man beachte, dass die offenen Poren entlang der Risse als Fließwege für die hydrothermalen Wässer dienen, wie das Ausfällen von mikrokristallinem Quarz eindrücklich beweist.

Doch wie sehen nun die eigentlichen Fließpfade in der Tiefe aus und was ist ihre räumliche Ausdehnung? Reicht es aus, wenn wir von der Oberfläche aus die Störungssysteme anbohren, um an heisse Wässer in genügender Menge zu gelangen? Um diese Fragen zu beantworten, wurde durch die Berner Forschungsgruppe von Marco Herwegh die Ausdehnung der Paleofliesssysteme in der Grimselscherzone kartiert und quantitativ erfasst (BELGRANO ET AL., 2016). Als Markersystem wurden hierfür die zuvor erwähnten Tieftemperaturausfällungen auf Kluft- und Bruchflächen verwendet. Dank dieser flächendeckenden Aufnahme kann sehr schön aufgezeigt werden, dass die heissen Wässer räumlich sehr eingeschränkt, entlang von röhrenartigen Fließpfaden aus mehreren Kilometern Tiefe an die Oberfläche gelangen. Neue geochemische Untersuchungen zeigen, dass diese Wässer ehemalige Oberflächenregenwässer darstellen, welche vor der letzten Eiszeit (ca. 30 000 Jahre) ausgerechnet wurden, langsam in die Tiefe infiltrierten und heute entlang der Förderkanäle wieder an die Oberfläche gelangen (SCHNEEBERGER ET AL., 2017; WABER ET AL., 2017). Eine immer noch bestehende seismische Aktivität in der Erdkruste bricht hierbei kontinuierlich immer wieder die durch Mineralausfällungen verengten oder gar verschlossenen Fließwege auf, was den Fluss dieser Wässer über geologische Zeiträume hinweg aufrechterhält.

Diese geballte Ladung Wissenschaft wurde bei einem Picknick mit eifrigen Diskussionen verarbeitet und verdaut, bevor es dann zurück zum Bus und mit diesem ins Nagra Grimsel Felslabor ging. Auf dieser Fahrt hat Dr. Valentin Gischtig Hintergrundinformation zur Geothermie in der Schweiz und den Zielen hinsichtlich der Energiewende 2050 vorgestellt. Es gab noch einen Stopp mit Informationen zur Forschungsbohrung Grimsel, deren Resultate aber im Rahmen eines Vortrages im Dezember 2017 den Mitgliedern der NGB und der Mineralien- und Fossilienfreunde Berns vorgestellt werden.

Experimente zur induzierten Geothermie im Felslabor Grimsel

An der Gerstenegg haben Dr. Thomas Spillmann und Ann-Sophie Dorrer (beide Nagra) die Exkursionstruppe in Empfang genommen und mittels Kleinbussen ins Felslabor Grimsel unter dem Juchlistock chauffiert. Thomas Spillmann präsentierte einen umfassenden Überblick über die Forschungsziele des von der Nagra betriebenen Felslabors, hinsichtlich der sicheren Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle. Die mittlerweile über dreissigjährige Erfolgsgeschichte des Felslabors begann zu einem Zeitpunkt, als man noch eine Tiefenlagerung in den Kristallingesteinen der Nordschweiz in Betracht gezogen hatte. Dieses Ziel verlor in den späten 1980'er Jahren an Bedeutung, als man die starke Durchsetzung des Wirtgesteins durch Störungszonen (ähnlich den am Morgen am Grimselpass besuchten Systeme) mittels Bohrungen feststellen musste. Opalinuston, mit seinen natürlichen Selbstheilungsprozessen und seiner äussert geringen Wasserdurchlässigkeit, trat in der Folge als erfolgversprechendes Wirtgestein in den Vordergrund der Forschung.

Letztlich sind sichere Lagerkonzepte in unterschiedlichen Wirtgesteinen möglich, was verschiedene bewilligte Projekte oder bereits in Betrieb befindliche Tiefenlager im Ausland bezeugen (z.B. Finnland). Basis für diese Arbeiten bildete nicht zuletzt die internationale Forschung, wie sie auch im Felslabor Grimsel in den letzten rund 30 Jahre ununterbrochen auf Spitzenniveau betrieben wurde.

Zu Beginn lagen die Forschungsschwerpunkte stark auf der Exploration vom kristallinen Wirtgesteinen, den Strukturen und den zugehörigen hydrogeologischen Eigenschaften. Nach und nach verlagerte sich der Schwerpunkt auf die Untersuchung realistischer Lagersysteme und ihrer Auswirkungen im Nahfeld von Lagerstollen.

Mit dem Aufkommen der Tiefengeothermie sind die Kristallingesteine in der Schweiz wieder massiv ins Interesse der Forschung gerückt, werden doch in der Schweiz in 4–5 Kilometer Tiefe vor allem kristalline Gesteine angetroffen. Aus diesem Grund finden durch die ETHZ seit 2015 auch Experimente zum künstlichen Aufbrechen dieser Gesteine zur Erhöhung der Fliesspfade statt. Nach einem Aufteilen in zwei Gruppen, wurde jeweils eine Gruppe durch Valentin Gischig in diese Experimente und den Stand der Erkenntnisse eingeführt, während dem die andere Gruppe die Deformationsstrukturen in den Tunnelsystemen des Felslabors (MARCO HERWEGH) und die Konzepte der Endlagerung (THOMAS SPILLMANN) näher betrachten. Bei Halbzeit wechselten die Gruppen die jeweiligen Themenbereiche. Das eigentliche Forschungsobjekt im ETHZ Experiment ist eine Schwächezone im Gestein, welche aus einem stark deformierten basischen Ganggestein besteht und das Felslabor im südlichen Teil durchsetzt. Ziel ist es, diese Störzone zu stimulieren,



Abb. 5: Umfassende und kompetente Einführung ins Felslabor Grimsel durch Thomas Spillmann.

d.h. mit hohem Druck Wasser zu verpressen, bis es zu einem kleinen Gleiten/ Versatz entlang der Störzone kommt, oder das umliegende Gestein zerbricht. Wir wollen damit im Kleinen abbilden, was bei einer grossen Stimulation, wie z.B. in Basel, passiert. Im Gegensatz zu solchen tiefen Stimulationen sind wir im Felslabor aber ganz nahe am Geschehen. Wir kommen mit weniger als 50 m langen Bohrlöchern nahe an die Störzone, wo die Prozesse ablaufen. Dort können wir dann mit zahlreichen hoch-sensitiven Instrumenten Felsdeformation, Wasserdruck, kleine Erdbeben, Rissbildung etc. registrieren. So erhoffen wir uns die Prozesse, die während der Stimulation in einem tiefen Geothermie-Reservoir ablaufen würden, im Detail nachzubilden und verstehen zu können. Denn nur durch dieses fundamentale Verständnis und die Möglichkeit der Prozessquantifizierung können wir Strategien finden, wie die Wasserwegsamkeit von Gesteinen in grosser Tiefe optimiert und das Erdbebenrisiko bei Stimulationen minimiert werden können. Das Experiment beschäftigt zurzeit 15–20 Leute der ETHZ und deren Partner und wird voraussichtlich im Februar 2017 stattfinden. Im Rahmen der Exkursion konnten wir das Experiment-Design, Teile der Instrumentierung und die Störzone betrachten und diskutieren.

Pünktlich um 16 h ging es dann wieder mit dem Bus auf den Heimweg nach Bern, wo die Gruppe um 18 h in den sommerlichen Samstagabend entlassen wurde.

Verdankungen

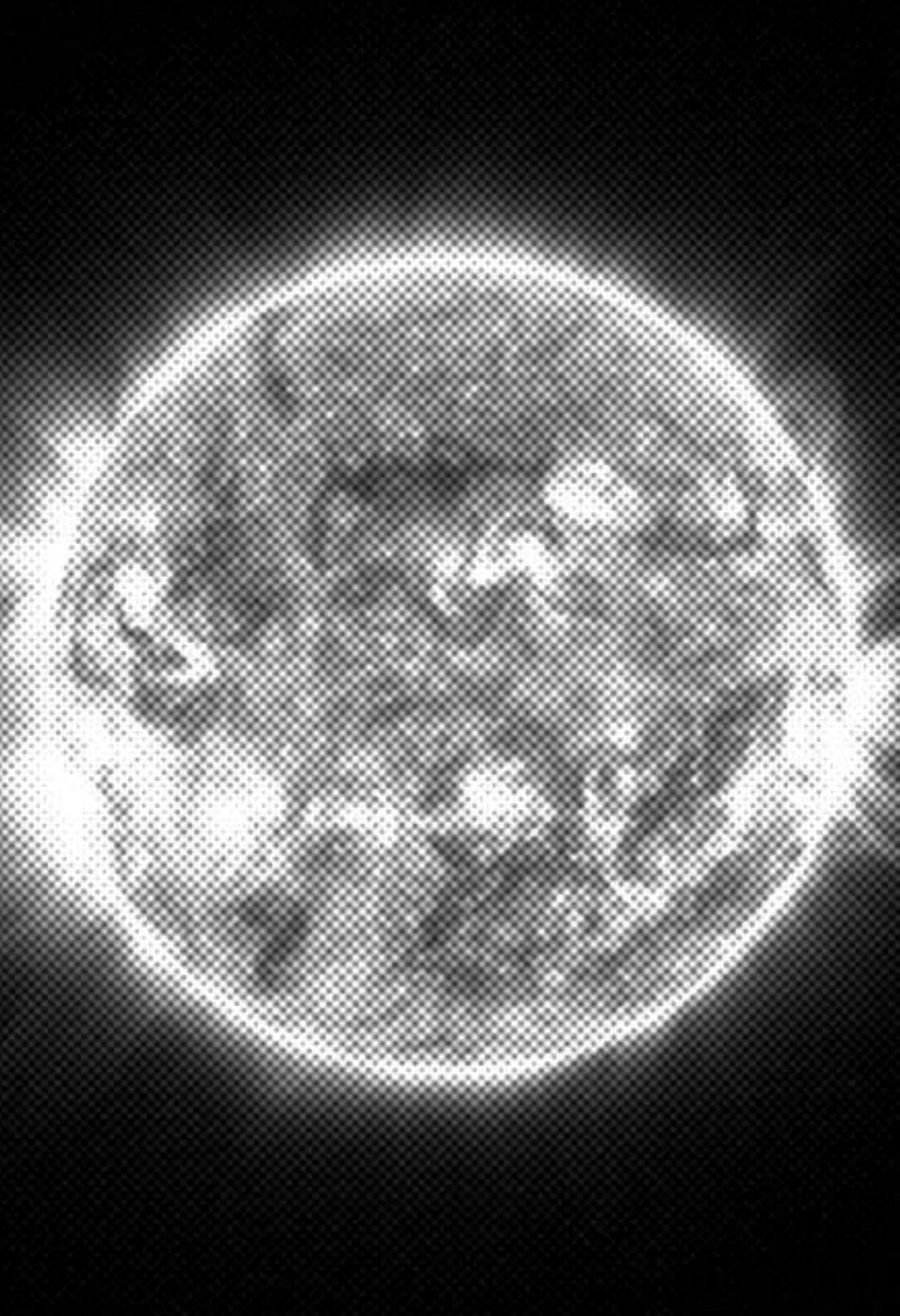
MH und VS verdanken die finanzielle Unterstützung ihrer Forschungsarbeiten zur Geothermie durch das Swiss Competence Center for Energy Research – Supply of Electricity (SCCER-SoE) und des Schweizerischen Nationalfonds.



Abb. 6: Experiment zum stimulierten Aufbrechen des Kristallingesteins.

Referenzen

- ABRECHT, J., 1994: Geologic units of the Aar Massif and their pre-Alpine rock associations: a critical review. The pre-Alpine crustal evolution of the Aar, Gotthard and Tavetsch massifs: *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, v. 74, p. 5–27.
- BELGRANO, T. M., HERWEGH, M., AND BERGER, A., 2016: Inherited structural controls on fault geometry, architecture and hydrothermal activity: an example from Grimsel Pass, Switzerland: *Swiss Journal of Geosciences*, v. 109, p. 345–364.
- BERGEMANN, C., GNOS, E., BERGER, A., WHITEHOUSE, M., PETTKE, T., AND JANOTS, E., 2014: Shear zone activity of the Grimsel area (Aar-massif): Th–Pb data in hydrothermal cleft monazite, *in Proceedings Swiss Geoscience Meeting 2014*.
- CHALLENGES, N., MARQUER, D., AND VILLA, I., 2008: P-T-t modelling, fluid circulation, and ³⁹Ar-⁴⁰Ar and Rb-Sr mica ages in the Aar Massif shear zones (Swiss Alps): *Swiss Journal of Geosciences*, v. 101, p. 269–288.
- HERWEGH, M., BERGER, A., BAUMBERGER, R., WEHRENS, P., KISSLING, E., 2017: Large-scale crustal block extrusion during late Alpine collision. *Nature Scientific Reports*, 7:413, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5428471/>.
- HOFMANN, B. A., HELFER, M., DIAMOND LARRY, W., VILLA IGOR, M., FREI, R., AND EIKENBERG, J., 2004: Topography-driven hydrothermal breccia mineralization of Pliocene age at Grimsel Pass, Aar Massif, Central Swiss Alps: *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, v. 84, no. 3, p. 271–302.
- LABHART, T. P., 1977: Aarmassiv und Gotthardmassiv, Berlin, Stuttgart, Gebrüder Bornträger, Sammlung geologischer Führer, 173 p.
- MULLIS, J., 1996: P-T path of quartz formation in extensional veins of the Central Alps: *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, v. 76, no. 2, p. 159–164.
- PFEIFER, H.-R., SANCHEZ, A., AND DEGUELDRE, C., 1992: Thermal springs in granitic rocks from the Grimsel Pass (Swiss Alps): The late stage of a hydrothermal system related to Alpine Orogeny, *in* Kharaja, and Maest, eds., *Water-Rock Interaction*: Rotterdam, Balkema.
- ROLLAND, Y., COX, S. F., AND CORSINI, M., 2009: Constraining deformation stages in brittle–ductile shear zones from combined field mapping and ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating: The structural evolution of the Grimsel Pass area (Aar Massif, Swiss Alps): *Journal of Structural Geology*, v. 31, p. 1377–1394.
- SCHALTEGGER, U., 1994: Unraveling the premesozoic history of aar and gotthard massifs (central alps) by isotopic dating – a review: *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, v. 74, no. 1, p. 41–51.
- SCHNEEBERGER, R., MAEDER, U. K., AND WABER, H. N., 2017: Hydrochemical and isotopic ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, ^3H) characterization of fracture water in crystalline rock (Grimsel, Switzerland): *Procedia Earth and Planetary Science*, v. 17, p. 738–741.
- STECK, A., 1968: Die alpidischen Strukturen in den zentralen Aargraniten des westlichen Aarmassivs: *Eclogae Geologicae Helvetiae*, v. 61, p. 19–48.
- WABER, H. N., SCHNEEBERGER, R., MAEDER, U. K., AND WANNER, C., 2017: Constraints on evolution and residence time of geothermal water in granitic rocks at Grimsel (Switzerland): *Procedia Earth and Planetary Science*, v. 17, p. 774–777.
- WEHRENS, P., BERGER, A., PETERS, M., SPILLMANN, T., AND HERWEGH, M., 2016: Deformation at the frictional-viscous transition: Evidence for cycles of fluid-assisted embrittlement and ductile deformation in the granitoid crust: *Tectonophysics*, v. 693, p. 66–84.
- WEHRENS, P. C., BAUMBERGER, R., BERGER, A., AND HERWEGH, M., 2017: How is strain localized in a meta-granitoid, mid-crustal basement section? Spatial distribution of deformation in the central Aar massif (Switzerland): *Journal of Structural Geology*, v. 94, p. 47–67.



YVES MARTIN¹, AMBROGIO FASOLI¹, FABIAN MANKE¹, CHRISTIAN THEILER¹

Die Kernfusion – Auf dem Weg zu einer alternativen Energiequelle

Zusammenfassung des Vortrags von C. Theiler vom 22.11.2016²

Die Kernfusion gilt als nahezu unerschöpfliche, sichere und umweltfreundliche Energiequelle. Im Gegensatz zur Kernspaltung werden bei dieser Technik leichte Kerne zur Bildung von schwereren verwendet. Während diese Technologie enorme Vorteile bietet, ist ihre Entwicklung gleichzeitig mit zahlreichen Herausforderungen verbunden, insbesondere im Hinblick auf die Stabilisierung und den effizienten Einschluss von den für die Fusion notwendigen, 100 Mio. °C heissen Plasmas. Es folgt eine kurze Vorstellung der Prinzipien der Fusion, des heutigen Standes der Forschung sowie der zukünftigen Entwicklung.

Die wissenschaftliche Gemeinschaft rund um die Kernfusion hat sich zum Ziel gesetzt, noch vor 2050 Strom aus dieser Energiequelle zu erzeugen. In ihrem «Fahrplan» werden die drei Etappen-Ziele beschrieben, die zur irdischen Nutzung der Kernfusion erreicht werden müssen: 1) Die Konstruktion von ITER, dem ersten Reaktor, welcher eine positive Energiebilanz erreichen soll, 2) seine wissenschaftlichen Nutzung und schliesslich 3) die Konstruktion und Nutzung von DEMO, dem ersten Prototyp eines kommerziellen Reaktors.

Dieser Artikel verschafft einen Überblick über die Prinzipien der Kernfusion und ihrer Vorteile, der dafür verwendeten Technologien, der Forschung in diesem Bereich und der Herausforderungen, welche die Implementierung dieser Energiequelle umfassen. Es werden insbesondere die Schweizer Beiträge zur Entwicklung dieses Projektes als Teil einer weltweiten Forschungsgemeinschaft präsentiert.

Fusionsreaktionen

Wie alle aktiven Sterne bezieht unsere Sonne ihre Energie aus Kernreaktionen, vor allem aus jenen, die Wasserstoff in Helium umwandeln. Diese Reaktionen, die

¹ Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL), Swiss Plasma Center (SPC), CH-1015 Lausanne

² Dieser Beitrag wurde in französischer Sprache im Bulletin SEV/VSE 4/2014 publiziert und für die «Mitteilungen» durch die Autoren aktualisiert. Der französische Original-Beitrag findet sich auch auf der Bulletin-Homepage: <http://bulletin.ch/de/news-detail/alexia-la-fusion-nucleaire.html>
Wir bedanken uns beim Bulletin SEV/VSE für die Möglichkeit diesen Beitrag zu übernehmen und bei den Autoren für die Aktualisierungen und insbesondere für die deutsche Übersetzung.

leichte Atomkerne zu schwereren verschmelzen, bilden die Familie der Fusionsreaktionen. Sie stehen im Gegensatz zur Kernspaltung, bei welcher Energie freigesetzt wird durch die Aufspaltung schwererer Atomkerne, wie Uran, in leichtere Elemente. Die Umwandlung von Wasserstoff in Helium vollzieht sich dabei in mehreren Schritten (s. *Abb. 1*):

- Zwei Protonen verschmelzen und bilden so Deuterium, auch bekannt als «schwerer Wasserstoff», bezeichnet mit D oder ^2H (also Wasserstoff, dessen Kern wie gewöhnlich ein Proton, aber nun auch ein Neutron enthält). Es werden dabei ebenso ein Positron (e^+) und ein Neutrino (ν) freigesetzt.
- Der Deuterium Kern kann wiederum mit einem Proton verschmelzen um Helium-3 (^3He) zu bilden, wobei ein Photon als Gamma-Strahlung ausgesendet wird.
- Schliesslich produziert die Reaktion zweier Helium-3-Kerne Helium-4 (^4He) und zwei Protonen.

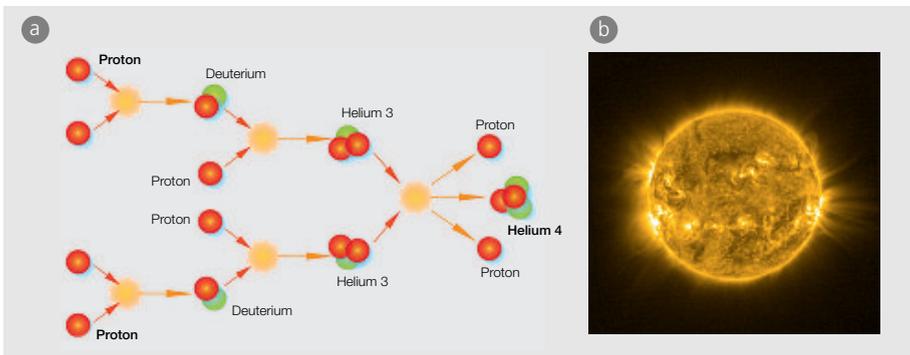


Abb. 1: Die wichtigste Fusionsreaktion in der Sonne, die Proton-Proton Reaktion (a) sowie eine Fotografie der Sonne (b).

Jede einzelne dieser Reaktionen setzt Energie frei, von welcher wir in Form von Sonnenstrahlen profitieren. Allgemein setzen Kernreaktionen eine erhebliche Menge an Energie frei, da die Bindungsenergie zwischen Protonen und Neutronen – geregelt durch die Starke Wechselwirkung – enorm ist. Sie ist viele Größenordnungen stärker als die chemische Bindungsenergie, die in Verbrennungsprozessen freigesetzt wird. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit (der «Wirkungsquerschnitt»), dass die o.g. Reaktionen ablaufen teilweise sehr klein – weswegen die Sonne bis heute noch scheint.

Um diese Energiequelle auf der Erde zu nutzen, ist es daher notwendig, eine andere Reaktion zu verwenden. Diejenige mit der bei weitem grössten Fusionswahrscheinlichkeit, und deshalb die interessanteste, ist die Fusion von Deuterium und Tritium. Symbolisiert mit T oder ^3H wird Tritium auch «superschwerer» Wasserstoff genannt und enthält ein Proton und zwei Neutronen.

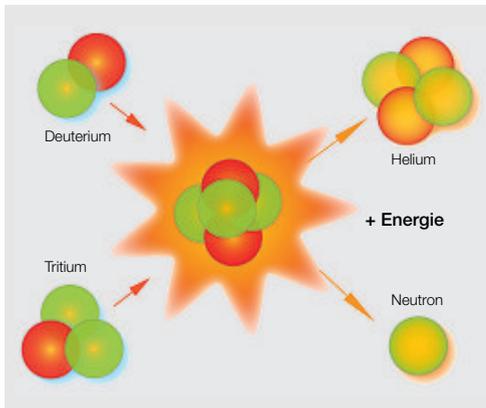


Abb. 2: Die Fusionsreaktion von Deuterium und Tritium bietet die grösste Reaktionswahrscheinlichkeit («Wirkungsquerschnitt») und wurde daher zum Ziel der Energiegewinnung ausgewählt. Sie produziert einen Helium-4-Kern (auch «Alpha-Teilchen» genannt) mit 3,5 MeV und ein Neutron mit 14 MeV.

Der Ablauf dieser Reaktion setzt dennoch voraus, dass die Teilchen über genügend kinetische Energie verfügen, um die Abstossung durch ihre elektromagnetische Wechselwirkung zu überwinden. Denn erst wenn die Teilchen sich genügen nahe kommen können, kann die starke Wechselwirkung überhand nehmen und die Fusion ermöglichen. Das einfachste Mittel, um die kinetische Energie der Teilchen wachsen zu lassen, ist ihre Temperatur zu erhöhen. Im Fall der D-T Fusion erreicht die Reaktionswahrscheinlichkeit ihr Maximum bei einer Temperatur von etwa 100 Millionen Grad Celsius!

Plasma

Bereits bei einer Temperatur von ca. 10000 Grad ist die thermische Bewegung der Teilchen in einem Gas ausreichend, um die Elektronen aus ihren Orbitalen um die Atomkerne auszustossen. Das Resultat ist eine «Suppe» aus ionisierten Atomen und freien Elektronen – ein «Plasma», welches man oft als den vierten Aggregatzustand der Materie bezeichnet. Ein Plasma wird, im Gegensatz zu einem Gas, durch eine Vielzahl kollektiver Phänomene charakterisiert, die ihren Ursprung in diversen elektromagnetischen Wechselwirkungen haben. Sein Verhalten ist deshalb in vielerlei Hinsicht spannender als das eines Gases neutraler Teilchen.

Ein sehr grosser Anteil des sichtbaren Universums besteht aus Plasma, insbesondere alle Sterne. Auf der Erde jedoch sind Plasmas eher selten. Auf natürliche Weise treten sie z.B. in Blitzen oder Nordlichtern auf. Künstlich wird Plasma z.B. in Leuchtstoffröhren oder Plasma-Bildschirmen erzeugt.

Ein Fusionsreaktor

Das Grundprinzip eines Fusionsreaktors (s. Abb. 3) besteht darin, eine D-T-Mischung auf Temperaturen von ca. 100 Millionen Grad zu erhitzen und die kinetische Energie der Reaktionsprodukte (ein Neutron und ein Helium-4-Kern) rückzugewinnen, um diese letztendlich in Elektrizität umzuwandeln. Energetisch gesehen wird ein Fusionsreaktor rentabel, wenn seine Leistung höher wird als die

Leistung, die angelegt werden muss, um das Plasma einzuschliessen und es auf der nötigen Temperatur zu halten. Physikalisch gesehen wird die Rentabilität eines Reaktors durch das Lawson-Kriterium beschrieben: Das Produkt der Plasmadichte, der Plasmatemperatur und der «Energieeinschlusszeit» muss einen bestimmten Grenzwert überschreiten. Die Energieeinschlusszeit entspricht der charakteristischen Zeitspanne, über welche ein System seine Wärme verliert. Sie wird berechnet, indem man die Energie des Systems durch die Leistung dividiert, die benötigt wird, um eben jene Energie aufrechtzuerhalten.

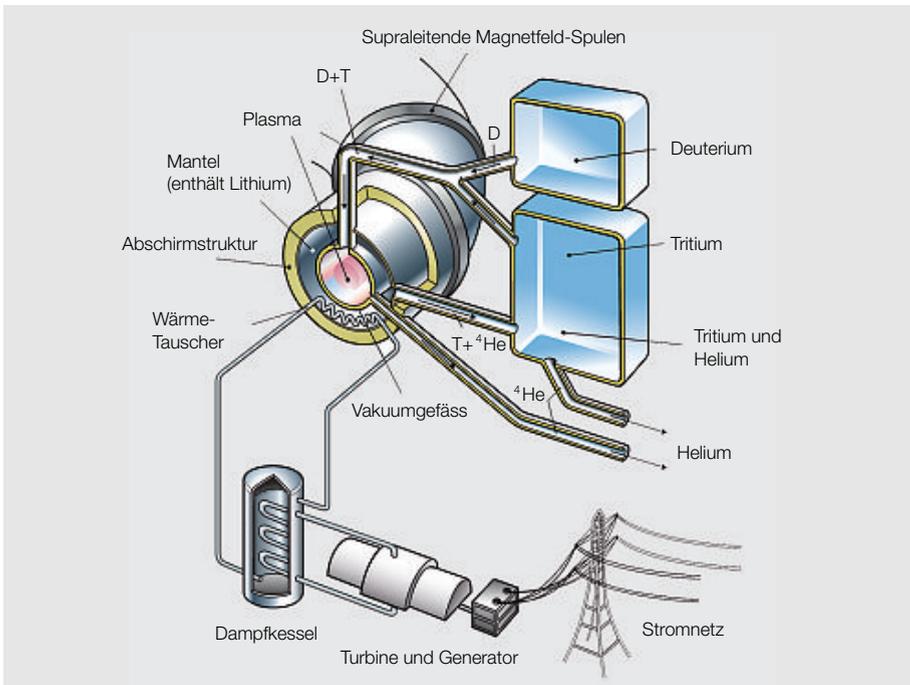


Abb. 3: Funktionsschema eines Fusionsreaktors.

Die Wahl des Reaktortyps

Das Lawson-Kriterium kann auf zwei sehr unterschiedliche Weisen erfüllt werden, die von zwei verschiedenen Reaktortypen ausgehen:

- In einem Reaktor für Trägheitsfusion wird die D-T-Mischung mithilfe von Hochleistungs-Lasern unter extrem hohen Druck gesetzt, wodurch sich die Plasmadichte stark erhöht – allerdings nur für eine sehr kurze Zeitspanne, also mit kurzer Energieeinschlusszeit.

- In einem Reaktor für Fusion mittels magnetischem Einschluss nutzt man das Prinzip, dass ein weit weniger dichtes Plasma in einem Magnetfeld eingeschlossen werden kann – dies jedoch für sehr viel längere Zeiträume.

In beiden Fällen wird der Grossteil der frei werdenden Energie von Neutronen mit einer Energie von 14 MeV getragen. Diese werden im «Blanket» abgebremst, der inneren Schutzhülle der Reaktorwand. Dieses Abbremsen produziert Wärme, die wiederum durch ein Kühlsystem abgeführt wird, um mithilfe von üblichen Kraftwerksturbinen und Generatoren Strom zu erzeugen. Die Module des Blanket werden gleichzeitig zum Brüten von Tritium dienen, welches in Kollisionen der Neutronen mit im Blanket eingeschlossenem Lithium-6 gebildet wird. Im Gegensatz zum Tritium, welches wegen seiner relativ kurzen Halbwertszeit nicht natürlich vorkommt und deshalb aus Lithium gebildet werden muss, existiert Deuterium in riesigen Mengen im Wasser. Die Forschung in Europa setzt vor allem auf das magnetische Einschlussprinzip, da es als vielversprechender für die Entwicklung eines Reaktors eingeschätzt wurde.

Diese Entscheidung, begleitet von substanziellen Investitionen, hat es Europa ermöglicht, eine weltweite Schlüsselposition in der Fusionsforschung zu bekleiden. So beheimatet Europa die zurzeit leistungsfähigste Fusionsforschungsanlage sowie den bereits erwähnten und sich im Bau befindenden ITER.

Vorteile der Fusion

Das Hauptinteresse an der Kernfusion beruht darauf, dass sie erhebliche Mengen an Energie aus häufig vorkommenden «Brennstoffen» freisetzen kann, und dies bei minimalen Auswirkungen auf die Umwelt. Deuterium ist mit einem Verhältnis von 1 zu 6500 Wasserstoffatomen natürlich in Wasser vorhanden. So haben wir z.B. genügend Deuterium im Genfer See, um den Gesamtenergiebedarf der Schweiz für zehntausende von Jahren zu decken – und dabei ist der kontinuierliche Zufluss von neuem Wasser in den See noch nicht einmal berücksichtigt. Lithium ist etwas weniger häufig, doch sind seine Vorkommen (besonders in seiner im Wasser gelösten Form) zur Deckung des gesamten weltweiten Energiebedarfes für einige zehntausend Jahre mehr als ausreichend.

Zudem sind die Elemente und Isotope, die in den Fusionsreaktionen produziert werden, nicht radioaktiv. Lediglich die Komponenten des Reaktors selbst werden durch Neutronen aktiviert. Jedoch verliert der Grossteil der vorgesehenen Materialien ihre Radioaktivität in weniger als 100 Jahren. Der verbleibende Teil kann intern wiederverwertet werden, z.B. für den Bau eines neuen Reaktors.

Im Gegensatz zur Kernspaltung sind Fusionsreaktionen keine Kettenreaktionen, sodass es keine Möglichkeit einer Kernschmelze gibt. Ferner wird der Brennstoff nur in kleinen, kontrollierten Mengen in die Mitte des Plasmas injiziert um eine optimale Operation des Reaktors zu erlauben. Es reicht also im Problemfall

aus, die Brennstoffzufuhr zu unterbrechen um alle Reaktionen zum Erliegen zu bringen.

Schlussendlich produziert die Fusion auch kein CO_2 und ist unabhängig von allen meteorologischen Bedingungen. Sie ist daher geeignet, Energie lokal und «am Laufband» zu erzeugen, so wie es unsere Zivilisation heute in vielen Bereichen benötigt.

Magnetischer Einschluss

Das Konzept des magnetischen Einschlusses basiert darauf, dass geladene Teilchen magnetischen Feldlinien folgen. In einem homogenen und geradlinigen Magnetfeld z.B. haben die Bahnen der Teilchen die Form einer Helix um eine Feldlinie herum. Eine solch simple Konfiguration ist jedoch unzureichend für einen Reaktor, da die Verluste von Teilchen entlang der Feldlinien zu gross wären.

Die Idee, die Feldlinien daher in der Form eines Torus zu schliessen, ist schon sehr früh entstanden. Dabei bleibt dieses «toroidale» Magnetfeld jedoch nicht gleichmässig, sondern es entsteht ein radialer Gradient, der die Teilchen vertikal driften lässt. Das Hinzufügen eines «poloidalen» Magnetfeldes (s. *Abb. 4*) führt zu einer «Verdrillung» der Feldlinien, welche nun abwechselnd durch den unteren und oberen Teil des Plasmas führen und so den Effekt der Driften ausmitteln.

Dieses poloidale Magnetfeld kann entweder durch einen toroidalen Stromfluss im Plasma erzeugt werden, oder durch komplex geformte Spulen. Ersteres Konzept trägt den Namen «Tokamak»- ein Akronym aus dem Russischen – und ist die am weitesten entwickelte Methode des Plasmaeinschlusses. Letzteres Konzept wird «Stellarator» genannt und wird weiter unten im Zusammenhang mit Wendelstein 7-X kurz beschrieben.

Der Tokamak

Tokamaks (s. *Abb. 4*) sind wissenschaftliche Anlagen zur Förderung unseres Verständnisses von heissen Plasmas und deren effizientem Einschluss. Die ersten Reaktoren, insbesondere ITER, werden ebenso auf diesem Konzept basieren. Ein Tokamak besteht prinzipiell aus 4 Grundkomponenten:

- Eine torusförmige Vakuum-Kammer, in welcher das Plasma erzeugt und erhalten wird. Die heutigen Tokamaks besitzen Vakuum-Kammern, deren Torus Radius (auch «grösserer Radius» genannt) zwischen 0,5 und 3 Metern misst.
- Eine Toroidal-Feldspule, bestehend aus mehreren Einzelspulen, welche die Vakuum-Kammer in regelmässigen Abständen umschliessen und in Serie geschaltet sind. Dieser Spulensatz erzeugt das primäre (toroidale) Magnet-

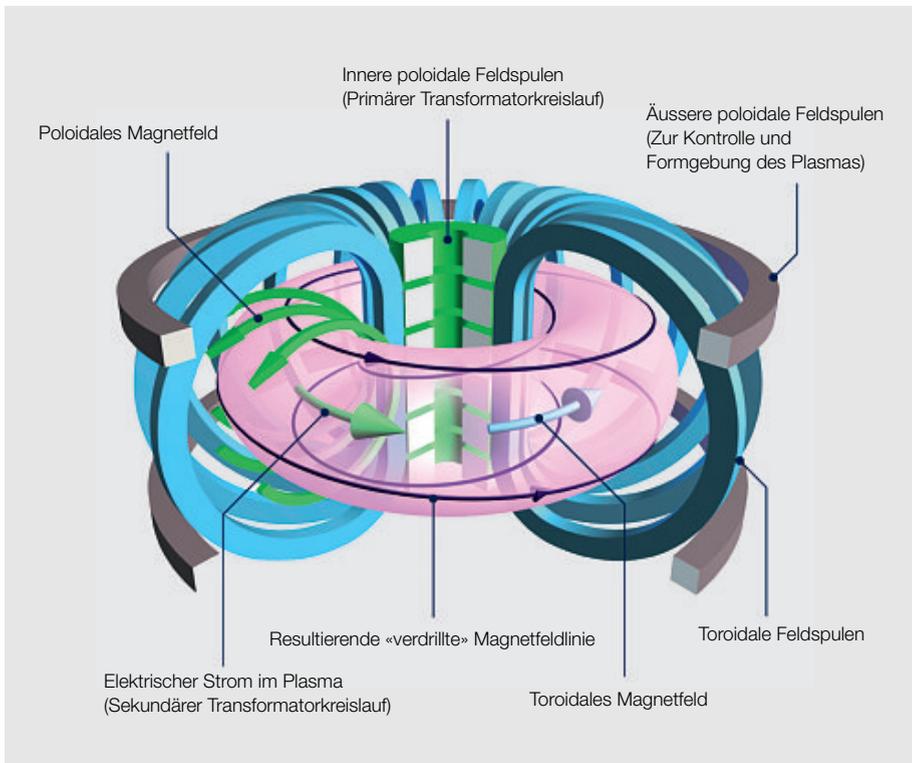


Abb. 4: Schema des Tokamak-Konzepts.

feld, dessen Stärke in der Mitte der Vakuum-Kammer 1 bis 8 Tesla beträgt. Mehrere Tokamaks sind noch mit Spulen aus Kupfer ausgestattet, wobei die neuesten nun mit supraleitenden Magneten funktionieren.

- Ein Transformator, bestehend aus ein oder mehreren Feldspulen, in denen Strom in toroidaler Richtung fließt, welcher nach dem Prinzip der Induktion den Stromfluss im Plasma hervorruft. In aktuellen Tokamaks werden so Ströme von einigen Hunderttausend bis Millionen Ampere induziert.
- Ein dritter und letzter Satz von Poloidal-Feldspulen produziert ein poloidales Magnetfeld, welches die Modifikation der Form des Plasma-Querschnitts erlaubt. Es ist insbesondere möglich, Konfigurationen zu erzeugen, in denen das poloidale Magnetfeld in einem Punkt zu Null gesetzt wird – einem sogenannten «X-Punkt». Die Oberfläche des Plasmas wird in diesem Fall sozusagen durch diesen Punkt hindurch gezwungen, was es ermöglicht, das Plasma weiter entfernt von den Wänden der Vakuum-Kammer zu halten und dabei genau zu kontrollieren, auf welche Wandkomponenten das Plasma und seine Energie letztlich treffen.

Ogleich Tokamaks stark in ihrer Grösse und ihrem Design variieren, bestehen sie alle aus diesen 4 Grundkomponenten, zu denen noch Heizungssysteme und eine Vielzahl von Messinstrumenten hinzukommen.

Aufheizen des Plasmas

Der Stromfluss im Tokamak-Plasma dient nicht nur dem Plasma-Einschluss, sondern führt gleichzeitig zu einer Erhitzung des Plasmas. Jedoch verringert sich der elektrische Widerstand des Plasmas mit ansteigender Temperatur, wodurch diese ohmsche Heizung unzureichend ist, um die letztlich benötigten Temperaturen zu erreichen.

Daher wurden zwei andere Methoden zur Aufheizung entwickelt, die auf sehr unterschiedliche physikalische Prozesse zurückgreifen (s. *Abb. 5*): Die Aufheizung durch elektromagnetische Wellen (im Spektrum der Radio- oder Mikrowellen) sowie Neutralteilcheninjektion.

Mikrowellenheizung

Die Heizung durch elektromagnetische Wellen nutzt die Möglichkeit, die Leistung in einer solchen Welle durch eine Resonanz auf Teilchen zu übertragen, wie es in Mikrowellen für den Hausgebrauch geschieht. Mehrere Phänomene innerhalb des Plasmas besitzen klar definierte Resonanz-Frequenzen und erweisen sich

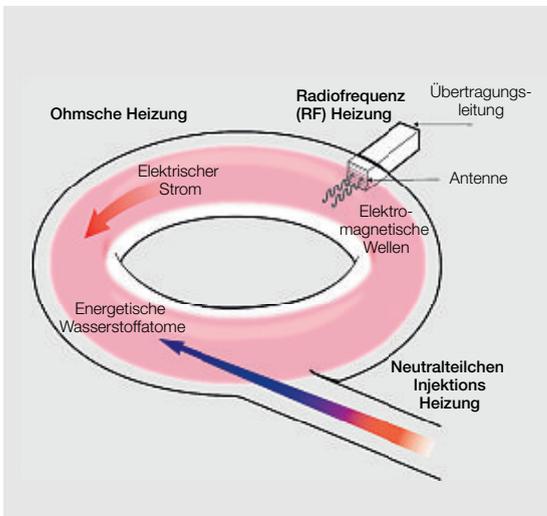


Abb. 5: Die verschiedenen Arten von Heizungssystemen für das Plasma: Ohmsche Heizung, Heizung mithilfe von elektromagnetischen Wellen (Mikrowellenheizung) und Neutralteilcheninjektion.

daher als nützlich. Zum Beispiel vollzieht sich die Rotation der geladenen Teilchen um die magnetischen Feldlinien mit einer Frequenz, die ausschliesslich von der lokalen Stärke des Magnetfelds abhängt, welche wiederum primär entlang des grösseren Radius des Torus abnimmt. Daher tritt eine geeignete Welle, die von aussen eingestrahlt wird, an einem bestimmten Radius z.B. in Resonanz mit der Rotationsbewegung der Elektronen. Die Leistung dieser Welle wird also genau dort – und nur dort – auf die Elektronen übertragen. Diese Art der Aufheizung wird «Elektronen-Zyklotron-

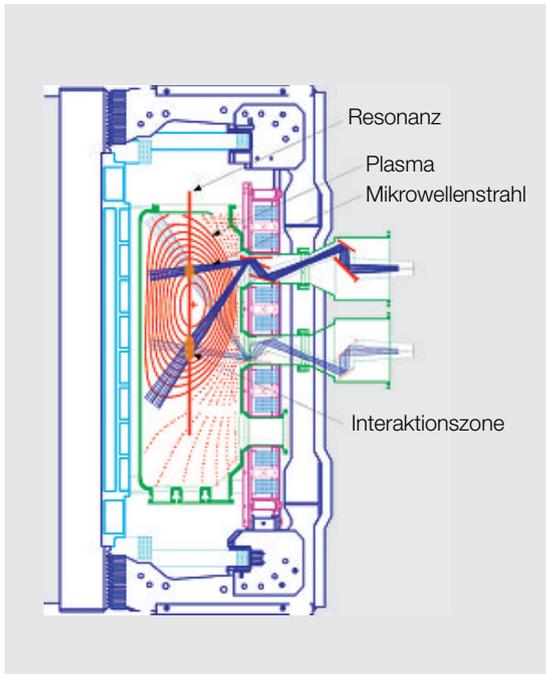


Abb. 6: Das Mikrowellenheizungssystem und Spiegelanordnung des TCV Tokamaks (französisch «Tokamak à Configuration Variable») des Swiss Plasma Center (SPC) an der EPFL.

Resonanzheizung» genannt. Im Allgemeinen liegt die Frequenz der hierbei injizierten Wellen im Bereich der Mikrowellen, in der Größenordnung von 100 GHz, und wird so gewählt, dass sie einer Resonanzfrequenz in der Mitte des Plasmas entspricht. Wenn der Strahl dieser Wellen schmal genug ist, besteht ebenso die Möglichkeit andere Teile des Plasmas, bis hin zu seiner Oberfläche, aufzuheizen, indem man den Strahl vertikal justiert (s. Abb. 6).

Zum Erzeugen dieser Mikrowellen werden Gyrotrons benutzt: Sie liefern gewöhnlich zwischen 500 und 1000 kW Leistung pro Gerät. Grosse Tokamaks werden mit bis zu 20 MW Mikrowellenleistung betrieben.

Neutralteilcheninjektion

Dieser Prozess besteht darin, einen Strahl ungeladener Teilchen mit hoher Energie in das Plasma zu injizieren. Diese Energie wird dort durch Kollisionen auf die Plasma-Teilchen übertragen. Die Absorption des Strahls beginnt daher schon, sobald dieser in das Plasma eintritt, erhöht sich jedoch mit zunehmender Plasmadichte, wodurch ein grosser Teil der Leistung erst nahe der Mitte des Plasmas übertragen wird. Generell wird der Strahl neutraler Teilchen tangential injiziert, um einen längeren Bereich der Absorption zu erhalten. Die injizierten Teilchen müssen eingangs ungeladen sein, um ungehindert vom Magnetfeld des Tokamak ins Plasma eindringen zu können.

Ein Neutralteilcheninjektor enthält einen Ionen-Beschleuniger, bestehend aus einer Plasmaquelle zwischen einer Anode und einer Kathode. Diese Ionen, meist Deuterium, werden dort in Richtung des Plasmas beschleunigt und durchqueren dann eine Kammer, in welcher sie neutralisiert werden, bevor sie weiterhin zum Plasma gelangen. Wie bei der Mikrowellenheizung sind einige Tokamaks mit Neutralteilcheninjektoren von mehreren MW Leistung ausgestattet.

Messinstrumente

Da es nicht möglich ist, ein gängiges Messinstrument wie ein Thermometer in einem Fusionsplasma zu platzieren, musste eine weite Palette von Messinstrumenten entwickelt werden, um Plasmas und die diversen Phänomene in ihrem Inneren zu charakterisieren. Im Folgenden werden die Grundprinzipien einiger dieser Messmethoden erläutert.

Räumliche Verteilung des Plasmastroms

Eine Reihe von magnetischen Sonden in der inneren Wand des Tokamak misst die lokale Stärke des poloidalen Magnetfelds. Ausgehend davon ist es möglich, den Gesamtwert des elektrischen Stroms im Plasma zu berechnen. Da normalerweise eine Vielzahl solcher Sonden zur Verfügung steht, kann ebenso auf die räumliche Verteilung dieses Stroms und daher auf die Position und sogar die Form des Plasmas geschlossen werden.

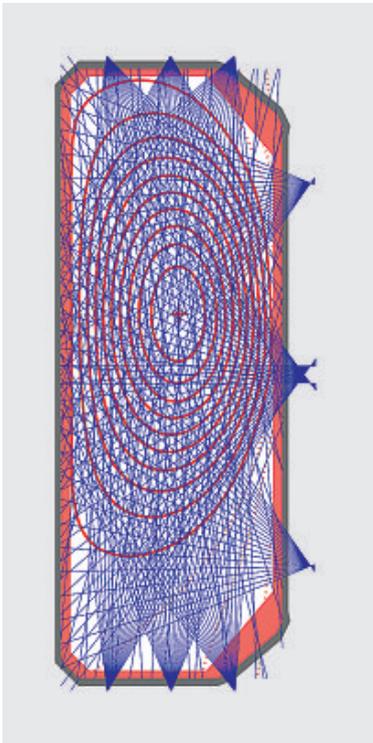


Abb. 7: Verteilung der zehn tomografischen Kameras, jeweils mit 20 Kanälen, die um die Vakuum-Kammer des TCV platziert sind.

Strahlungsspektrum

Das Plasma emittiert ein weites Spektrum an Strahlung, dessen Messung verschiedenste Informationen liefert: Das Messen von weicher Röntgenstrahlung (d.h. Röntgenstrahlung mit geringer Energie) erlaubt die Erfassung komplexer magnetischer Strukturen mithilfe von tomographischer Analyse – ähnlich der Modelle im medizinischen Bereich. Sichtbares Licht dient u.a. dazu, Teile des Plasmas zu erkennen, in denen Verunreinigungen vorkommen.

Plasmadichte

Die Dichte des Plasmas kann durch Interferometrie gemessen werden: Die Hälfte eines Laserstrahls durchdringt das Plasma, während die andere Hälfte ausserhalb der Maschine verläuft. Während das Laserlicht das Plasma durchdringt, wird es durch seine Dichte abgebremst, was zu einem abwechselnden Muster aus Licht und Schatten führt, wenn beide Hälften wieder zusammengeführt werden – es entsteht ein Interferenzmuster. Durch das Zählen der Wechsel in diesem Muster wird so die Plasmadichte bestimmt.

Plasmatemperatur

Die Temperatur des Plasmas wird mithilfe von Lasern bestimmt: Wenn ein Sensor das Laserlicht misst, welches von den Elektronen gestreut wird (s. Abb. 8), erhält er eine grössere oder kleinere Wellenlänge als im ursprünglichen Laser, abhängig davon, ob die Elektronen sich jeweils auf den Sensor zu, oder von ihm weg bewegen (Doppler-Effekt). Da sich die Elektronen in einem Plasma in alle Richtungen bewegen und typischerweise eine sogenannte Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung besitzen, misst ein solcher Sensor ein Spektrum gleich einer Gauss'schen Glockenkurve, zentriert auf der ursprünglichen Wellenlänge des Lasers. Je höher die Temperatur des Plasmas ist, desto höher sind die Geschwindigkeiten der Elektronen und desto breiter ist dieses Spektrum. Das Messen der Breite dieses Spektrums gibt also direkten Rückschluss auf die lokale Plasmatemperatur entlang des Lasers.

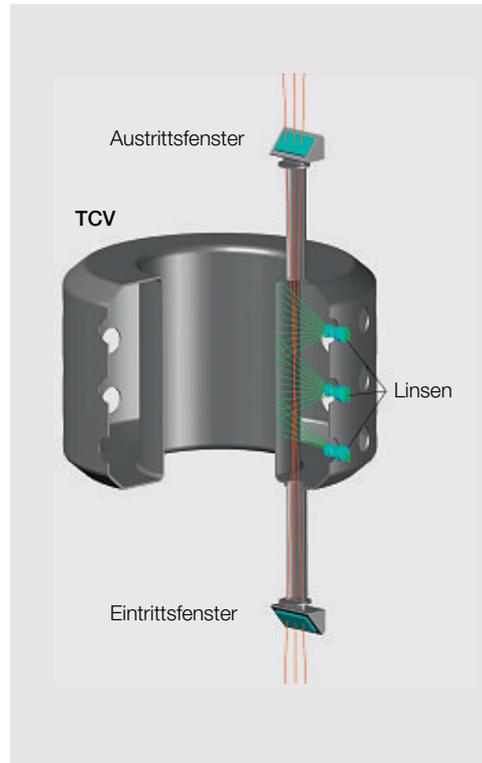


Abb. 8: Schema der Anlage zur Messung von Thomson-Streuung, welche zur Bestimmung der Plasmatemperatur dient.

Der TCV Tokamak

Der Tokamak am Swiss Plasma Center (SPC) an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), besitzt als Besonderheit einen Satz von 16 Poloidal-Feldspulen, um das Plasma auf sehr vielfältige Weise zu formen. Daher erhielt er auch seine Bezeichnung «Tokamak à Configuration Variable», kurz TCV (s. Abb. 9). Der grössere Radius des Torus beträgt 90 cm. Auf der zentralen (toroidalen) Achse des Plasmas wird typischerweise ein Magnetfeld von 1,5 Tesla erzeugt, während der Stromfluss im Plasma bis zu 1 MA erreichen kann. Der poloidale Querschnitt der Vakuum-Kammer ist dreimal so hoch wie breit und die 16 Poloidal-Feldspulen sind auf beide Seiten der Kammer verteilt. Diese Auslegung ermöglicht es, die Eigenschaften des Plasmas abhängig von seiner Form zu untersuchen. So konnte z.B. nachgewiesen werden, dass eine gewisse Elongation des Plasmas (d.h. das Verhältnis seiner Höhe zu seiner Breite) und Dreieckigkeit (d.h. die radiale Position des höchsten Punktes des Plasmas im Verhältnis zu seiner Mitte) beide vorteilhaft

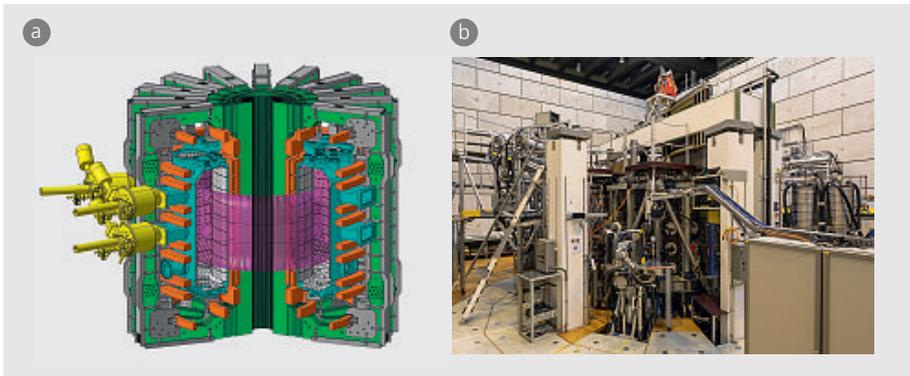


Abb. 9: Der TCV Tokamak: Technisches Schema (a) mit Plasma (violett), Vakuum-Kammer (cyan), Toroidal-Feldspule (grün), Transformator- und Poloidal-Feldspulen (orange) und Komponenten der Mikrowellenheizung (gelb), sowie eine Fotografie in ähnlicher Perspektive (b).

sind, um die Energieeinschlusszeit zu erhöhen. Des Weiteren können neue Plasma-Konfigurationen erprobt werden. Vor kurzem erst haben so die Physiker an der EPFL zum weltweit ersten Mal ein Plasma erzeugt, dessen Form teilweise einer Schneeflocke gleicht. Diese Konfiguration erhielt so den englischen Namen

«snowflake», entsprechend der hexagonalen Struktur seines X-Punktes, also jenem Punkt, in welchem das poloidale Magnetfeld zu Null gesetzt wird (s. Abb. 10).

TCV ist zudem mit einem komplexen Elektronen-Zyklotron-Heizungssystem ausgerüstet. Neun Gyrotrons liefern jeweils 500 kW an Leistung, die mithilfe einer Spiegelanordnung nicht nur an verschiedenen Radien, sondern auch mit variierendem Injektionswinkel in toroidaler Richtung ins Plasma eingespeist werden kann. Eine teilweise toroidale Injektion hat zum Vorteil, dass das Plasma so nicht nur aufgeheizt wird, sondern in ihm ebenso ein Stromfluss erzeugt wird. Die lokale Stromerzeugung im Plasma kann für eine starke Reduzierung des Verlustes von Plasma nach aussen eingesetzt werden, wodurch im TCV Temperaturen von mehr als 100 Millionen Grad erreicht werden können.

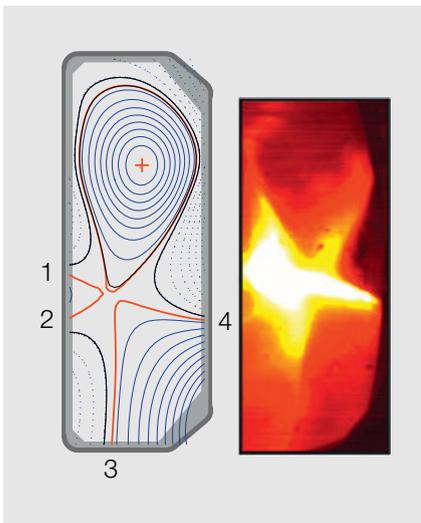


Abb. 10: Magnetische Rekonstruktion des Plasmaquerschnittes (a) und Fotografie (b) eines Plasmas in der Konfiguration «snowflake» («Schneeflocke»), benannt nach der hexagonalen Struktur seines X-Punktes.

Der JET Tokamak

In Europa wurde schon vor vielen Jahren ein gemeinsames Forschungsprogramm ins Leben gerufen, um die wissenschaftlichen Anstrengungen zur Fusion zu koordinieren. Neben den sehr verschiedenen konzipierten, national betriebenen Tokamaks hat Europa dafür einen grösseren Tokamak namens «JET» (für «Joint European Torus») in der Nähe von Oxford konstruiert. Mit einem grösseren Radius von 3 m, hat sich diese Maschine am meisten an eine positive Energiebilanz angenähert, d.h. einem Szenario, in welchem das Verhältnis von Fusionsleistung zu injizierter Leistung (die Leistungsverstärkung) eins beträgt. So wurde eine Fusionsleistung von bis zu 16 MW erreicht, was 64% der ins Plasma injizierten Leistung (25 MW) entspricht. JET hat es ebenso ermöglicht, alle bisher in Betracht gezogenen Betriebsmodi für Tokamaks zu testen. Bis heute aktiv, erfüllt JET seine Aufgabe als Testbank für das nächste Etappenziel: ITER. Des Weiteren wurden die Module seiner inneren Wand kürzlich von den bis heute gängigen Kohlenstoffkacheln auf Wolframkacheln umgerüstet.

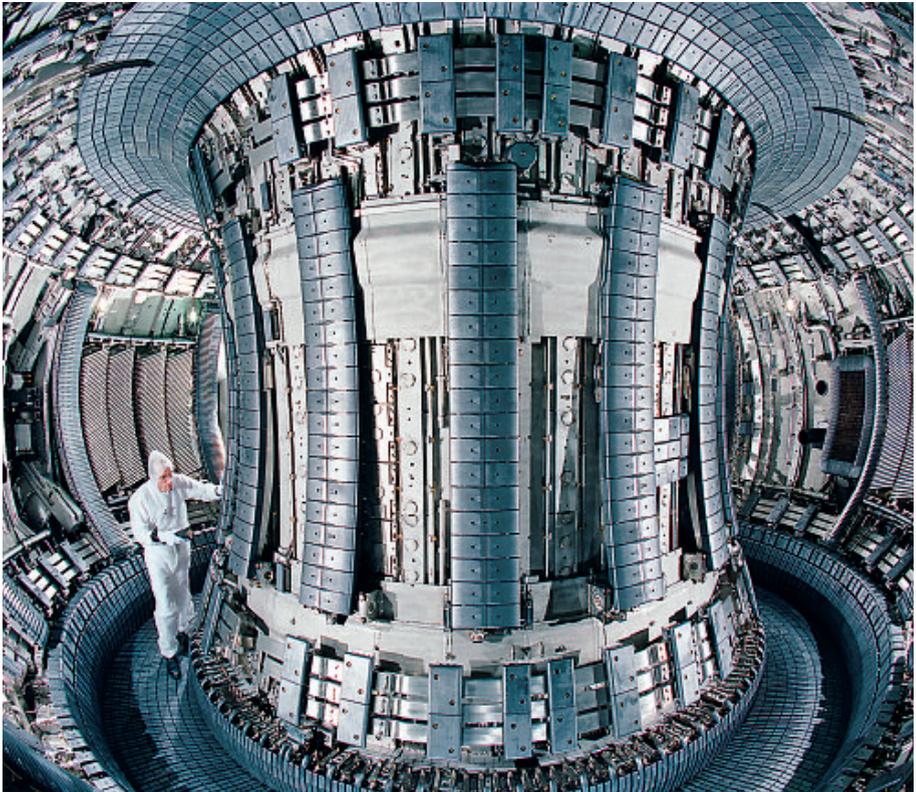


Abb. 11: Innenansicht der Vakuum-Kammer des JET Tokamak.

Der Wendelstein 7-X Stellarator

Wie oben bereits kurz erwähnt, kann die für den Plasmaeinschluss nötige Verdrillung der Magnetfeldlinien nicht nur durch einen Plasmastrom erzeugt werden (wie es im Tokamak geschieht), sondern auch durch passend geformte Magnetfeldspulen. Und genau dieses Prinzip wird im Stellarator-Konzept verwendet. Dies hat den Vorteil, dass kein Strom im Plasma induziert werden muss, was das Erreichen eines Dauerbetriebs erleichtert und gewisse Instabilitäten unterdrückt. Dem gegenüber stehen Schwierigkeiten mit dem Einschluss der durch die Fusion entstehenden, sehr energiereichen Helium-4 Ionen sowie eine aufwändigere Konstruktion mit grossen Präzisionsanforderungen. Letzteres ist mit ein Grund, weshalb Stellaratoren bisher noch nicht die gleichen Erfolge gefeiert haben wie Tokamaks.

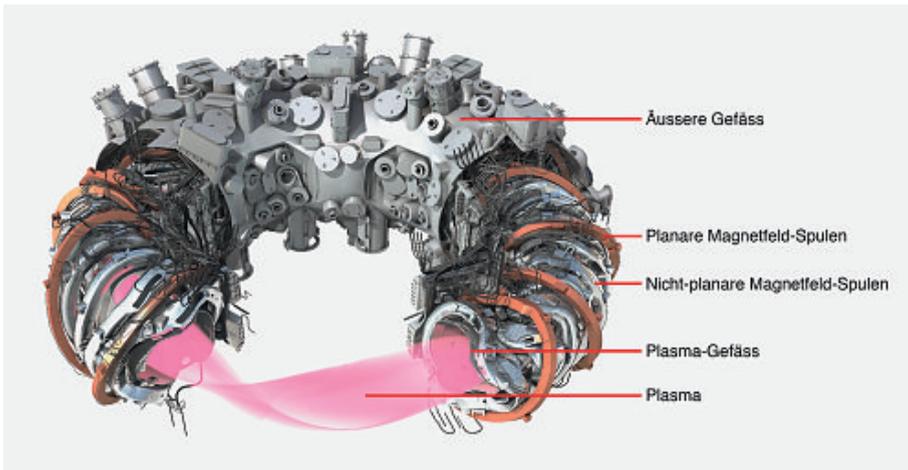


Abb. 12: Schematische Ansicht des supraleitenden Stellarator Wendelstein 7-X.

Dies könnte sich jedoch in den nächsten Jahren ändern, mit dem vor kurzem in Betrieb genommenen Wendelstein 7-X Stellarator in Greifswald in Norddeutschland (Abb. 12). Dieser «optimierte» Stellarator ist mit komplex geformten, supraleitenden Spulen ausgestattet und hat einen Torus-Radius von 5.5 Metern. Wendelstein 7-X wurde, nach 15 Jahren Bau, Ende 2015 fertiggestellt und hat zum Ziel, die Kraftwerkstauglichkeit des Stellarator-Konzepts zu zeigen. Wendelstein 7-X wird in den nächsten Jahren schrittweise auf die maximale Leistung gebracht und die ersten Resultate sind vielversprechend.

Theoretische Forschung

Während die Forschungsanstrengungen zur Entwicklung eines Reaktorkonzepts zur verlässlichen, kontinuierlichen und rentablen Energiegewinnung zu einem

grossen Teil experimenteller Natur sind, werden diese Anstrengungen durch vielseitige theoretische Studien ergänzt, geleitet und oft auch inspiriert. Es wird hierbei zuvorderst versucht, die verschiedenen Phänomene in Fusionsplasmas mithilfe von Modellen zu repräsentieren. Einerseits müssen diese elegant genug für eine kompakte mathematische Formulierung sein, um die entsprechenden Gleichungen durch Computersimulationen lösen zu können. Andererseits müssen sie komplex genug sein, um die physikalischen Abläufe auch in allen relevanten Aspekten zu widerspiegeln. Dies ist eine hochkomplizierte Aufgabe, da in Fusionsreaktoren eine Vielzahl von Prozessen vorliegen, welche sich zeitlich und räumlich über viele Grössenordnungen erstrecken. Darüber hinaus müssen die verschiedenen Regionen des Plasmas behandelt werden – von seiner Mitte, wo die meisten Fusionsreaktionen stattfinden, bis hin zu seinem Rand, wo die Interaktion des Plasmas mit der Wand der Vakuum-Kammer eine beachtliche Herausforderung darstellt. All dies erfordert die Entwicklung einer Vielfalt von mathematischen Ansätzen und Simulationscodes die schliesslich auf einigen der leistungstärksten Supercomputer der Welt mit Millionen Milliarden Operationen pro Sekunde verarbeitet und ausgeführt werden.

Das gewonnene theoretische Verständnis dient nicht nur dazu, das Verhalten vom Plasma in künftigen Experimenten verlässlicher vorherzusagen, sondern trägt auch dazu bei, Plasmas in einem Reaktor besser zu kontrollieren und seine Funktionsweise so zu optimieren.

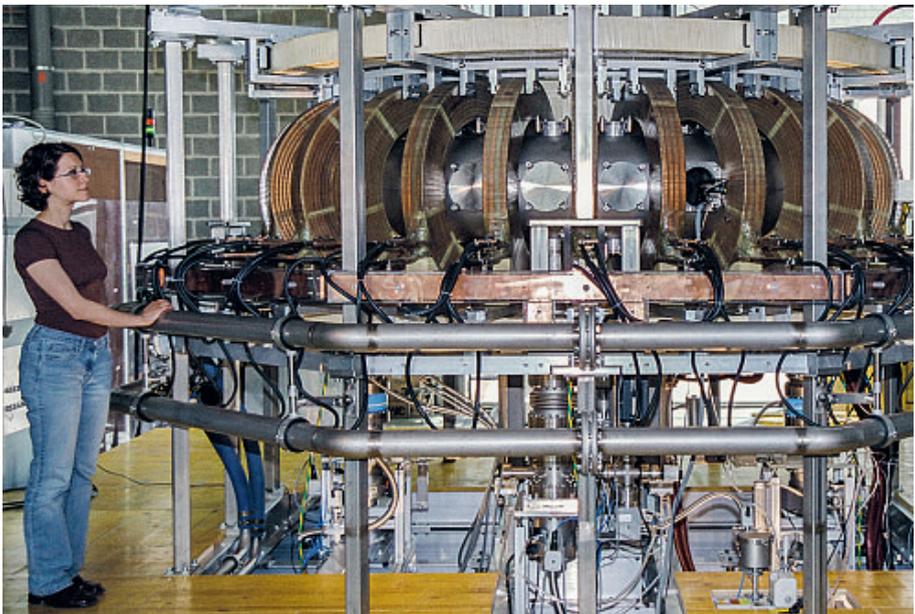


Abb. 13: Die TORPEX Maschine, eine Anlage für Experimente zu Grundlagen der Plasmaphysik, insbesondere Phänomene der Plasma-Turbulenz.

Grundlagenexperimente

Zusammen mit theoretischen Untersuchungen werden Experimente durchgeführt, die im Vergleich zu denen in Tokamak von mehr fundamentaler Natur sind. Ein Beispiel ist das Experiment TORPEX («TORoidal Plasma EXperiment») am SPC. Die Konfiguration, Untersuchung und Kontrolle des Plasmas werden hier gezielt vereinfacht. Solche Maschinen stellen wichtige Teststände für theoretische Modelle dar, um deren Zuverlässigkeit zu testen und ihre physikalischen Grundlagen zu untermauern. Ein typisches Feld, in dem dieses Zusammenwirken von Theorie und Experiment substantielle Resultate geliefert hat, ist Plasma-Turbulenz – ein komplexes Phänomen, das den Verlust von Energie und Teilchen nach aussen bestimmen kann, und daher auch die Leistung eines Reaktors.

ITER

Die grossen Fortschritte der internationalen Forschung in Plasmaphysik und Ingenieurwesen zur Fusion erhalten in diesen Jahren eine konkrete Form in der Konstruktion von ITER in Cadarache, Frankreich (s. *Abb. 14*). Dieses Projekt wird durch eine weltweite Gemeinschaft getragen, bestehend aus Europa, Japan, den USA, Russland, Indien, Südkorea und China.

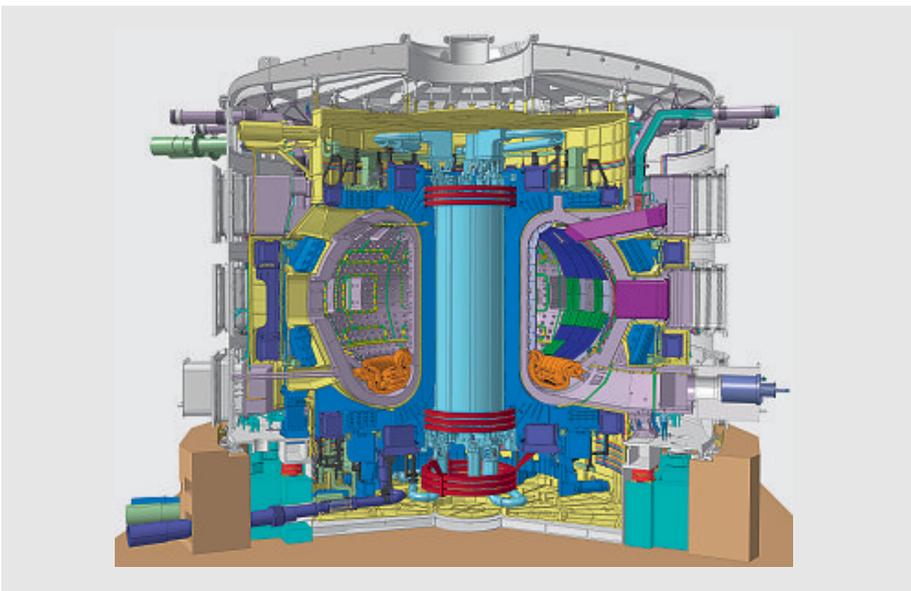


Abb. 14: Schema von ITER. Der gesamte Tokamak wird in einem Kryostat platziert, da alle Spulensätze Supraleiter sein werden. Man kann die Grösse dieser Anlage durch die skizzierte Person unten rechts erahnen.

ITER hat zum Ziel, sowohl die wissenschaftliche und technologische Realisierbarkeit der Fusion zu demonstrieren, als auch seine Sicherheit. Der enorme Massstab des Experiments ist dadurch bedingt, dass die Energieeinschlusszeit eines Plasmas mit seiner Grösse zunimmt. ITER wird so für eine Zeitspanne von einigen Minuten eine Fusionsleistung von 500 MW liefern, bei einer injizierten Leistung von 50 MW, also mit einer Leistungsverstärkung (bezeichnet mit Q) von 10.

Es wird sich um das erste «brennende» Plasma handeln, d.h. es wird hauptsächlich durch die geladenen Produkte seiner eigenen Fusionsreaktionen, den Alpha-Teilchen (Helium-4 Kerne mit 3,5 MeV), geheizt. Ein solches Plasma ist experimentelles Neuland und es werden hier neue Phänomene erwartet, wie z.B. die Interaktionen der Alpha-Teilchen mit bestimmten Wellen im Magnetfeld, die sie durch ihr Abbremsen selbst hervorrufen können. Das Erreichen und Erhalten eines solchen Plasmas ist die neue Vorfront der Physik im Bereich der Fusion.

Die Konstruktion und wissenschaftliche Nutzung von ITER bilden die ersten beiden Etappenziele im europäischen «Fahrplan» zur Fusion («European Fusion Roadmap»). Die europäischen Forschungszentren (wie auch das SPC) haben in diesem Rahmen den Auftrag, sich an der Konstruktion von ITER und an der Vorbereitung der geplanten Experimente zu beteiligen, z.B. durch das Verfeinern der vorgesehenen Betriebsmodi, um das Projekt so schliesslich effizient nutzen zu können. Das dritte und letzte Etappenziel dieses «Fahrplans» besteht in der Konstruktion und wissenschaftlichen Nutzung des ersten Prototyps für einen kommerziellen Reaktor, genannt «DEMO» (kurz für «DEMONstration Powerplant»). Dieser soll bereits einige hundert MW kontinuierlich ins Stromnetz einspeisen und so die ökonomische Rentabilität eines Fusionskraftwerks demonstrieren – der endgültige Schritt zur Kommerzialisierung von Fusionsenergie, der in den 2040er Jahren erfolgen soll.

Die Herausforderungen

Es bleiben nichtsdestotrotz einige Hürden zu nehmen, bevor Stromerzeugung durch Kernfusion kommerziell nutzbar wird.

Wissenschaftliche Herausforderungen

Mehrere entscheidende Fragen zu «brennenden» Plasmas bleiben noch offen, z.B. wie weit man eine Radio- oder Mikrowellenheizung nutzen kann, um die Plasmamparameter für das $Q=10$ Szenario zu erreichen, oder wie man die Auswirkungen von Plasma-Turbulenz in einem wenig erforschten D-T Mischungsverhältnis von 50:50 kontrollieren und eindämmen kann. Dieses Mischungsverhältnis birgt daher noch einige Geheimnisse, wie die exakte Form der Plasmamparameter

nahe seines Randes und wie genau man mit deren Hilfe die Betriebsmodi mit höchster Energieeinschlusszeit erreicht. Neue Experimente mit einer solchen D-T Mischung sind daher für JET vorgesehen.

Wenn die Bedingungen für das $Q=10$ Szenario geschaffen sind, muss man diese auch stabil erhalten. Es ist besonders wichtig, die produzierten Alpha-Teilchen hinreichend gut einzuschliessen, damit sie ihrer Aufgabe, den Rest des Plasmas aufzuheizen, auch gerecht werden können. Es handelt sich bei diesen um «Schnelle Ionen», da sie eine weitaus höhere kinetische Energie als die anderen Ionen des Plasmas besitzen. Ihre gesonderten Interaktionen mit magnetischen Wellen und Instabilitäten müssen daher genau kontrolliert werden, um den plötzlichen, kritischen Verlust von Teilchen und Energie zu vermeiden. Man muss bildlich gesprochen das «Feuer» unter Kontrolle halten. Selbst wenn es dem inhärenten Grundprinzip der Fusionsreaktionen nach unmöglich ist, eine unkontrollierte Kettenreaktion zu erhalten, ist eine Optimierung dieses «Feuers» wichtig um eine effiziente Energiegewinnung zu ermöglichen.

Darüber hinaus müssen diese Parameter für das brennende Plasma mit den technischen Gegebenheiten und Grenzwerten vereinbar sein, denen ein kontinuierlich betriebener Reaktor unterliegt.

Technische Herausforderungen

Im Bereich des magnetischen Einschlussystems liegt die Herausforderung darin, die grössten je entwickelten supraleitenden Magnetspulen zu konstruieren und langfristig auf verlässliche Weise zu betreiben. Die diversen Spulensätze für ITER werden ungefähr 1000 Tonnen wiegen und die einzelnen supraleitenden Windungen eine Gesamtlänge von 200 km erreichen. Diese supraleitenden Kabel zu testen und die Eigenschaften der einzelnen Stränge und Windungen im grossen Massstab zu überprüfen, ist bei ITER ein grundlegender Teil des R&D («Research and Development»). Diese Aufgabe wird durch das SPC mithilfe seiner einzigartigen Einrichtung «Sultan» in seiner Abteilung am Paul Scherrer Institut (Villigen) wahrgenommen.

Es ist auch notwendig sicherzustellen, dass die inneren Wände der Vakuumkammer nicht zu viel Tritium absorbieren und trotz des enormen Energieflusses aus dem Plasma nur kontrollierbare Mengen an Verunreinigungen in Form von Staub oder «Sekundäremissionen» produzieren. Für die ökonomische Rentabilität eines Reaktors muss man einerseits zeigen, dass es möglich ist, genug Tritium mithilfe von Neutronen aus Fusionsreaktionen zu produzieren, die auf Lithium-6 innerhalb des Blanket treffen, und andererseits, dass ein erheblicher Anteil des ins Plasma injizierten Tritiums auch verbrannt wird. Die Wände der Kammer müssen darüber hinaus eine ausreichend hohe Temperatur aushalten können, um eine gute thermodynamische Effizienz des Reaktors zu garantieren.

Kontrolle des Plasmas

Die häufig als am problematischsten eingeschätzte Herausforderung besteht jedoch darin, die Interaktionen des Plasmas selbst mit den Wänden der Vakuum-Kammer auf ein akzeptables Niveau zu reduzieren. Es muss noch eine Verfahrensweise spezifiziert und ausführlich getestet werden, die es entweder erlaubt, den plötzlichen, globalen Verlust des Plasmas (genannt «Disruption») komplett auszuschliessen, oder im Extremfall deren Konsequenzen einzudämmen.

Die Handhabung der unvermeidlichen Verluste von Teilchen am Rand des Plasmas muss ebenso optimiert werden. Dazu müssen zuvorderst die energiereichsten Instabilitäten kontrolliert werden, die sich dort während der Betriebsmodi mit hoher Energieeinschlusszeit aufbauen. Auch muss gewährleistet werden, dass die austretende Energie mehr in Form von gleichmässiger Abstrahlung als von direktem Teilchenfluss abgeführt wird. Dabei gilt es, Druck- und Temperatur-Gradienten zu meistern, die zu den höchsten im uns bekannten Universum gehören: Ein Abfall von mehreren Dutzend Millionen Grad auf Raumtemperatur in nur wenigen Zentimetern.

Analog der Situation, wenn sich zu viel Schnee auf einer stark geneigten Fläche ablagert, führen diese Gradienten zu energiereichen, lawinenartigen Instabilitäten. Dies stellt eine echte Schwierigkeit für die Innenwände der Vakuum-Kammer dar und nur die hitzeresistentesten Materialien kommen daher bei einem solchen Energiefluss von ca. 10 MW/m² in Frage. Jene müssen ebenso den diversen technischen Anforderungen entsprechen und dürfen sich nur sehr wenig durch die produzierten Neutronen aktivieren. Doch selbst mit den fortschrittlichsten Materialien ist es unumgänglich, diese Instabilitäten am Plasmarand zu kontrollieren, indem man entweder ihre Intensität oder ihre Auswirkungen begrenzt.

Die Rolle der Schweiz

Diese Herausforderung der Plasma-Kontrolle wird, als einer der Kernpunkte des R&D zur Kernfusion, auch durch die Schweiz wahrgenommen. Der Tokamak TCV ist weltweit einer der am weitesten perfektionierten Tokamaks zur Entwicklung fortgeschrittener Konzepte zur Magnetfeldstruktur am Plasmarand. Ein aktuelles Beispiel ist die Plasma-Konfiguration «snowflake» («Schneeflocke»), die zum ersten Mal im TCV erzeugt wurde und vielversprechende Eigenschaften zur Kontrolle der Interaktionen von Plasma und Wand besitzt.

Die Verbesserung des Tokamak-Konzeptes und die Optimierung der Betriebsmodi für die Plasmas in ITER sind die Hauptziele solcher Anlagen mittlerer Grösse. Unter den drei Anlagen, die in Europa nebst JET als essenziell für die Erreichung der ersten Etappenziele des «Fahrplans» zur Fusion gelten, findet sich daher auch TCV, zusammen mit der deutschen Maschine «ASDEX Upgrade» und «MAST-U» in England.

Diese international wichtige Rolle erhält TCV sowohl dank seiner Flexibilität hinsichtlich der Konfiguration und Form seines Plasmas, als auch seiner hoch entwickelten Kontrollsysteme, seines etablierten Mikrowellenheizungssystems und einer Reihe von Erweiterungen, wie der Installation eines Neutralteilcheninjektors und der Aufrüstung des Mikrowellenheizungssystems um einige MW.

Die Schweiz ist somit in einer Schlüsselposition im weltweiten Forschungsbereich Kernfusion. Man engagiert sich als Partner von EURATOM in der Konstruktion von ITER und im Forschungsprogramm von JET. Es wird Spitzenforschung betrieben in den Bereichen Plasma-Theorie und Simulation, Supraleitung, zu Grundlagen der Plasmaphysik, und direkt zur Optimierung des Tokamak-Konzeptes mithilfe des nationalen Tokamaks TCV. Parallel zu diesen direkten und indirekten Beiträgen zum ITER-Projekt arbeitet das Schweizer Forschungsprogramm bereits auch auf das letzte Etappenziel hin – den Prototyp-Reaktor «DEMO».

Schlussendlich spielt die Schweiz auch eine europa- und weltweit grundlegende Rolle im Bereich der Bildung und Ausbildung durch die universitäre Zugehörigkeit seines Forschungszentrums SPC zur EPFL, durch das Engagement seiner Forscher in der Lehrtätigkeit und durch das weite Spektrum ihrer wissenschaftlichen Bemühungen, in denen Grundlagenforschung und gezielte Anwendung stets Hand in Hand gehen. Dem Bemühen um eine exzellente Ausbildungssituation wird stets grosse Bedeutung zugemessen, da es sich bei der Fusion durch die schiere Bandbreite und Dauer der weltweiten Forschungsanstrengungen um eine mehrere Generationen umspannende Herausforderung handelt.

Das Swiss Plasma Center (<http://spc.epfl.ch>) empfängt gern Gruppen zur Besichtigung unserer Anlagen und des Tokamaks. Für alle weiteren Informationen hierzu kontaktieren Sie bitte Yves Martin (yves.martin@epfl.ch).

SILVAN MINNIG¹ UND CHRISTOF ANGST²

Biber-Multikulti im Schweizer Mittelland

Ergebnisse des genetischen Monitorings für das zentrale Mittelland



Abb. 1: Adulter Biber (*Castor fiber ssp.*) mit Jungtier im Wasser unterwegs.

Einleitung

Um 1800 wurde der letzte Biber (*Castor fiber*, Linné 1726) in der Schweiz erlegt (Abb. 1). Zur gleichen Zeit stand der Biber in seinem ursprünglichen Verbreitungsgebiet fast überall vor der Ausrottung. Übermässige Jagd wegen seines wertvollen Fells, seinem Fleisch und dem Drüsensekret Bibergeil hat die Art fast ausgelöscht. Von den einst rund 100 Mio. Bibern haben gerade mal 1200 Tiere in isolierten Vorkommen in Europa und Asien überlebt. Individuen aus drei dieser Vorkommen wurden für die Wiederansiedlung in der Schweiz verwendet. Dieser Artikel behandelt die Ergebnisse zur genetischen Struktur der wiederangesiedelten Biberpopulation im zentralen Mittelland. Die Resultate dazu wurden in einem umfangreichen genetischen Monitoring der Schweizer Biberpopulation gesammelt und analysiert.

¹ Silvan Minnig, Genossenschaft umweltbildner.ch, Bern; silvan.minnig@umweltbildner.ch

² Christof Angst, Biberfachstelle CSCF, Neuchâtel; christof.angst@unine.ch

Isolierte Bibervorkommen in Eurasien

Die Biber überlebten die überstarke Bejagung nur in acht Regionen (Refugien) in Eurasien (Abb. 2). Fünf dieser Refugien befinden sich auf dem Europäischen Kontinent in Frankreich (n=30 (Anzahl überlebende Tiere)), Deutschland (n=200), Norwegen (n=60–120), Weissrussland (n < 300) und Russland (n=70) (HALLEY ET AL., 2012; BABIK ET AL., 2005, Abb. 2). Die anderen Refugien befinden sich östlich des Urals auf dem Asiatischen Kontinent (n=430–460).

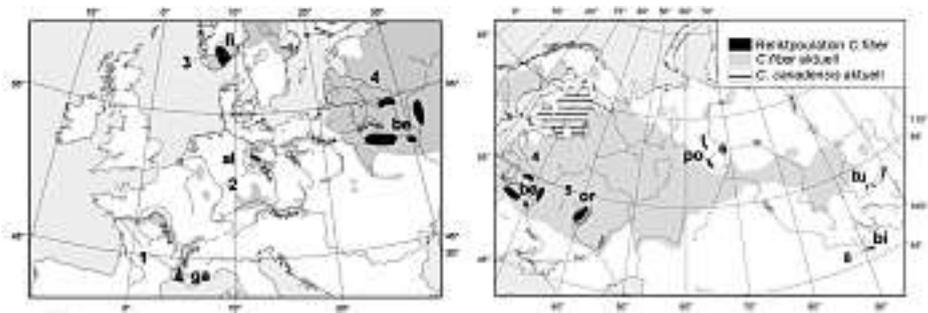


Abb. 2: Verbreitung des Eurasischen und des Kanadischen Bibers in Europa (BABIK ET AL., 2005). Die Gebiete, wo der Biber der Ausrottung entging (Refugien), sind schwarz gekennzeichnet und nummeriert. Dabei handelt es sich um die Reliktpopulationen des *C. fiber* in Eurasien, die einstmals als Unterarten beschrieben wurden. Heutige genetische Erkenntnisse gruppieren diese Populationen in eine westliche und östliche phylogenetische (stammesgeschichtliche) Linie, wobei die Namen der Reliktpopulationen beibehalten wurden (Details siehe Text). 1: *Castor fiber galliae*; 2: *Castor fiber albicus*; 3: *Castor fiber fiber*; 4: *Castor fiber belarusicus*; 5: *Castor fiber orientoeuropaeus*. Die Reliktpopulationen 6–8 (*C. f. pholei*; *C. f. tuvinicus*; *C. f. birulai*) spielten für Wiederansiedlungsprojekte in Europa keine Rolle. Dunkelgrau: Verbreitung des Europäischen Bibers; schwarz-weiß gestrichelt: *Castor canadensis* (Abb. aus BABIK ET AL., 2005).

Unterart-Beschreibung und Einteilung nach genetischen Kriterien

Früher wurde basierend auf morphologischen Unterschieden am Schädel je Refugiumsgebiet eine Unterart des Eurasischen Bibers beschrieben. Genetische Untersuchungen konnten diese Unterartbeschreibung nicht bestätigen (DUCROZ ET AL., 2005; BABIK ET AL., 2005; DURKA ET AL., 2005, HORN ET AL., 2011). Heute werden zwei phylogenetische Linien charakterisiert. Diese Linien fassen Biber mit gleicher Abstammung zusammen und gruppieren Populationen in einem Stammbaum nach ihrer genetischen Ähnlichkeit. Zu der westlichen Linie zählen die Tiere aus den drei Refugien in Frankreich, Deutschland und Norwegen. Die anderen fünf Refugien werden der östlichen Linie zugeteilt (HORN ET AL., 2011). Die «alten» Unterartbezeichnungen wurden beibehalten und werden hier für die Benennung der überlebenden Populationen (Refugiumspopulationen) in den jeweiligen Refugien verwendet.

Wiederansiedlungen in der Schweiz: Erste Ansiedlungsphase

Mehr als 150 Jahre nach seiner Ausrottung wurde der Biber in der Schweiz wieder angesiedelt. Im Rhone- und Rheineinzugsgebiet wurden zwischen 1956 und 1977 141 Tiere an 30 Standorten ausgesetzt (Abb. 4). Nur 10 Orte sind erfolgreich besiedelt worden, die übrigen wurden nicht angenommen. Zum Teil verschwanden die Tiere spurlos. 55 Tiere wurden tot aufgefunden. Ein Drittel aller Todesursachen ist unmittelbar auf menschliches Einwirken zurückzuführen, so dass maximal 82 Tiere überlebten (STOCKER, 1985).

Im westlichen Mittelland wurden jeweils kleine Gruppen von Bibern in den Kantonen Neuenburg (13 Tiere an 4 Stellen) und Freiburg (2 Tiere an einer Stelle) ausgesetzt. Diese stammten alle aus der Refugiumspopulation in Frankreich (*Castor fiber galliae*). Im Kanton Aargau wurden 56 Tiere an 18 Stellen angesiedelt. 52 Biber stammten aus der Refugiumspopulation der Region Telemark in Norwegen (*Castor fiber fiber*) und vier Tiere aus jener in Frankreich (*C. f. galliae*). Nach Angaben von STOCKER (1985) haben innerhalb der ersten 20 Jahre nach der Wiederansiedlung im Kanton Neuenburg 8 Tiere, im Kanton Freiburg keine und im Kanton Aargau deren 32 überlebt. Diese Tiere haben zwei regionale, jedoch voneinander getrennte Gründerpopulationen gebildet. Eine rund um den Neuenburgersee im westlichen Mittelland und eine entlang der Aare im Kanton Aargau im zentralen Mittelland. Im Kanton Waadt, an der Broye und Orbe, wurden weitere 17 Biber aus der Refugiumspopulation in Frankreich (*C. f. galliae*) ausgesetzt. 10 Tiere haben bis zur ersten Inventarisierung überlebt. Beide Flüsse entwässern in den Neuenburgersee.



Abb. 3: Biber leben in Familien und besetzen gemeinsam ein Revier. Die beiden Geschlechter sind vom Äusseren her nur schwer zu unterscheiden.

In den Kantonen Zürich und Thurgau wurden u.a. der Rhein ($n=3$ aus der Refugiumspopulation aus Russland; *C. f. orientoeuropaeus*) und die Nussbaumerseen an der Thur ($n=9$, *C. f. fiber*) bestockt (alle Angaben nach STOCKER, 1985, Abb. 2). Die in dieser Region angesiedelte Population entwickelte sich aus den 10 überlebenden Tieren (3 im Kanton Zürich, 7 im Kanton Thurgau). Die Vernetzung zur Gründerpopulation im Aargau ergibt sich über die Aare, die bei Koblenz in den Rhein entwässert. Mit all den bekannten Todesfällen ist im Rheineinzugsgebiet von einer Gründerpopulation von 60 Tieren auszugehen. Über das genaue Geschlechterverhältnis ist nichts bekannt (Abb. 3 und Abb. 4 sowie Tab. 1).

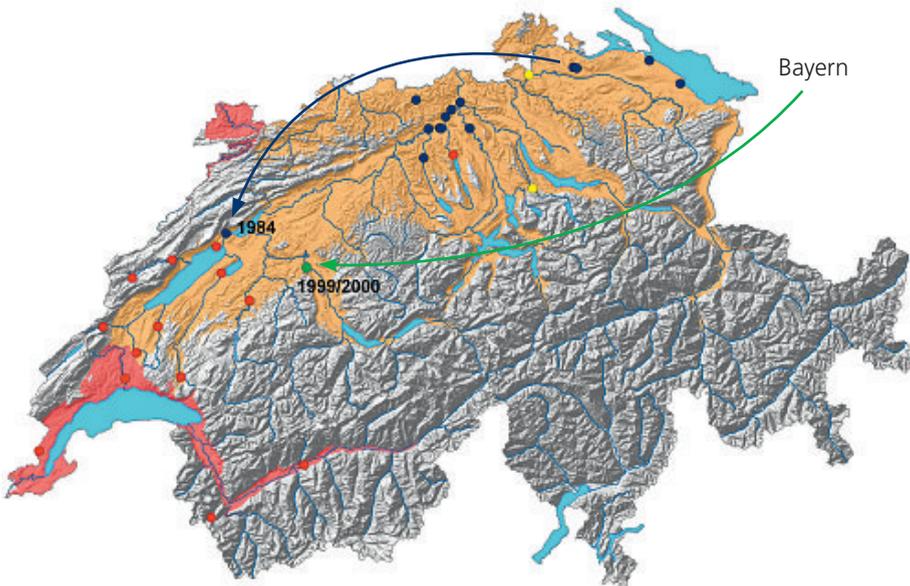


Abb. 4: Aussetzungsorte der 141 Biber in der Schweiz zwischen 1956 und 1977. Herkunft der Biber: rot: Frankreich, blau: Norwegen, gelb: Russland. Blauer Pfeil: Translokation (Umsiedlung) eines Biberpaars 1984 von den Nussbaumer Seen an die Alte Zihl (NE). Grüner Pfeil: Wildfänge aus Bayern, die 1999 und 2000 als Zooflüchtlinge aus dem Dählhölzli entkamen.

Zweite Aussetzungsphase

Nach der ersten Ansiedlungsphase bis 1978 wuchs insbesondere die Population in den Kantonen Zürich und Thurgau erfolgreich, wie das erste Inventar von STOCKER (1985) zeigt. Diejenige am Neuenburgersee tendierte jedoch wieder zu verschwinden. Daher wurden im Jahr 1984 zwei Tiere aus der Thurregion (entweder *C. f. fiber*- oder *C. f. orientoeuropaeus*-Individuen) vom Nussbaumersee an die Vielle Thielle im Kanton Neuenburg umgesiedelt. Dies stellt für die Gründerzeit die einzige dokumentierte Translokation (Umsiedlung) in der Schweiz dar. Weitere

«Neuzuzügler» kamen 1999 und 2000 im Kanton Bern dazu (5 Tiere in zwei Ereignissen). Diese Tiere stammen aus dem Tierpark Dählhölzli, wo sie während Hochwasserereignissen ausbüxen konnten. Bei den Dählhölzli-Bibern handelte es sich um Wildfänge aus Bayern (D). Es ist nicht bekannt, aus welcher Refugiumspopulation sie stammen oder ob sich Tiere verschiedener Herkunft untereinander vermischt haben. Denn im Bundesland Bayern wurden, wie in der Schweiz, Tiere aus verschiedenen Regionen Europas angesiedelt. Die Zooflüchtlinge liessen sich zuerst erfolgreich südlich der Stadt Bern, in der Raintalau bei Allmendingen bei Bern nieder. Nach dem Zusammenschluss der Population oberhalb und der Population aus der ersten Ansiedlungsphase unterhalb der Wohlenseestaumauer wurde das Aaretal schnell, erfolgreich und dicht besiedelt.

Insbesondere auch die Stadt Bern zeigt eine hohe Revierdichte, wie die Arbeit von CADUFF (2014) dokumentiert. Momentan kommen im Raum zwischen Wohlensee und Meiringen 37 Reviere mit geschätzten 183 Tieren vor (GERKE & ANGST, 2015). Die *Tabelle 1* auf der folgenden Seite fasst die zwei Wiederansiedlungsphasen zusammen.

Richtlinien der IUCN für Wiederansiedlungsprojekte

Die Richtlinien der IUCN (*International Union for Conservation of Nature* in IUCN, 2013) sehen verschiedene Monitoringaufgaben für wiederangesiedelte oder umgesiedelte Organismen vor. So werden u.a. veterinärmedizinische und genetische Langzeituntersuchungen empfohlen, um die Vitalität und das Wohlbefinden der angesiedelten Arten zu überwachen und Inzucht innerhalb einer Gruppe von Gründertieren aufzudecken. Deren Ergebnisse helfen nachfolgend dem Erfolg im Management einer Ansiedlung oder Translokation. Mit einem genetischen Monitoring wird bei einer angesiedelten Population u.a. die genetische Variabilität, die genetische Struktur innerhalb einer Population und der Inzuchtgrad untersucht. Mit diesen Informationen können Ausbreitungsmuster erkannt und das Schicksal der wiederangesiedelten Tiere dokumentiert werden. Die Aussetzungen der Biber in der Schweiz erfolgten lange bevor die IUCN-Standards für Wiederansiedlungen erarbeitet wurden. Es versteht sich von selbst, dass in den Phasen der Wiederansiedlungen nicht alles so geplant wurde, wie man dies heute nach Standards der internationalen Naturschutzbehörde IUCN tun würde. Das Rad der Zeit lässt sich aber nicht zurückdrehen und so managen wir heute eine Biberpopulation im zentralen Mittelland, die sich aus Tieren beider Ansiedlungsphasen zusammensetzt.

Um einen Überblick zu erhalten, wie es den Schweizer Bibern «genetisch» geht, wurde zwischen 2014 und 2016 ein umfangreiches genetisches Monitoring durchgeführt (MINNIG, 2014). Die Resultate hieraus sind in diesem Artikel für das zentrale Mittelland aufbereitet und diskutiert. Jedes genetische Monitoring hat zudem die Zielsetzung, die Grunddaten aus Inventaren und anderweitigen Beobachtungsmeldungen, mit Ausbreitungs-, Vernetzungs- oder Barrieremustern zu ergänzen.

Gewässer	Kanton	Anzahl Wiederansiedlungsversuche	Gründerpopulation	Herkunft Gründertiere	Jahr(e) der Wiederansiedlung	Anzahl Gründertiere	Totfunde	verbleibende Anzahl Gründertiere	1. nat. Inventar: 1978 in Stocker (1985)	2. nat. Inventar: 1993 in Rahm und Bättig (1996)	3. nat. Inventar: 2008 in Angst (2010)
1. Ansiedlungsphase (1956–1977)											
Venoge	VD	2	ga	FR	1971–1975	5	1	4			pop
Areuse	NE	1	ga	FR	1962	2	1	1	ex		
Neuenburgersee	NE	2	ga	FR	1963–1964	11	4	7			pop
Broye/Biorde	VD	3	ga	FR	1972–1975	11	4	7			pop
Menthue	VD	1	ga	FR	1973–1974	2	0	2			pop
Orbe	VD	1	ga	FR	1973	6	3	3			pop
Talent	VD	1	ga	FR	1974	3	3	0	ex		
Sarine	FR	1	ga	FR	1974–1975	2	2	0	ex		
Frick	AG	3	fi	NO	1964–1965	7	4	3			
Aare Vogelsang	AG	2	fi	NO	1966–1968	26	9	17			pop
Aare Umiken	AG	1	fi	NO							pop
Aare Schinznach	AG	2	fi	NO						ex?	pop
Aare Auenstein	AG	1	fi	NO						ex?	pop
Aare Steinerkanal	AG	1	fi	NO						ex?	pop
Aare Aarau/ Biberstein	AG	1	fi	NO						ex?	pop
Aabach	AG	1	ga	FR	1965–1966	4	2	2	ex		
Reuss	AG	1	fi	NO	1968–1971	12	5	7			pop
Suhre	AG	2	fi	NO	1968–1969	7	4	3			pop
Sihl	ZH	3	or	RU	1975–1977	6	4	2			pop
Stichbach und Aach	TG	1	fi	NO	1966–1969	9	5	4	ex		
Nussbaumersee	TG	1	fi	NO	1968–1969	9	2	7			pop
Rhein	ZH	1	or	RU	1977	3	0	3			pop
Vieille Thielle	NE	1	fi	CH	1984	2	0	0			pop
2. Ansiedlungsphase (1999–2000)											
Aare	BE	1	ga	DE	1999	4	3	1			pop
Aare	BE	1	al	DE	2000	1	0	1			pop

Tabelle 1: In zwei Phasen wurden Biber im Mittelland angesiedelt. Für die wieder besiedelten Gewässer sind jeweils der Kanton und die Anzahl Ansiedlungsversuche angegeben. Herkunft der Tiere pro Refugiumspopulation: ga (Frankreich), fi (Norwegen), or (Russland) und al (Deutschland). Neben der Anzahl der angesiedelten Biber sind die Totfunde und die überlebenden Tiere angegeben. Für die drei Inventare 1978, 1993 und 2008: ex: Tiere verschwunden, pop: Populationsgründung. Grau: Für den Kanton Aargau sind die Details zu den Standorten angegeben, hier sind sie grösstenteils wieder erloschen (oder eine Besiedlung ist in den ersten zwei Inventaren nicht dokumentiert und mit ex? bezeichnet).

So behandelt dieser Artikel folgende Punkte:

- Verbreitung der Art- und Refugiumspopulationen. Mit der Artbestimmung konnte zudem untersucht werden, ob auch der gebietsfremde Kanadische Biber (*Castor canadensis*) vorkommt.
- Analyse der verschiedenen Genotypen und der genetischen Struktur der Population.
- Untersuchung der genetischen Inzucht der Biberpopulation des gesamten Mittellandes.

Für die bessere Lesbarkeit werden die Refugiumspopulationen *C. f. galliae* mit ga, *C. f. fiber* mit fi, *C. f. orientoeuropaeus* mit or und *C. f. albicus* mit al bezeichnet. Falls der Haplotyp einer Refugiumspopulation besprochen wird – Haplotypen kann es pro Refugiumspopulation mehrere geben – ist dieser etwa mit ga-1, al-1 oder Cf-5 angegeben.

Genotyp

Genetische Zusammensetzung eines Individuums; kann sich auf einen Locus, mehrere Loci oder Gene oder das ganze Genom eines Individuums beziehen (HOLDeregger & SEGELBACHER, 2016). Der Genotyp eines Individuums besteht hälftig aus einem mütterlichen und väterlichen Anteil.

Haplotyp

Dieser bezeichnet eine Reihung von Allelen in einem Chromosomen-Abschnitt. Neue Haplotypen entstehen durch zusätzliche Mutationen oder Rekombinationen (KIPPERS, 2006). Der Haplotyp im Mitochondrium eines Individuums wird nur mütterlicherseits vererbt.

Material und Methoden

Alle Details und Literaturangaben zu den Methoden sind dem Artikel von MINNIG ET AL. (2016) zu entnehmen. In diesem Artikel werden die einzelnen Methoden und teils die verwendeten Programme kurz benannt.

Proben

Insgesamt 160 Gewebe- oder Haarproben von tot aufgefundenen Bibern wurden im zentralen Mittelland untersucht. Die Proben stammen aus den Kantonen Bern (n=78), Aargau (n=46), Solothurn (n=24), Fribourg (n=7), Luzern (n=2) und Neuenburg (n=3). Sie wurden vom Fisch- und Wildtiermedizinischen Institut (FIWI) der Universität Bern zentral gesammelt und für diese Untersuchung bereitgestellt.

DNA-Extraktion

Die DNA wurde aus allen Gewebeproben wie Leber, Muskel, Milz und Zunge mit einem gängigen Extraktions-Kit extrahiert (Abb. 5a). Für die Extraktion der Gewebeproben wurde das Herstellerprotokoll leicht angepasst. Die Extraktion der DNA aus Haarproben erfolgte mit einer Methode, welche früher in der Kriminalistik für die Bearbeitung kleinster Haarproben verwendet wurde. Die DNA wurde anschliessend in ein Eppendorf-Röhrchen (2.5 ml) transferiert und im Kühlschrank aufbewahrt (Abb. 5b).



Abb. 5a: Zungengewebe einer Biber-Probe bei der Vorbereitung zur DNA-Extraktion.

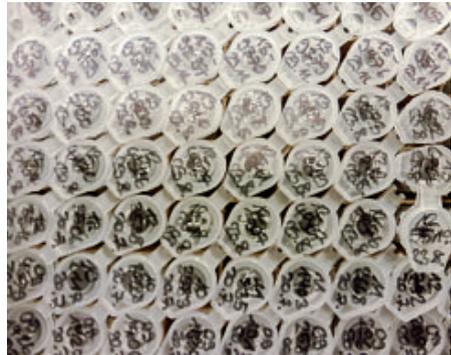


Abb. 5b: Aufbewahrung der extrahierten DNA für die nachfolgenden Analysen.

Mitochondriale Kontrollregion – PCR

Für die Identifizierung der Art (*C. fiber* oder *C. canadensis*) und die Zugehörigkeit zu einer Refugiumspopulation wurde ein Markerabschnitt im Mitochondrium per PCR-Verfahren amplifiziert. Die Sequenz dieses DNA-Abschnittes ergibt den Haplotypen, also die Information, welcher Refugiumspopulation das untersuchte Individuum zugehört. Analysen mit diesem Marker sind in der genetischen Untersuchung von Säugetieren weit verbreitet. Der Haplotyp zeigt nur die genetische Information der Mutter an, da die Mitochondrien mit den Eizellen den Jungtieren weitergegeben werden.

Sequenzanalyse und Phylogenie

Die Marker-Sequenzen wurden mit den geeigneten Programmen analysiert und ein phylogenetischer Stammbaum erstellt. Die evolutionäre Beziehung der Proben aus der Schweiz wurde in den 26 bekannten *C. fiber*-Haplotypen (Stand 2016) und den drei *C. canadensi*-Haplotypen untersucht.

Mikrosatelliten – Amplifizierung

Mikrosatelliten sind nicht codierende Abschnitte auf der Zellkern-DNA (Nukleus= nDNA) und damit keine Gene. Sie bestehen aus sich wiederholenden Sequenzen zweier oder mehrerer Nucleotiden (Basen der DNA). Durch die Kodominanz bei der Vererbung wird sowohl der mütterliche als auch der väterliche Marker-Abschnitt (Allel) bei genetischen Untersuchungen analysiert. Mikrosatelliten entstehen durch Fehler (Mutation) bei der DNA-Replikation und sind sehr variabel. Dies begünstigt die sich wiederholende Struktur und die relativ kleine Grösse der sich wiederholenden Sequenzen (Beispiel aus Guanin und Cytosin -CACACA ... CA-). So wird durch Mutationen einmal ein Element (-CA-) weggelassen oder hinzugefügt, was zu einem messbaren Längenunterschied führt. Diese Unterschiede in den einzelnen Mikrosatelliten der Individuen dienen als Grundlage zur Untersuchung der Proben.

Mikrosatelliten – Genotypen-Vielfalt, genetische Struktur und räumliche Autokorrelation

Mit dem populationsgenetischen Programm STRUCTURE konnte die Anzahl Schweizer Populationen im Mittelland bestimmt und die genetische Struktur dieser Biberpopulation ermittelt werden. Dabei wurden die Schweizer Proben den Referenzproben, welche aus Frankreich (ga), Norwegen (fi) und Deutschland (al)) stammen, gegenübergestellt. Die Unterschiede in den Allelfrequenzen zwischen den Referenzproben sind in genetischen Clustern (Gruppen) zusammengefasst. Der Algorithmus untersucht, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Genotyp eines Individuums zu einem oder mehreren dieser Gruppen gehört.

Zur Illustration der vorhandenen genetischen Unterschiede zwischen den Populationen wurde der Differenzierungsindex (F_{ST}) berechnet. Tendiert der Wert gegen 1, so sind grosse genetische Unterschiede zwischen den Populationen vorhanden und zwischen den Populationen scheint wenig genetischer Austausch zu sein. Tendiert der Wert gegen 0, so sind die Populationen in funktionierendem genetischem Austausch und die Unterschiede zwischen den Populationen sind gering.

Die Übereinstimmung der räumlichen Variablen (Autokorrelation) wurde berechnet. Nach dieser Methode kann die Korrelation der geografischen zur gene-

tischen Distanz ermittelt werden. Die räumliche Distanz basiert dabei auf der kürzesten Distanz entlang der Gewässer zwischen zwei Proben.

Resultate und Diskussion

Mitochondriale Kontrollregion

Aus allen 160 Proben konnte die mtDNA extrahiert werden. Insgesamt 64 ga-1-Individuen der Refugiumspopulation aus Frankreich, 95 fi-1-Individuen derjenigen aus Norwegen und 1 Cf-5-Individuum aus der Refugiumspopulation aus Deutschland wurden gefunden. Alle Proben stammen vom Eurasischen Biber, keine vom Kanadischen.

Beim phylogenetischen Vergleich wird klar, dass momentan nur Tiere aus der westlichen phylogenetischen Linie vorkommen. Sowohl im Mittelland als auch im gesamten Einzugsgebiet des Rheins sind keine Tiere der Refugiumspopulation aus Russland auffindbar. Entweder war der Umfang der Proben zu klein oder in der Schweiz kommen keine Tiere aus dieser Refugiumspopulation mehr vor (Abb. 6).



Abb. 6: Der phylogenetische Stammbaum ordnet alle 160 Proben aus dem Mittelland der westlichen Gruppe der Refugien aus Frankreich (ga-1=rot), Deutschland (Cf-5=grün) und Norwegen (fi-1=blau) zu. Kein Haplotyp entspricht einem der drei Varianten des *C. f. orientoeuropaeus* (in-1 bis in-3) der östlichen Gruppe oder des Kanadischen Bibers (*C. canadensis*).

Zwei Muster sind innerhalb der Biber-Population im Mittelland zu erkennen. Dasjenige der erfolgreichen Translokation aus dem Jahr 1984 und jenes der gelungenen Wiederbesiedlung des Aaretals durch die Zooflüchtlinge aus dem Dählhölzli. Die umgesiedelten Tiere aus den Nussbaumerseen konnten sich mit den am Neuenburgersee angesiedelten Tieren erfolgreich vermehren und ausbreiten. Diese erfolgreiche Hybridisierung hat die damals noch schwache Population in der Region Neuenburgersee gestärkt. *C. f. fiber* ist in dieser Region heute stark vertreten. Auch kommen heute an der Aare südlich von Bern die zwei Haplotypen der Refugiumspopulationen *C. f. galliae* und *C. f. albicus* vor. Beide Haplotypen stammen von den entkommenen Dählhölzli-Tieren. Da die Wohlensee-Staumauer keine Barriere mehr für eine Flussaufwärtswanderung darstellt, ist es nur eine Frage der Zeit, bis sich auch *C. f. fiber*-Haplotypen in der Region südlich von Bern finden werden. Wir vermuten, dass schon jetzt Tiere mit diesem Haplotypen vorkommen und nur aufgrund des kleinen Probensets nicht gefunden wurden. Um die Jahrtausendwende breiteten sich Biber sowohl aus dem Seeland entlang der Aare flussabwärts, als auch aus den Kantonen Thurgau und Zürich über die Rhein-Aare-Achse flussaufwärts, in die Kantone Aargau und Bern aus. Heute sind der Kanton Aargau und die angrenzenden Gebiete die neue Hybridisierungszone, wo sich Tiere aus der westlichen und östlichen Mittelland-Population treffen und erfolgreich vermehren.

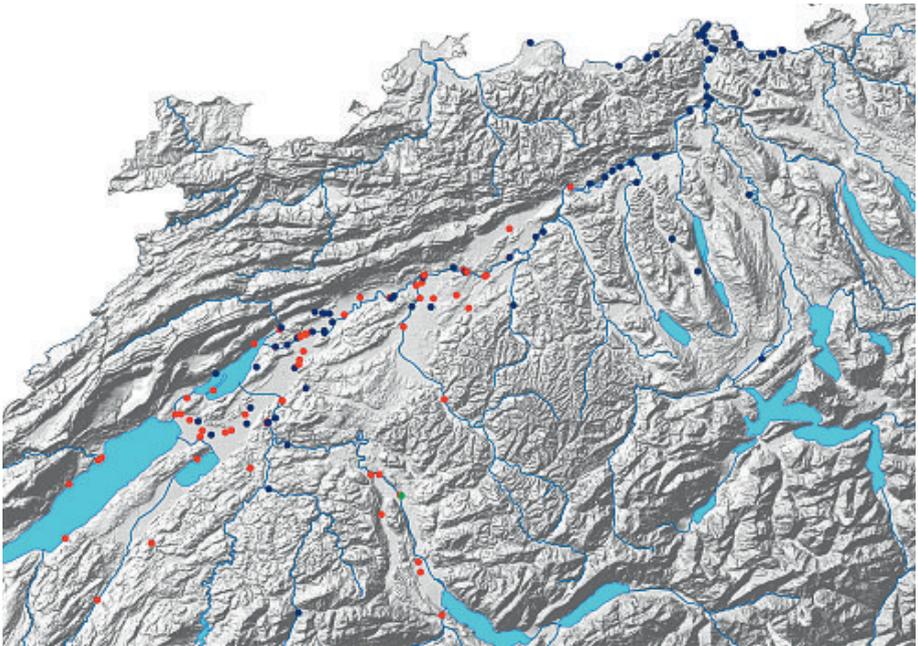


Abb. 7: Verteilung der Haplotypen im zentralen Mittelland. Rot: *C. f. galliae*; blau: *C. f. fiber*; grün: *C. f. albicus*.

Ähnliches gilt für den Kanton Bern, welchen Tiere aus der Dreiseenregion in den 1970er-Jahren über den Hagneckkanal und über die Alte Aare besiedelten. Insbesondere die Region südlich von Bern wurde zuerst von den Zooflüchtlingen und später von Tieren der Niederriedregion besiedelt (*Abb. 7*).

Nukleare Markersets

Aus allen 160 Proben konnten die Marker für die Zellkern-DNA (nDNA) amplifiziert und analysiert werden. Es wurden Mikrosatelliten mit nur einem oder mehreren Allelen gefunden. Allele sind unterschiedliche Varianten des untersuchten genetischen Abschnitts. Der Differenzierungsindex F_{ST} zwischen den Populationen ga und fi in der Schweiz liegt bei 0.074. Trotz der wenigen Gründertiere scheinen sich die beiden Populationen ga und fi gut zu durchmischen.

Marker	Pop	N	Na	Ne	HWE
Cca13	fi	95	3	1.569	***
	ga	64	3	1.773	***
Cca18	fi	95	2	1.870	ns
	ga	64	2	1.280	ns
Cca19	fi	94	3	1.885	***
	ga	61	3	1.780	***
Cca20	fi	95	2	1.840	***
	ga	64	2	1.479	ns
Cca56	fi	93	6	2.900	***
	ga	64	3	1.768	ns
Cca62	fi	84	3	1.567	***
	ga	59	3	1.108	ns
Cca92	fi	95	2	1.088	*
	ga	64	2	1.580	*

Tabelle 2: Diversität der Mikrosatelliten mit mehr als einem Allel pro Marker. Für jeden Marker wird der Ursprung der ga- oder fi-Population angegeben (Einteilung gemäss Bestimmung des Haplotypen). Pop: Zugehörigkeit zu fi- oder ga-Population; N: Anzahl Individuen; Na: Anzahl beobachteter Allele pro Mikrosatellit; Ne: Anzahl effektiver Allele per Mikrosatellit. HWE: befindet sich der Marker im Hardy-Weinberg-Gleichgewicht oder weicht er signifikant davon ab (***=signifikant, ns=nicht signifikant).

Genetische Strukturanalyse

Die Zuteilungen der Individuen der Testpopulation (Proben aus dem zentralen Mittelland des Rhein-Einzugsgebiets, $n=160$) basieren auf den Allelfrequenzen der Referenzpopulationen aus Deutschland ($n=12$), Frankreich ($n=10$) und Norwegen ($n=9$). Alle in dieser Studie untersuchten Biber gehören drei Gruppen, respektive drei Populationen an. Diejenigen Tiere, welche den ga-Gründertieren (aus Frankreich, $n=64$, blau in *Abb. 8*) zugeordnet werden und jene, welche von den fi-Gründertieren stammen (aus Norwegen, $n=33$, rot in *Abb. 8*). Einem Nachkommen im Kanton Aargau wurde ein *C. f. albicus*-Anteil im Genotyp zugesprochen (aus Deutschland, $n=1$, grün in *Abb. 8*). Dies ist als Artefakt zu betrachten, zumal der Algorithmus die Referenzproben schon nicht eindeutig erkannt hat (Referenzproben 1 (Deutschland) und 2 (Norwegen), *Abb. 8*). Zudem stammt die

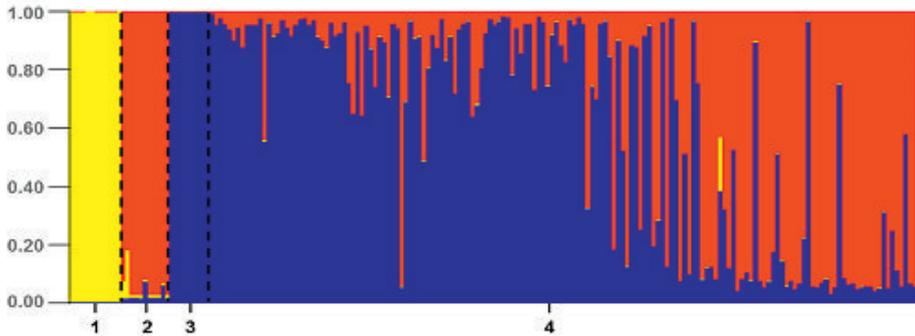


Abb. 8: Insgesamt wurden Allelfrequenzen der drei Referenzgruppen aus Deutschland, Norwegen und Frankreich mit den Genotypen aus der Schweiz verglichen. Die Schweizer Genotypen sind nach ihren Fundorten in Ost-West Richtung angeordnet. Die Individuen wurden nach ihrer X-Koordinate beim Fundort geordnet, von der kleinsten zur grössten. Die biologische Interpretation dieser Abbildung mit zwei vorkommenden und sich mischenden Populationen ist in dieser genetischen Struktur gegeben. Von insgesamt vier im Mittelland wieder angesiedelten Refugiumspopulationen sind deren zwei wieder auffindbar. Die CH-Population im Mittelland besteht aus Individuen der fi- und der ga-Untergruppe, und aus Hybriden dieser beiden. Kein Individuum konnte als *C. f. albicus* (al) interpretiert werden, oder als Mischling mit diesem (das Individuum aus der Region Aargau, welches teils der *C. f. albicus*-Gruppe zugeordnet wird, wird im Text diskutiert). Es kann eine Zone der Introgression und eine Hybridzone erkannt werden. 1 = Referenzproben aus Deutschland (al), 2 = Referenzproben aus Norwegen (fi), 3 = Referenzproben aus Frankreich (ga), 4 = Proben aus dem Mittelland.

Probe aus der Stadt Aarau (2007) und ist somit zu weit vom Ansiedlungsort beim Dählhölzli in Bern entfernt.

Insgesamt unterscheiden wir somit im zentralen Mittelland zwei Populationen (ga- und fi-Individuen und deren Hybride). Tiere aus der «Kontaktzone» zeigen gemischte Cluster auf und können als Hybrid-Individuen (insg. $n=2$) erkannt werden. Eine Zone der Introgression (Vermischung der verschiedenen Populationen) wird ebenfalls sichtbar.³

Insgesamt 35 Hybrid- Individuen können den ga-Bibern, 27 den fi-Bibern zugeteilt werden. Hierbei ist der Haplotyp nicht immer auch hinweisend auf den Genotypen. Eine Paarung von einem ga-Tier mit einem fi-Tier öffnet den Weg in zwei Richtungen. Entweder verpaart sich ein Nachkomme wieder mit einem ga-Tier, so entsteht ein Hybrid-ga-Nachkomme. Verpaart er sich mit einem fi-Biber, so entsteht ein Hybrid-fi-Nachkomme. Durch diese einfache Analyse der Nachkommen wird ersichtlich, dass die Population im Seeland mehrheitlich aus ga-Individuen besteht, obwohl viele fi-Haplotypen nachweisbar sind (Abb. 9).

³In der Hybridzone sind die beiden Populationen in genetischem Austausch, innerhalb der Introgressionszone ist ein genetischer Austausch «nur» in einer Population möglich, da die anderen potentiellen Partner der zweiten Population räumlich nicht vorhanden sind.

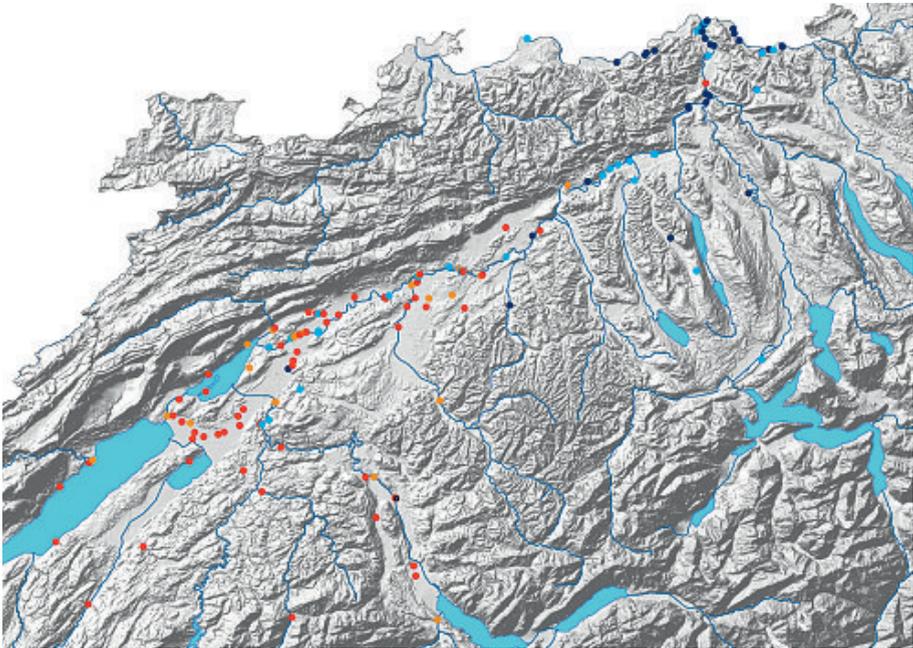


Abb. 9: Verteilung der Genotypen im Mittelland. Rot: *C. f. galliae*; blau: *C. f. fiber*; orange und hellblau: deren genetisch vermischte Nachkommen.

Die fi-Haplotypen wurden bei der Translokation im Jahr 1984 von den Nussbauernseen aus dem Kanton Thurgau umgesiedelt und konnten sich anschliessend erfolgreich vermehren. Da in dieser Region jedoch nur ga-Tiere aus Frankreich freigelassen wurden, konnten sie sich auch nur mit diesen verpaaren. So entstand die Introgressionzone. An der Aare unterhalb von Solothurn kann die Hybrid-Generation mehrheitlich den fi-Bibern zugeteilt werden. Hier befindet sich die eigentliche Kontaktzone der Biberpopulationen im zentralen Mittelland. Diese Kontaktzone ist zugleich auch jene der Schweizerischen Gesamtpopulation.

Allgemein zeigen die Biber im Mittelland eine geringe genetische Variabilität. Dies kann direkt auf die Ansiedlungsphase zurückgeführt werden, da im zentralen Mittelland nur sehr wenige Tiere aus bloss zwei Regionen angesiedelt wurden. Diese beiden Refugiumspopulationen wurden seinerzeit überaus stark dezimiert. Dies zeigt sich daran, dass bis heute nur je ein Haplotyp in den zwei Refugien gefunden wurde. Vermutlich überlebten nur Tiere einer Population (ga1-Tiere in Frankreich und fi1-Tiere in Norwegen). In allen anderen Refugiumspopulationen, in welchen eine grössere Anzahl Tiere die Fastausrottung überlebten, konnten jeweils mehrere Haplotypen und somit auch eine grössere genetische Vielfalt erhalten bleiben, wie die Studie von BIEDRZYCKA ET AL. (2014) über die genetische Struktur der Populationen in Polen bekräftigt. Hier zeigen die Populationen ver-

Introgression

Die Introgressionszone zeigt viele Tiere mit dem Haplotypen der Refugiumspopulation *C. f. fiber*, welche jedoch durch wiederholte Kreuzung mit Tieren der Refugiumspopulation *C. f. galliae* letzteren Genotypen in sich tragen. Der mitochondriale Haplotyp wird nur von der Mutter vererbt. Der Genotyp wird je zur Hälfte von beiden Elternteilen an die nächste Generation weitergegeben. Mit der Eizelle werden die Mitochondrien und der Zellkern, meiotisch bedingt mit einem halben Chromosomensatz, an die nächste Generation weitergegeben. Von der Samenzelle selber stammt «nur» die zweite Hälfte des Genoms. Nur weibliche Träger eines bestimmten Haplotypen geben diesen somit an ihren Nachwuchs weiter, auch wenn der männliche Partner Träger eines anderen Haplotypen ist. Der Haplotyp zeigt also nur die mütterliche Vererbungslinie auf. So konnte sich das *C. f. galliae* Genom in der Zeit der Isolation auf die Tiere mit dem *C. f. fiber* Haplotypen verschieben. Erst durch die Emigration und die Immigration von Tieren wird der Effekt der Introgression vermindert und stellt den Beginn einer neuen «Hybridisierungsphase» in der Dreiseenregion dar. Dies kann momentan beobachtet werden.

schiedenen Ursprung (jeweils Tiere aus der westlichen und östlichen phylogenetischen Linie treffen sich hier) und haben im Vergleich zum Mittelland eine grössere Haplotypenvielfalt und auch eine höhere genetische Variabilität. Polen kann als Hybridisierungszone der beiden phylogenetischen Linien betrachtet werden, in welchem Tiere angesiedelt wurden und Tiere aus Westen (Deutschland) und Osten (Weissrussland) einwandern können.

Räumlich-genetische Ähnlichkeit

Biber innerhalb einer Gewässerdistanz von 50 km sind Cousins/Cousinen ersten Grades ($r=0.25$; Abb. 10). Erst nach 150 km gewässerbasierter Distanz tendiert der r -Wert gegen null und wird dann negativ, was keine gegenseitige Verwandtschaft anzeigt. Angegeben wird im untenstehenden Korrelogram der r -Koeffizient, dieser gibt die Ähnlichkeit zwischen allen Genotyphen der jeweiligen Distanzklasse an. Interpretiert werden kann der Verwandtschaftsgrad zwischen den einzelnen Proben mit $RI=0.5$ als Eltern-Kinder Beziehung, mit $RI=0.25$ als Halbgeschwister und $RI=0.125$ als Cousins ersten Grades angegeben. Der r -Wert wird gleich dem RI -Wert interpretiert (siehe Abschnitt Methoden).

Dieser r -Wert zeigt in den ersten 50 km einen hohen Verwandtschafts- und auch Inzuchtgrad an. Diese weiträumige genetische Ähnlichkeit wird für das zukünftige genetische Bibermanagement von Bedeutung sein.

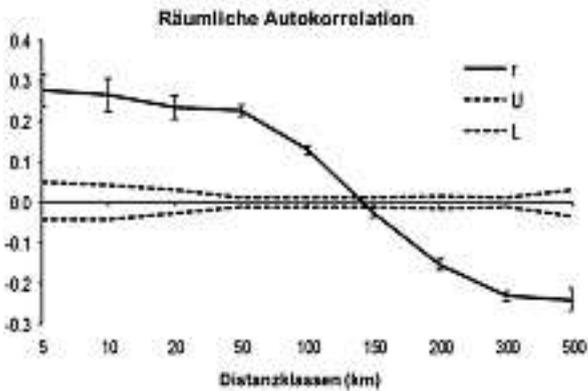


Abb. 10: Das Korrelogramm der räumlichen Autokorrelation zeigt die paarweise genetische Verwandtschaft, in jeweils neun Distanzklassen zusammengefasst. Ein RI-Wert wurde für neun Distanzklassen (5 km, 10 km, 20 km, 50 km, 100 km, 150 km, 200 km, 300 km, und 500 km) berechnet. U und L: Oberes und unteres Konfidenzintervall für die Nullhypothese, dass keine Autokorrelation zwischen den Genotypen innerhalb einer Distanzklasse vorkommt ($r=0$).

IUCN-Richtlinien für Wiederansiedlungen

Die Darstellung der obigen Resultate leitet über zur Diskussion der IUCN-Richtlinien (IUCN (*International Union for Conservation of Nature* in IUCN, 2013)), welche bei Wiederansiedlungen und Translokationen zu beachten sind. Bei einer Ansiedlung soll der genetischen «Ausstattung» der Gründertiere, neben vielen anderen Faktoren, besonderes Augenmerk zukommen. So sollen z.B. nur Tiere angesiedelt werden, welche nicht zu nahe miteinander oder zu weit voneinander verwandt sind. Dies verhindert genetische Verarmungsprozesse wie In- und Auszuchtsdepression, welche nach der Wiederansiedlung eintreten können. Bei jeder Ansiedlung tritt ein genetischer «Flaschenhalseffekt», bedingt durch die geringe Anzahl Gründertiere, ein. Die neu angesiedelte Population läuft Gefahr, durch genetische «Vererbungsbarrieren», genetische Drift und genetische Inzucht wieder zu verschwinden. Somit kann ohne anthropogenes Zutun eine «isolierte» Population mit hoher genetischer Ähnlichkeit auch wieder aussterben, falls keine natürliche Einwanderung von Tieren ausserhalb der Population möglich ist.

Die Biber im Mittelland sind Nachfahren der angesiedelten Individuen im Dreiseenland und einzelner Tiere aus dem Dählhölzli. Eine Vermischung zwischen dem Rhone- und dem Rheineinzugsgebiet konnte mit dem genetischen Monitoring nicht festgestellt werden (MINNIG, 2014; MINNIG ET AL., 2016). Auch besiedelten Biber der Schweiz das angrenzende Bundesland Baden-Württemberg (ANGST, 2010). Somit zeigt die Population im Mittelland eine gewisse Isolation auf. Können in naher Zukunft nicht Biber von aussen in die Population einwandern und sich erfolgreich vermehren, werden die Individuen der Population einander immer ähnlicher. Dies könnte z.B. durch die Einwanderung einzelner Individuen aus dem Bundesland Bayern über den Bodensee abgeschwächt werden. Hinweise, dass dies schon geschehen ist, konnte mit dem genetischen Monitoring nicht nachgewiesen werden (MINNIG, 2014; MINNIG ET AL., 2016). Eine genetische Inzucht einer Population muss jedoch noch keine Inzuchtdepression anzeigen. Erst wenn phänotypische Probleme vermehrt auftreten würden, welche auf genetische Inzucht

zurückzuführen sind, kann es für die Population im Mittelland zu einem ernsthaften Problem werden. Bisherigen veterinärmedizinischen Untersuchungen am Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin FIWI an der Universität Bern geben jedoch keinen Hinweis auf genetische Probleme der Schweizer Biber.

Sollte dies jedoch einmal eintreten oder neue Krankheitserreger dazukommen, wäre ein weiterer Schritt beim Management angezeigt: Derjenige der Blutauffrischung durch neuen Tiere im Mittelland nach den IUCN-Richtlinien. Heute lebt im Mittelland trotz dieses Befundes eine prosperierende und mehrheitlich gesunde Biberpopulation, die sich weiter in noch unbesiedelte Bachläufe ausbreiten kann. Damit dies längerfristig so bleibt, ist eine weitere genetische Momentaufnahme in ein paar Jahren zu wiederholen und deren Ergebnisse untereinander zu vergleichen.

Dank

Wir danken allen Jagdverwaltern, Wildhütern und weiteren Personen, die die toten Biber gesammelt und ans Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin FIWI der Universität Bern gesendet haben. Dem FIWI danken wir für das Archivieren und das Bereitstellen aller Proben. Ein besonderer Dank geht an Gwenaël Jacob (Universität Fribourg), der das genetische Monitoring wissenschaftlich begleitet hat.

Literatur

Alle Literaturangaben zu den Methoden und den verwendeten Programmen sind dem Artikel MINNIG, S., ANGST, CH., UND JACOB, G., 2016: *Genetic monitoring of Eurasian beaver (Castor fiber) in Switzerland and implications for the management of the species* zu entnehmen.

- ANGST, C., 2010: Mit dem Biber leben. Bestandserhebung 2008; Perspektiven für den Umgang mit dem Biber in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg, Umwelt-Wissen Nr. 1008: 156 S.
- BABIK, W.; DURKA, W., AND RADWAN, J., 2005: Sequence diversity of the MHC DRB gene in the Eurasian beaver (*Castor fiber*). *Molecular Ecology* 14: 4249–4257.
- BIEDRZYCKA, A.; KONIOR, B.; BABIK, W. ET AL., 2014: Admixture of two phylogeographic lineages of the Eurasian beaver in Poland. *Mammalian Biology* 79: 287–296.
- CADUFF, M., 2014: Wird aus Bern Bibern? Naturforschende Gesellschaft Bern, Band 17: S. 129–149.
- DUCROZ, J.F.; STUBBE, M.; SAVELJEV, A.P. ET AL., 2005: Genetic variation and population structure of the Eurasian beaver *Castor fiber* in Eastern Europe and Asia. *Journal of Mammalogy* 491(86): 1059–1067.
- DURKA, W.; BABIK, W.; DUCROZ, J.F. ET AL., 2005: Mitochondrial phylogeography of the Eurasian beaver *Castor fiber* L. *Molecular Ecology* 14: 3843–3856.
- GERKE, D., UND C., ANGST, 2015: Der Biber im Kanton Bern: Bestand und Verbreitung im Winter 2015 und Bestandesentwicklung seit 2008. Bericht im Auftrag des Jagdinspektorates des Kantons Bern: 21 S.
- HALLEY, D., ROSELL, F., AND SAVELJEV, A., 2012: Population and Distribution of Eurasian Beaver (*Castor fiber*). *Baltic Forestry* 18(1): 168–175.

- HOLDEREGGER & SEGELBACHER, 2016: Naturschutzgenetik, Ein Handbuch für die Praxis, Hauptverlag, Bern. S. 247.
- HORN, S.; DURKA, W.; WOLF, R. ET AL., 2011: Mitochondrial Genomes Reveal Slow Rates of Molecular Evolution and the Timing of Speciation in Beavers (*Castor*), One of the Largest Rodent Species. PLoS ONE 6: e14622.
- HORN, S.; PROST, S.; STILLER, M. ET AL., 2014: Ancient mitochondrial DNA and the genetic history of Eurasian beaver (*Castor fiber*) in Europe. Molecular Ecology 23: 1717–1729.
- IUCN/SSC, 2013: Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission. viiii + 57 pp.
- KNIPPERS, R., 2006: Molekulare Genetik, 9., komplett überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. S. 576.
- MINNIG, S., 2014: Genetic monitoring of Eurasian Beaver (*Castor fiber*) in Switzerland, Master Thesis, Universität Fribourg. 48 S.
- MINNIG, S., ANGST, C., & JACOB, G., 2016: Genetic monitoring of Eurasian beaver (*Castor fiber*) in Switzerland and implications for the management of the species. Russian J. Theriol. 15(1): 20–27.
- PRITCHARD, J., K.; STEPHENS, M., AND DONNELLY, P., 2000: Inference of Population Structure using multilocus Genotype Data. Genetics 155: 945–959.
- RAHM UND BÄTTIG, 1996: Der Biber in der Schweiz – Bestand, Gefährdung. Schutz Wildtiere Schriftenreihe Umwelt Bericht Nr. 249.
- STOCKER, G., 1985: Biber *Castor fiber* L. in der Schweiz. Probleme der Wiedereinbürgerung aus biologischer und ökologischer Sicht. Birmensdorf: Eidgenössische Anstalt für forstliche Versuchswesen. Bericht No.274. 149 S.

CHRISTIAN IMESCH¹

Natürliche Quelllebensräume im Smaragdgebiet Oberaargau

Zusammenfassung

Am Ursprung eines jeden Gewässers liegt die Quelle, das ist allen bekannt. Doch nur wenige kennen natürliche Quellen, geschweige denn, dass sie einen solchen Lebensraum von Nahem betrachtet hätten. Natürliche Quellen beherbergen eine Vielzahl an lebensraumspezifischen, seltenen Arten und kommen heute, besonders im Schweizer Mittelland, nur noch sehr isoliert vor. Es ist höchste Zeit, das Grundwissen bei Behörden und Öffentlichkeit zu verbreiten und Ansätze zum Erhalt dieses einzigartigen Lebensraumes aufzuzeigen.

Rund 500 Quellaustritte sind im Smaragdgebiet Oberaargau mit einer einfachen Strukturanalyse erfasst. Über 80% der untersuchten Quellen befinden sich im Wald, wo sich auch die Mehrheit der natürlichen, nicht beeinträchtigten Quellen befindet. Die Resultate zeigen, dass in der offenen Landschaft nur noch wenige natürliche Quellaustritte vorkommen. Fassungen für die Trinkwasserversorgung und Drainagen im Landwirtschaftsgebiet sind Hauptgründe für die Verluste an natürlichen Quellen.

Quellen bergen eine sehr lebensraumtreue Fauna, die sich hauptsächlich aus aquatischen Makroinvertebraten zusammensetzt: Köcherfliegen, Käfer, Steinfliegen und Vertreter der Zweiflügler. Vertiefte Untersuchungen in zehn Quellen demonstrieren, dass die Artenzusammensetzung der Kleinlebewesen sehr quell-spezifisch und dementsprechend eher artenarm ist (4 bis 18 nachgewiesene Taxa pro Quelle). Besonders reich an Arten der Roten Liste sind jedoch die zwei untersuchten Quellen im Offenland.

Grundlagen zur genauen Verbreitung von natürlichen Quellaustritten sind schweizweit nur spärlich vorhanden. Demzufolge wird deren Bedeutung durch die Behörden kaum erkannt oder bestehende Schutzbestimmungen werden nicht in die Praxis umgesetzt. Für das Smaragdgebiet Oberaargau wurden nun Massnahmen aufgezeigt, wie die verbliebenen natürlichen Quelllebensräume langfristig erhalten werden können.

¹UNA AG, Schwarzenburgstrasse 11, 3007 Bern

Ausgangslage

Quellen in der Schweiz

Schweizweit sind in der Vergangenheit bis zu 99% der Quellen gefasst oder beeinträchtigt worden (ZOLLHÖFER, 1997). Hauptgründe dieser Entwicklung waren der Bau von Trinkwasserfassungen und die Anbauschlacht im Zweiten Weltkrieg, wo Quellen im grossen Stil gefasst, drainiert und eingedolt wurden. In jüngster Zeit sind es eher der Bau von Forststrassen oder die Intensivierung der Landwirtschaft, die der Lebensgemeinschaft von Quellen zusetzen (KÜRY ET AL., 2017).

Quellen werden in der Bevölkerung und bei Behörden kaum als eigener Lebensraum mit einer sehr spezifischen Artenzusammensetzung wahrgenommen. Es fehlt an allgemeinen Kenntnissen zu den Quellen. Durch Sensibilisierungsmassnahmen könnte man hier Entscheidendes ins Rollen bringen.

Abgrenzung von Quellen

Quellen sind in der Regel klein, punktuell in der Landschaft verteilt und grenzen sich scharf von ihrer Umgebung ab. Der Lebensraum ist Bindeglied zwischen den Ökosystemen Grundwasser und Oberflächengewässer (KÜRY ET AL., 2017). Der Quelllebensraum beschränkt sich jedoch nicht auf den blossen Austritt des Wassers an die Erdoberfläche, sondern beinhaltet je nach Schüttungsvolumen und Austrittsform bachabwärts noch 5–10 Meter des entstehenden Gewässers. Seitwärts folgt der Quelllebensraum einem Feuchtigkeitsgradienten. So lässt sich ein Mosaik an Teillebensräumen, mit vielfältigen strukturellen sowie chemisch-physikalischen Eigenschaften erkennen.

Typisierung von Quellen

Bei der Beurteilung von Quellen werden unterschiedliche Quelltypen beschrieben. Quellen mit punktuell austretendem Wasser, das unmittelbar einen Quellbach bildet, werden als Sturzquellen (Rheokrene) beschrieben. In den meisten Fällen zählt der Lebensraum nur wenige Quadratmeter. Diesem Quelltyp sind u. a. Karstquellen zuzuordnen, und es handelt sich um den häufigsten Quelltyp der Alpen (KÜRY ET AL., 2017). Von Sickerquellen (Helokrene) spricht man, wenn das Wasser aus zahlreichen diffusen Grundwasseraufstössen austritt und die Quellen ein sumpftartiges Erscheinungsbild mit einem Abfluss haben. Weiherquellen (Limnokrene) wiederum sind Grundwasseraustritte, die einen Weiher mit einem Überlauf bilden. Dieser Quelltyp ist auch oft in flussbegleitenden Giessen anzutreffen.

Quellen und Artenvielfalt

Das Lebensraummosaik von Quellen bedeutet, dass auf kleinstem Raum vielfältige Nischen für die quellgebundene Artenvielfalt vorkommen. Zu den häufigsten Vertretern von Quelllebensräumen zählen Köcherfliegen, Steinfliegen, Käfer, Wassertiere, Bachflohkrebse und Strudelwürmer. Larven von Feuersalamandern (*Salamandra salamandra*) und Quelljungfer (*Cordulegaster bidentata*), einer Libellenart, sind wohl die bekanntesten Vertreter in Quellen. Viele dieser Arten haben eine starke Bindung zu den Quellen und sind ausschliesslich dort zu finden. In diesem Fall spricht man von krenobionten (eigentliche Quellbewohner) oder krenophilen (Quellwasser bevorzugenden) Arten. Die Quellfauna hat sich über Jahrtausende an die physikalischen, chemischen und strukturellen Eigenschaften von Quellen angepasst und ist auf diesen Lebensraum spezialisiert.

Pflanzen oder Moose, die ausschliesslich in Quellen vorkommen, sind kaum auszumachen. Sie können jedoch als Feuchtezeiger der Abgrenzung des Quelllebensraumes dienen.

In Quelllebensräumen sind viele Arten zu finden, die in den Roten Listen als gefährdete Arten oder bei den Nationalen Prioritären Arten aufgeführt sind. Gründe für diese Einstufung sind sicherlich der Rückgang des Lebensraumes sowie die mangelnde Vernetzung.

Gesetzliche Grundlagen

Natürliche Quellen sind als eigenständiger Lebensraum erst seit wenigen Jahren in den Fokus der Kantone und des Bundes gerückt. Während Jahrzehnten wurden deren biologische und ökologische Bedeutung vernachlässigt und ein Grossteil der Quelllebensräume für die Trinkwassernutzung, Drainagen von Landwirtschaftsland und Forststrassen gefasst oder zerstört (ZOLLHÖFER, 1997). Trotz ausreichender rechtlicher Instrumente konnte in der Vergangenheit der stetige Verlust nicht gebremst werden.

So ist im Artikel 18 des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz (NHG, SR 451) festgehalten, dem Aussterben von einheimischen Tier- und Pflanzenarten durch die Erhaltung genügend grosser Lebensräume (Biotope) und andere Massnahmen entgegenzuwirken. Besonders zu schützen sind u. a. Uferbereiche, zu denen auch der Quelllebensraum anzurechnen ist. Artikel 21 besagt, dass die Ufervegetation weder gerodet noch überschüttet noch auf andere Weise zum Absterben gebracht werden darf.

Im Artikel 14 der Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV, SR 451.1) ist explizit geregelt, wie Lebensräume zu erhalten sind. Zu diesen zählen aufgrund der grossen Zahl gefährdeter Tierarten (Rote Liste Arten) auch die Quellen. Im Anhang 1 dieser Verordnung sind die drei durch DELARZE ET. AL., 2015 beschriebenen Quelllebensräume explizit in der Liste der schützenswerten Lebensräume aufgeführt.

Ferner besagt auch die Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) unter Artikel 41, einen extensiv bewirtschafteten Gewässerraum von mindestens 11 Metern Breite zum Schutz der Gewässer auszuscheiden und im Falle von Beeinträchtigungen Revitalisierungen zu planen.

Zielsetzung und Rahmen der Arbeit

Über gefasste Quellen liegen Angaben zu Schüttungsvolumen und Lage vor. Doch die geographische Lage, das Schüttungsvolumen, Grösse und der Zustand von ungefassten Quellaustritten ist weitgehend unbekannt. In dieser Arbeit ist ein Vorgehen aufgezeigt, wie Quellen in einem grossen Perimeter identifiziert und nach ihrem morphologischen Zustand beurteilt werden. Die Methode dient als Grundlage für ein flächendeckendes Quellenkataster.

Die Studie sieht zusätzlich vor, für einige Quellen die faunistische Vielfalt von Makroinvertebraten und detaillierte Untersuchungen der Struktur zu erheben.

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen eines Pilotprojektes für die Erarbeitung eines Managementplans im Smaragdgebiet Oberaargau entstanden (HEDINGER, 2016), welches vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) und der Abteilung Naturförderung des Kantons Bern finanziell unterstützt wurde. Der Managementplan gibt vor, wie Naturwerte (ausgewählte Smaragd-Arten oder Smaragd-Lebensräume, zu denen auch die Quellen zählen) langfristig zu erhalten sind.

Projektperimeter

Das Smaragdgebiet Oberaargau befindet sich in der Region Langenthal–Herzogenbuchsee. Das Gebiet zählt 19 Gemeinden, verteilt auf die Kantone Bern, Luzern, Solothurn und Aargau. Der Perimeter deckt eine Fläche von rund 115 Quadratkilometern ab.

Smaragd nennt sich ein auf der Berner Konvention basierendes Netzwerk von Gebieten mit gesamteuropäisch gefährdeten Lebensräumen und Arten. Das Smaragdgebiet Oberaargau ist schweizweit das grösste von 37, durch den Europarat anerkannten Smaragdgebieten. In den Ländern der EU nennt sich die entsprechende Umsetzung Natura 2000.

In der Flächennutzung ist die Landwirtschaft mit Schwergewicht Ackerbau vorherrschend. Die Siedlungsdichte ist hoch, die Erschliessung optimal und die artenreichen Lebensräumen kommen nur noch kleinflächig und isoliert vor. Ein überdurchschnittlich dichtes Gewässernetz prägt die Landschaft. Neben der Aare, welche weitgehend durch Staustufen beeinträchtigt ist, haben die kleineren Flüsse einen noch vergleichsweise naturnahen Charakter. Önz, Murg und Rot fliessen leicht mäandrierend mit naturnahen, unverbauten Ufern.

Aus der Ferne betrachtet handelt es sich um eine typische Landschaft des Schweizerischen Mittellandes, die im Detail jedoch eine grössere Vielfalt an Arten und Lebensräumen birgt als auf den ersten Blick erwartet werden kann. So befinden sich in diesem landwirtschaftlich geprägten Gebiet überdurchschnittlich viele Arten, für die die Schweiz europaweit eine besondere Verantwortung trägt (Smaragdarten).

Resultate und Diskussion

Detaillierte Erläuterungen zu den verwendeten Arbeitsgrundlagen und den angewandten Arbeitsmethoden finden sich im Anhang (S. 112). An dieser Stelle sei lediglich kurz auf die beiden Methoden verwiesen, die im Rahmen dieser Arbeit zur Beurteilung von Quellen eingesetzt wurden. Die «Berner Methode» ist eine einfache Methode zur Beurteilung von Quelllebensräumen, die auch durch geschulte Laien anwendbar ist. Die «BAFU Methode» zur Beurteilung von Quelllebensräumen besteht aus einer strukturellen und einer faunistischen Beurteilung. Sie benötigt zu deren Anwendung ein gutes ökologisches Verständnis, weshalb diese Methode Fachleuten vorbehalten ist. Sie wurde nur bei einer beschränkten Auswahl von Quellen verwendet.

Quellenkataster Smaragdgebiet Oberaargau

Das Wissen über die Verbreitung der nicht gefassten Quellen im Smaragdgebiet Oberaargau setzt sich einerseits aus den zur Verfügung stehenden Grundlagen über potentiell natürliche Quellstandorte der Kantone Bern (Quellenkataster Kanton Bern – GSKQU) und Solothurn (Datenblätter von naturnahen Quellen) und andererseits den Ergebnissen aus einer Befragung zusammen. Aufgrund konkreter Anfragen haben Landwirte, Gemeinden, lokale Vereine und vor allem lokale Naturkenner potentielle Standorte für das Quelleninventar gemeldet. Weiter haben OL-Karten zusätzliche, unbekannte Quellstandorte zu Tage gebracht. Die Qualität und Quantität der Rückmeldungen über bekannte Quellstandorte war je nach Region sehr unterschiedlich. So hat sich ergeben, dass die Meldungen aus Gemeinden entlang der Rot sehr umfangreich, von anderen Orten jedoch eher rar waren.

Insgesamt sind die Feldarbeiten auf der Basis von rund 500 gemeldeten, potentiell natürlichen Quellstandorten in Angriff genommen worden. Die überprüften Quellen decken wohl einen grossen Teil der im Smaragdgebiet vorhandenen Quellen ab, die Angaben sind aber trotzdem nicht abschliessend. Um ein flächendeckendes Quellenkataster vom ganzen Smaragdgebiet Oberaargau zu erstellen, sind noch gezielt einzelne Lücken zu untersuchen und die Gesamtheit der gefassten Quellen zu berücksichtigen.

Strukturbeurteilung nach der «Berner Methode»

Zustand und Verbreitung von Quellen

Rund die Hälfte der 472 untersuchten Quellen ist in einem natürlichen Zustand. Die anderen Quelllebensräume sind entweder beeinträchtigt oder zerstört. Legt man den Fokus nur auf die offenen, also nicht zerstörten oder eingedolten Quellen, wurden 356 Quellstandorte beurteilt. Davon waren rund $\frac{2}{3}$ in einem natürlichen Zustand und in keiner Weise verbaut; *Abbildungen 1 und 2* sowie *Tabelle 1* zeigen den Zustand und die Verbreitung der untersuchten Quellen auf.

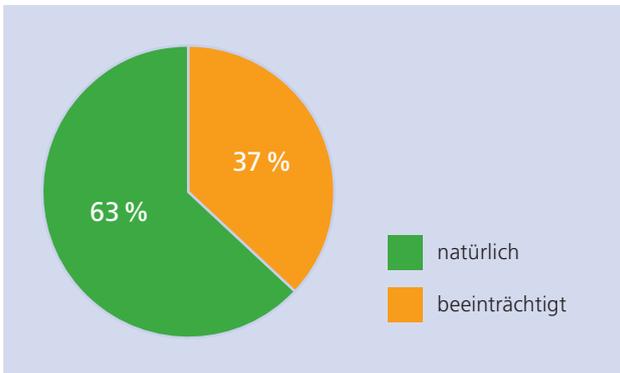


Abbildung 1: Zustand der nicht zerstörten Quellen: 221 Quellen in natürlichem, 135 Quellen in beeinträchtigtem Zustand.

	Zustand	Beschreibung des Zustands	Anzahl Quellen
	Natürlicher Quelllebensraum	Der Lebensraum ist äusserlich nicht beeinträchtigt	221
	Beeinträchtigter Quelllebensraum	Die Quelle ist teilweise durch alte Fassungen, Verbauungen, Viehtritt beeinträchtigt	135
	Zerstörter Quelllebensraum	Der gesamte Quelllebensraum ist verbaut und zerstört	116
	Keine Quelle	Punkt der GIS-Datenbank, der nicht als Quelle identifiziert wurde	Rund 70

Tabelle 1: Zustand der Quellen gemäss «Berner Methode».

Dass rund die Hälfte der 472 untersuchten Quellen in einem naturnahen Zustand sind, scheint auf den ersten Blick sehr viel zu sein. Zählt man die wenig beeinträchtigten Quellen dazu, so sind es 356 Quellen, also rund $\frac{2}{3}$ der untersuchten Standorte, die noch als offene Quellen vorkommen. Diese Auswertung ist mit

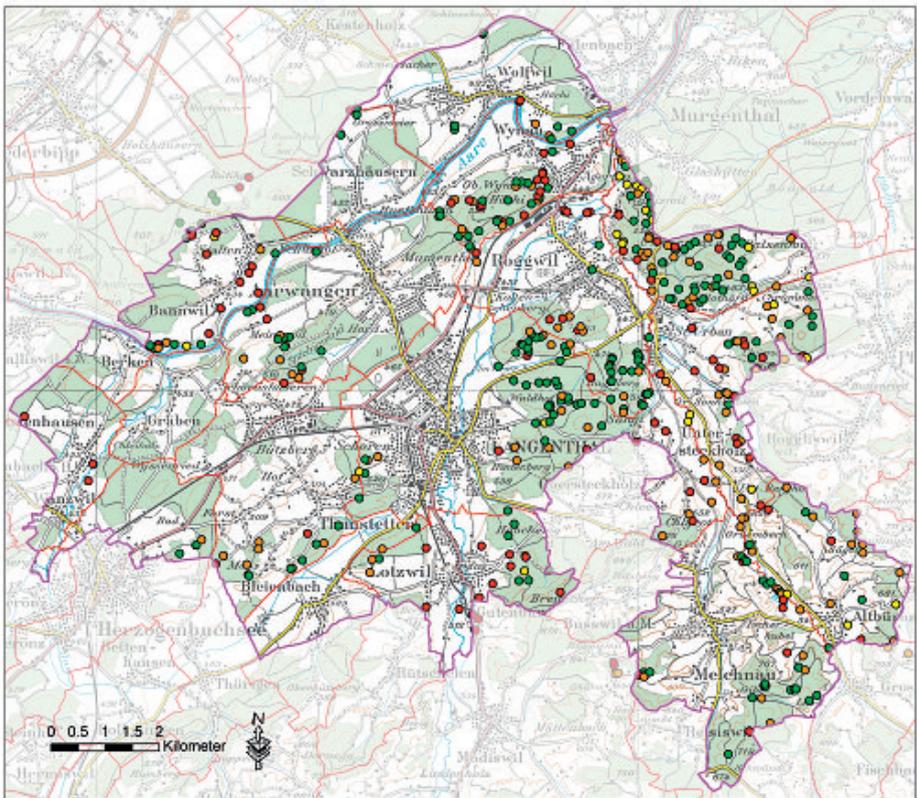


Abbildung 2: Untersuchte Quellstandorte. Grüner Punkt=natürlicher Quelllebensraum, oranger Punkt=beeinträchtiger Quelllebensraum, roter Punkt=zerstörter Quelllebensraum/gefaste Quelle, gelber Punkt=keine Quelle.

Vorsicht zu geniessen, weil alle für die Trinkwassernutzung und Drainage gefassten Quellen für die Berechnung nicht berücksichtigt wurden. Aufschlussreicher ist die Anzahl frei fliessender Quellen pro Quadratkilometer. Auf das ganze Smaragdgebiet gesehen entspricht es jedoch nur rund 3 Quellen pro Quadratkilometer, die frei abfliessen. Gemäss ZOLLHÖFER (1997) kamen im Mittelland 1880 noch 15 offene Quellen pro Quadratkilometer vor, obwohl zu diesem Zeitpunkt wohl bereits die Hälfte der Quellen eingedolt war. Heute sind es im Mittelland durchschnittlich nur noch 0.25 Quellen pro Quadratkilometer (ZOLLHÖFER, 1997). Im Smaragdgebiet kommen demnach im Vergleich zum Durchschnitt des Mittellandes rund 10 Mal mehr Quellen vor, die frei abfliessen.

Quellentyp

Beinahe $\frac{3}{4}$ der nicht gefassten Quellen werden bezüglich ihrer Austrittsform als Sturzquellen bestimmt. Rund $\frac{1}{4}$ sind Sickerquellen, Weiherquellen sind im Gebiet eher selten (16 Quellen).

Quellentyp und Zustand der Quellen sind nicht korreliert, kein bestimmter Quelltyp ist eher natürlich oder beeinträchtigt.

Standorte

Über 80 % der nicht gefassten Quellstandorte befinden sich im Wald (346 Quellen), die restlichen findet man im Landwirtschafts- (76) oder Siedlungsgebiet (9) vor. Zwischen dem Zustand der Quellen und dem Standort besteht ein signifikanter Zusammenhang: «Waldquellen» sind zu einem überdurchschnittlichen Anteil als naturnah eingestuft (Abb. 3). Die Gegenüberstellung der Diagramme (Abb. 4) von «Waldquellen» und solchen aus dem Landwirtschaftsgebiet verdeutlicht dies. So sind 78 % der Quelllebensräume im Landwirtschaftsgebiet beeinträchtigt oder zerstört. Im Wald hingegen sind es bloss 41 %. Natürliche Quellen findet man also hauptsächlich im Wald vor.



Abbildung 3: Naturnahe Sturzquelle im Wald, Gemeinde Pfaffnau LU (Foto UNA AG).

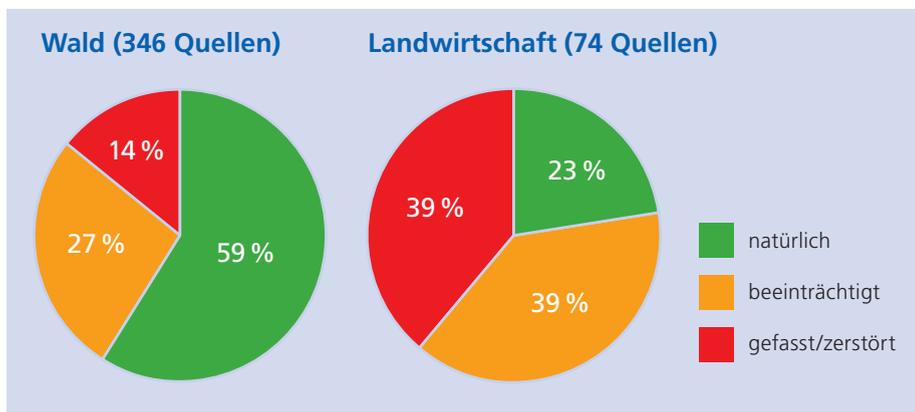


Abbildung 4: Vergleich des Quellzustandes zwischen «Waldquellen» und Quellen aus dem Landwirtschaftsgebiet (Angaben in Prozent).

Dramatisch ist die geringe Anzahl natürlicher Quelllebensräume der offenen Landschaft. Die meisten (57 von 74) dieser Quellen sind nicht mehr in einem natürlichen Zustand. Die wenigen natürlichen Quellen treten aus Uferböschungen von Flüssen oder Hecken aus, wie zum Beispiel entlang der Rot (Abb. 5). Im Acker- und Wiesland sind die Quellen fast gänzlich, aufgrund von Entwässerungsleitungen oder Trinkwasserfassungen, verschwunden.



Abbildung 5: Durch Fahrspuren beeinträchtigte Sickerquelle im Landwirtschaftsgebiet. Gemeinde Altbüren LU (Foto UNA AG).

Grösse von Quellen

Die Ergebnisse der Grössenangaben der Quellen im Smaragdgebiet Oberaargau zeichnen ein eindeutiges Bild. Fast alle sind kleine Quellen, mit einer Fläche kleiner als 15 Quadratmeter (*Tab. 2*). Dementsprechend gibt es zwischen der Grösse von Quellen und deren Zustand keine Korrelation.

Quellschüttung

Beurteilt nach ihrem Schüttungsvolumen haben die meisten Quellen ein geringes Schüttungsvolumen von weniger als einem Liter pro Sekunde. Die Analyse zwischen dem Zustand der Quellen und dem Schüttungsvolumen bringt signifikante Unterschiede hervor. Überdurchschnittlich viele Quellen mit einem grossen Schüttungsvolumen sind beeinträchtigt oder zerstört (*Tab. 2*). Das ist nicht erstaunlich, denn die stark schüttenden Quellen sind für die Trinkwassernutzung gefasst.

Beurteilung ausgewählter Quellen nach der «BAFU Methode»

Struktur der Quellen

Ziel dieser detaillierten Untersuchung war, einen Einblick in die Artenvielfalt der Quellen im Smaragdgebiet Oberaargau zu gewinnen. Daher haben wir für diesen Zweck eher intakte, naturnahe Quellen aus dem Wald und dem Landwirtschaftsgebiet gewählt. Die detaillierte Strukturbewertung von 10 nicht repräsentativ ausgewählten Quellen zeigt ein homogenes Bild auf. Alle untersuchten Waldquellen sind «naturnah» eingestuft (*Tab. 3*). Die Quellen im Offenland sind aufgrund von unbefestigten Wegen und der landwirtschaftlichen Nutzung in der Umgebung der Quelle nur «bedingt naturnah». Drei der zehn Quellen sind Quellen mit Kalksinterbildung. Man spricht auch vom Lebensraum Cratoneurion, der als National Prioritärer Lebensraum eingestuft ist.

Faunistische Untersuchungen

Die faunistischen Untersuchungen der 10 Quellen bringen hervor, dass 6 der ausgewählten Quellen eine quelltypische Fauna beherbergen und 3 eine bedingt quelltypische (*Tab. 3, Abb. 6*). Eine Quelle (QEM260) konnte aufgrund der minimalen Taxazahl nicht beurteilt werden. Die Taxazahl variiert je nach Quelle zwischen 4 und 18.

Zwei Quellen liefern erstaunliche Resultate, die einer ausführlicheren Erläuterung bedürfen. In der Quelle QEM120 im Naturschutzgebiet Vogelraupfi sind 18 Taxa nachgewiesen worden. Trotz dieser grossen Vielfalt wird die Quelle nur als bedingt quelltypisch eingestuft. Man kann also aufgrund der hohen Taxazahl nicht auf eine quelltypische Fauna, resp. auf eine hohe ökologische Wertesumme

Austrittsform (n=477)		Beurteilt (n – k. Angaben: n ₁ =373)		
Quelllebensraum	natürlich	beeintr.	zerstört	Summe
Sturzquelle	163	91	37	291
Sickerquelle	44	19	3	66
Weiherquelle	10	6	0	16
keine Angaben				104
Standort (n=477)		Beurteilt (n – k. Angaben: n ₂ =429)		
Quelllebensraum	natürlich	beeintr.	zerstört	Summe
Landwirtschaft	17	29	28	74
Wald	203	94	49	346
Siedlung	1	1	7	9
keine Angaben				48
Grösse (n=477)		Beurteilt (n – k. Angaben: n ₃ =387)		
Quelllebensraum	natürlich	beeintr.	zerstört	Summe
Klein (<15 m ²)	202	108	42	353
Mittel (15–30 m ²)	17	10	7	34
Gross (>30 m ²)	0	0	0	0
keine Angaben				90
Schüttung (n=477)		Beurteilt (n – k. Angaben: n ₄ =365)		
Quelllebensraum	natürlich	beeintr.	zerstört	Summe
Gering (<1 l/s)	203	94	34	331
Mittel (1–10 l/s)	12	8	11	31
Gross (10.1–100 l/s)		2	1	3
keine Angaben				112

Tabelle 2: Untersuchte Parameter im Überblick.

(ÖWS) schliessen (zur Definition von ÖWS, *siehe Anhang S. 113*). Womöglich hat man bei der Beprobung den Quelllebensraum zu grossflächig definiert und daher auch einige Arten gefangen, die bereits dem Quellbach angehören, also nicht typische Quellbewohner sind (*siehe Anhang Formel 1*).

In der Quelle QEM 304 haben die faunistischen Beurteilungen einen ÖWS-Wert von 37.7 ergeben (höchster Wert aller Quellen), obwohl nur 7 verschiedene Arten in der Probe vorkommen. Fünf Arten sind in grossen Mengen vorhanden und es kommen vor allem Quellspezialisten vor, was den hohen ÖWS-Wert erklärt.

Quell-Code	Gemeinde	Standort	Strukturwert	Struktur-bewertung	ÖWS	Fauna-bewertung	Σ Taxa	Σ RL	Σ NPA
QEM013	Aarwangen	Wald	1.23	Naturnah	22.7	Quelltypisch	12	4	1
QEM016	Aarwangen	Wald	1.47	Naturnah	24	Quelltypisch	6	1	
QEM120	Bannwil	Wald	1.11	Naturnah	18.6	Bedingt quelltypisch	18	4	
QEM139	Melchnau	Wald	1.20	Naturnah	21.1	Quelltypisch	7	3	
QEM212	Lotzwil	Wald	1.76	Naturnah	20	Quelltypisch	10	2	
QEM260	Roggwil BE	Wald	1.49	Naturnah	k. B.	k. B.	4		
QEM304	Roggwil BE	Landwirtschaft	1.99	Bedingt naturnah	37.7	Quelltypisch	7	6	3
QSO001	Wolfwil	Landwirtschaft	2.06	Bedingt naturnah	30	Quelltypisch	8	6	2
QAG061	Murgenthal	Wald	1.72	Naturnah	19.6	Bedingt quelltypisch	8	3	1
QAG069	Murgenthal	Wald	1.69	Naturnah	15.8	Bedingt quelltypisch	11	2	

Table 3: Faunistische Beurteilung von 10 Quellen. Fett markierte Quell-Codes sind Kalkquellen (Cratoneurion). ÖWS: Bei den fetten Zahlen stammen die Angaben aus der Sommer-Beprobung, die anderen vom Frühling. RL=Rote Liste Arten, NPA=National Prioritäre Arten, k. B. =keine Beurteilung, weil zu wenig Taxa.



Abbildung 6: Die Sturzquelle QEM013 wurde faunistisch untersucht.

Artenvielfalt

Insgesamt konnten wir in den zehn untersuchten Quellen 51 unterschiedliche Taxa ausmachen. 39 davon wurden auf Artniveau und 12 auf Gattungs- oder Familien-niveau bestimmt (Tab. 4). Am häufigsten vertreten waren Köcherfliegen-Larven, was den Erfahrungswerten vergangener Studien entspricht (LUBINI, 2015 b). Über die Hälfte (25/39 Arten) der Arten sind quelltypisch oder bedingt quelltypisch (krenobionte 30%; krenophile 30% der Arten).

Gruppe (latein)	Gruppe (deutsch)	Anzahl Taxa
Turbellaria	Strudelwürmer	4
Crustacea	Krebstiere	2
Mollusca	Schnecken	2
Odonata	Libellen	2
Ephemeroptera	Eintagsfliegen	5
Plecoptera	Steinfliegen	8
Trichoptera	Köcherfliegen	27
Amphibia	Amphibien	1

Tabelle 4: Organismengruppen der festgestellten Taxa



Abbildung 7: Larve des Feuersalamanders (Foto V. Lubini-Ferlin).

Seltene Arten

13 Arten der Roten Listen (GONSETH & MONNERAT, 2002/SCHMID & ZUMBACH, 2005/LUBINI ET AL., 2012) haben wir bei den Probenahmen gefunden, was einem Drittel der Arten entspricht (13 von 39 Arten). Davon sind 4 Arten als National Prioritäre Arten (NPA, BAFU 2011) eingestuft. Die für die Schweiz grösste Bedeutung gemäss Prioritätseinstufung der NPA-Liste haben die quelltypischen Köcherfliegen *Adicella filicornis* und *Stactobia moselyi*.

Die Köcherfliegenart *Adicella filicornis* ist in einer Quelle (QSO001) nachgewiesen worden und ist gemäss Info Species Datenbank (INFO FAUNA, 2017) ein äusserst seltener Fund für das Mittelland (Abb. 8). Bisher waren nur 9 Standorte im Mittelland bekannt. Die quelltypischen Köcherfliegenarten *Beraea maurus*, *Ernodes articularis*, *Micropterna lateralis* und *Ptilocolepus granulatus* sind alles Erstnachweise für die Region Oberaargau (Abb. 9 und 10). Einerseits zeigt dieses Ergebnis die Bedeutung des Smaragdgebietes Oberaargau hinsichtlich der Erhaltung und Förderung von Rote Listen und National Prioritären Arten auf, andererseits sind Quellen hinsichtlich ihrer Fauna allgemein noch wenig untersucht, was die Bedeutung der Erstnachweise etwas relativiert.



Abbildung 8: Die heute bekannten Funde der Köcherfliege *Adicella filicornis*, Quelle INFO FAUNA, 2017. Orange Punkte: Daten vor 2000, rote Punkte: Daten ab 2000.



Abbildung 9: Larve von *Ernodes articularis*
(Foto V. Lubini-Ferlin).



Abbildung 10: Köcherfliege *Ernodes articularis*
als Adulttier (Foto V. Lubini-Ferlin).

Aufgrund der Seltenheit von naturnahen Quelllebensräumen und deren geringen Grössen überrascht es nicht, dass die untersuchten Quellen relativ viele Rote Liste Arten aufweisen (Tab. 5). Die grösste Anzahl dieser seltenen Arten befindet sich in den zwei Quellen aus dem Landwirtschaftsgebiet (QEM304 und QSO001). Diese Quellen haben, aufgrund der raren Quellvorkommen im landwirtschaftlich genutzten Gebiet, eine besonders wertvolle ökologische Bedeutung.

Gruppe	Art	Typ	RL	NPA	Anzahl Quellen
Odonata	<i>Cordulegaster bidentata</i>	krenobiont	NT		2
Trichoptera	<i>Adicella filicornis</i>	krenobiont	EN	3	1
Trichoptera	<i>Beraea maurus</i>	krenobiont	NT		3
Trichoptera	<i>Beraea pullata</i>	krenophil	NT		2
Trichoptera	<i>Ernodes articularis</i>	krenobiont	VU	4	3
Trichoptera	<i>Micropterna lateralis</i>	krenophil	NT		1
Trichoptera	<i>Plectrocnemia brevis</i>	krenophil	NT		2
Trichoptera	<i>Plectrocnemia geniculata</i>	krenobiont	NT		8
Trichoptera	<i>Ptilocolepus granulatus</i>	krenobiont	NT		2
Trichoptera	<i>Potamophylax nigricornis</i>	krenobiont	NT		3
Trichoptera	<i>Synagapetus dubitans</i>	krenobiont	NT		2
Trichoptera	<i>Stactobia moselyi</i>	krenobiont	EN	3	1
Amphibia	<i>Salamandra salamandra</i>	krenophil	VU	4	2

Tabelle 5: Arten der Roten Liste: krenobiont=Quellspezialisten, krenophil = kommen in Quellnähe vor. RL=Rote Liste Einstufung. NT=Near Threatened/potentiell gefährdet; VU=Vulnerable/gefährdet; EN=Endangered/stark gefährdet. NPA=Prioritätseinstufung der Nationalen Prioritären Arten: 4 = mässig, 3 = mittel.

Die faunistischen Untersuchungen von 10 Quellen machen deutlich, dass man aufgrund einer Struktur-Beurteilung «naturnah» nicht immer auf eine quelltypische Fauna schliessen kann. So weisen die beiden Quellen im Offenland strukturelle Defizite auf, trotzdem erzielen sie im Vergleich zu den Waldquellen die höchste ökologische Wertesumme (ÖWS) und die meisten Rote Liste Arten. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die wenigen Quellen im Offenland prioritär behandelt werden sollten.

Auch Studien aus dem Kanton Basel-Landschaft (KÜRY, 2014) und dem Schweizer Mittelland (LUBINI, 2015 a) unterstreichen die Aussage, dass man mit der Strukturbeurteilung nicht direkt auf eine quelltypische Fauna schliessen kann. Um sich ein vertieftes Bild einer Quelle zu machen, ist also die Untersuchung beider Teile der «BAFU-Methode» (Struktur und Fauna) unerlässlich.

Massnahmen zum Erhalt von Quellen

Um den Rückgang der offenen, natürlichen Quelllebensräume im Smaragdgebiet zu bremsen, sind Massnahmen zu deren Schutz notwendig. Je nach Beurteilung der Quellenstruktur werden unterschiedliche Massnahmen zum Unterhalt empfohlen (Tab. 6). Voraussetzung für die Umsetzung von Massnahmen ist eine möglichst flächendeckende Bestandsaufnahme von Quellen. Nur so kann die Wertigkeit der einzelnen Standorte bestimmt und die Massnahme entlang einer Prioritätensetzung gewählt werden.

In der Folge werden Massnahmen beschrieben, die nach steigender Verbindlichkeit geordnet sind.

Massnahme	Instrument	Verbindlichkeit
Bewirtschaftungshinweis	–	Empfehlung
Kommunales Naturinventar	Richtplan	Behördenverbindlich
Objektschutz	Schutz- und Nutzungsplan oder Smaragd-Vertrag	Grundeigentümergeverbindlich

Tabella 6: Übersicht der Massnahmen zum Erhalt von Quellen.

Massnahmenempfehlungen für naturnahe und beeinträchtigte Quellen

Bewirtschaftungshinweise

Um die Gewässerqualität und die gesetzlichen Vorschriften bezüglich der Bewirtschaftung einzuhalten, empfehlen wir für alle bekannten, naturnahen und beeinträchtigten Quelllebensräume folgende Massnahmen:

- Grosszügige Pufferstreifen, um den Nährstoff- und Pestizideintrag zu verhindern.
- Keine Astdepots und andere Strukturen auf den Quelllebensraum.
- Keine Viehtränken und Auszäunung der Quelle, um den sensiblen Lebensraum vor Trittschäden zu schützen.
- Aufwertungen wie Kleinstrukturen im Pufferbereich von Quellen fördern die Quellfauna.

Durch Bewirtschaftungshinweise ist auf einfache Art, viel zum Erhalt von Quellen zu erreichen. Das ermöglicht insbesondere auch bei Quellen im Wald auf die Lage der Quellen und deren Berücksichtigung bei Forstarbeiten aufmerksam zu machen.

Kommunales Naturinventar

Quellen kann man in ein Naturinventar der Gemeinde aufnehmen, welches den Ist-Zustand der Quellen darstellt. Sind die Quellen in einem Gemeinderichtplan verankert, geniessen sie einen behördenverbindlichen Schutz.

Objektschutz

Für den stärksten, grundeigentümergebundenen Schutz von Quellen sind Quellen in einen kommunalen Schutz- und Nutzungsplan aufzunehmen – als Schutzzone oder als lokales Naturschutzgebiet mit den entsprechenden Auflagen im Baureglement. Der Schutz auf Gemeindeebene kann Quellen im Wald und in der offenen Landschaft berücksichtigen.

Ein zeitlich begrenzter Objektschutz kann mittels Artenschutz- oder Lebensraumverträgen (z. B. Smaragdvertrag) verankert sein. Dieser Vertragstyp basiert auf einem gegenseitigen, vertraglich geregelten Einverständnis und ist für beide Vertragspartner verbindlich. Der Bewirtschafter wird für die Fördermassnahmen und Bewirtschaftungseinschränkungen finanziell entschädigt. Die Dauer der Verträge ist meist auf 8 Jahre beschränkt und muss bei einem Wechsel des Bewirtschafters nicht fortgeführt werden. Eine Kündigung ist gemäss Vertragsbestimmungen möglich. Es handelt sich bei diesem Vertrag um eine Vereinbarung zwischen den Vertragsparteien und nicht um einen formellen Schutz der Quellen. Den Abschluss von Smaragdverträgen (kantonale Arten- oder Lebensraumverträge) empfehlen wir für Quellen im Landwirtschaftsgebiet.

Als zusätzliches Element der Sicherung einer Quelle kann ein Grundbucheintrag gewählt werden. Bei diesem notariell beglaubigten Akt wird eine Auflage, hier zur Nutzung, dauerhaft im Grundbuch der entsprechenden Parzelle verankert. So kann die Abhängigkeit vom Bewirtschafterwechsel und der Vertragskündigung aufgefangen werden. In der Regel geschieht der Grundbucheintrag auf Anlass einer Körperschaft wie Kanton, Pro Natura usw. Für den Grundeigentümer wird ein Grundbucheintrag, falls es sich um eine Einschränkung der Nutzung handelt, mit einer einmaligen Entschädigung abgegolten.

Biotopschutz – kantonales Schutzgebiet

Das Einrichten eines kantonalen Schutzgebietes ist ein langwieriger Prozess, der ein Mitwirkungsverfahren miteinschliesst. Die Massnahme ist grundeigentümerverbindlich und bedingt einen Regierungsratsbeschluss. Ein solcher Biotopschutz ist nur für einzigartige Quelllebensräume mit einer ausserordentlichen Arten- und Strukturvielfalt in Betracht zu ziehen.

Massnahmen für zerstörte, gefasste Quelllebensräume

Wir empfehlen, auch zerstörte Quellen in einem Quellkataster festzuhalten. Ferner sind solche Quellen im Hinblick auf eine mögliche Revitalisierung zu prüfen.

Die Regionalisierung der Trinkwasserversorgung führt dazu, dass viele Fassungen, aufgrund ihrer relativ geringen Schüttungsmenge, nicht mehr verwendet und nicht mehr am Versorgungsnetz angeschlossen sind. Besonders bei diesen aufgegebenen Quelfassungen ist ein grosses Revitalisierungspotential vorhanden.

Bei Quellen, die durch Entwässerungsleitungen zum nächsten Wald geleitet werden und dort über ein Rohr an die Oberfläche treten, scheint eine Revitalisierung kaum umsetzbar. Eine solche hätte grosse Verluste an landwirtschaftlicher Nutzbarkeit zur Folge.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen unterstreichen die Bedeutung der Quellen im Smaragdgebiet Oberaargau hinsichtlich des Aussterbens bedrohter Arten. Vier Köcherfliegenarten sind für das Gebiet Erstmals nachgewiesen. Bekanntere seltene Arten wie der Feuersalamander (*Salamandra salamandra*) und die gestreifte Quelljungfer (*Cordulegaster bidentata*) sind weitere Arten, die wir in den Quellenproben des Smaragdgebietes Oberaargau nachweisen konnten. Schliesslich wurden in neun von zehn im Detail untersuchten Quellen Rote Liste Arten identifiziert, was darauf hindeutet, dass die Quellen des Smaragdgebietes Oberaargau aus faunistischer Sicht eine grosse ökologische Bedeutung aufweisen und für Erhalt und Förderung der seltenen Quellenarten zentral sind.

Trotz guter rechtlicher Grundlagen fehlt es schweizweit an deren Umsetzung. Quellen werden auch beim Gewässerunterhalt oft nicht mit einbezogen oder werden, vor allem im Wald, nicht als eigenen Lebensraum berücksichtigt und dadurch bei Holzungsarbeiten z. T. arg in Mitleidenschaft gezogen. Konkrete Schutzbestimmungen wurden bisher im Smaragdgebiet Oberaargau nicht umgesetzt.

Naturnahe Quellen sind sehr kleinflächige Lebensräume und aufgrund ihrer Verbreitung und Isolation als selten zu bezeichnen. Massnahmen zur Förderung der verbliebenen Quellen sind eine Notwendigkeit, um den Lebensraum langfris-

tig zu erhalten. Insbesondere im Landwirtschaftsgebiet sind intakte Quelllebensräume, wie diese Studie aufzeigt, sehr selten. Eine quelltypische Fauna konnten wir im Landwirtschaftsgebiet noch nachweisen, doch aufgrund der räumlichen Isolation intakter Quellen ist es fraglich, ob ein längerfristiges Überleben dieser Fauna überhaupt möglich ist. Die verbliebenen Quellen im Landwirtschaftsgebiet sind, um der heutigen Entwicklung entgegen zu wirken, durch Verträge zu erhalten, beeinträchtigte und zerstörte Quelllebensräume zu revitalisieren. Eine gute Zusammenarbeit mit Grundeigentümern, Landwirten und kommunalen Behörden scheint bezüglich Erhalt der wenigen verbliebenen Quellen im Acker- und Wiesenland zielführend zu sein.

Im Wald, wo noch häufiger naturnahe Quellen vorkommen, empfehlen wir primär ein flächendeckendes Quellkataster und Sensibilisierungsmassnahmen, damit der Lebensraum als solcher wahrgenommen wird und sich die sensible, vom Aussterben bedrohte Artenvielfalt erhalten kann. Das gilt auch für Kleinstquellen, die nur als feuchter Sumpf zu erkennen sind. Denn auch hier konnten wir eine grosse quelltypische Artenvielfalt auffinden. Jeder intakte Quelllebensraum ist für den langfristigen Erhalt der spezialisierten Fauna von Bedeutung.

Generell empfehlen wir, beeinträchtigte Quellen hinsichtlich einer Revitalisierung zu prüfen und Massnahmen mit grossem Kosten-Nutzen-Verhältnis zu bevorzugen.

Dank

Unser ausdrücklicher Dank geht an die Freiwilligen, die während zwei Monaten Quellen aufgesucht und beurteilt haben. Dr. Daniel Küry hat die faunistischen Bestimmungen verifiziert und uns bei der Interpretation der Ergebnisse unterstützt. Sarah Sommer, Bachelor Studentin an der ZHAW Wädenswil, danken wir für die statistischen Tests. Und nicht zuletzt haben Mitarbeiter des Gewässer- und Bodenschutzlabors und der Abteilung Naturförderung des Kantons Bern uns mit Feld- und Bestimmungsarbeiten, sowie der Verwaltung der Quelldatenbank tatkräftig unterstützt. Wir sind allen für ihre Mithilfe am Projekt äusserst dankbar. Ein grosser Dank geht auch an das Bundesamt für Umwelt (BAFU), das das Projekt finanziert hat und an den Verein Smaragdgebiet Oberaargau für die Projektträgerschaft.

Referenzen

- AWA, GEWÄSSER- UND BODENSCHUTZLABOR GBL, 2016: Kartierung der Quelllebensräume Berner Methode – Anleitung und Feldprotokoll. <http://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet/Quellen.html>
- BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU), 2011: Liste der Nationalen Prioritären Arten – Arten mit nationaler Priorität für die Erhaltung und Förderung, Stand 2010. Umwelt-Vollzug Nr. 1103, Bern, 132 S.

- DELARZE, R., GONSETH, Y., EGGENBERG, S. & VUST, M., 2015: Lebensräume der Schweiz – Ökologie, Gefährdung, Kennarten. 3. Auflage.
- GONSETH, Y., MONNERAT, C., 2002: Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz – Libellen, Stand 2002. BUWAL und CSCF.
- HEDINGER, H., 2016: Managementplan für das Smaragdgebiet Oberaargau – UNA AG. Unveröffentlichter Bericht.
- INFO FAUNA, 2017: Verbreitungskarten Tierarten. <http://lepus.unine.ch/carto/>. Abgerufen am 27.04.2017.
- KÜRY, D., 2015: Quellen im Fokus. Aqua Viva – die Zeitschrift für Gewässerschutz, 57. Jahrgang Nr. 3/2015, S. 17–21.
- KÜRY, D., 2014: Charakterisierung und Schutz natürlicher und naturnaher Quellen im Kanton Basel-Landschaft (Schweiz). Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft beider Basel, 15/2014.
- KÜRY, D., LUBINI, V., STUCKI, P., 2017: Aqua Viva – die Zeitschrift für Gewässerschutz, Nr. 1/2017, S. 9–11.
- LUBINI, V. (a), 2015: Sammlung unveröffentlichter Daten über Quellenuntersuchungen der Schweiz.
- LUBINI, V. (b), 2015: Quellen im Fokus. Aqua Viva – die Zeitschrift für Gewässerschutz, 57. Jahrgang Nr. 3/2015, 11–13.
- LUBINI, V., KNISPEL, S., SARTORI, M., VICENTINI, H. & WAGNER, A., 2012: Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Umwelt-Vollzug Nr. 1212, Bundesamt für Umwelt, Bern und Zentrum für die Kartografie der Fauna, Neuenburg., 111 S.
- LUBINI-FERLIN, V., KÜRY, D., STUCKI, P., 2014: Bewertung von Quell-Lebensräumen in der Schweiz – Entwurf für ein strukturelles und faunistisches Verfahren. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- SCHMID, B. R., ZUMBACH, S., 2005: Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz, Stand 2005. BUWAL und KARCH.
- ZOLLHÖFER, J. M., 1997: Quellen – die unbekanntesten Biotope im Schweizer Jura und Mittelland, erfassen-bewerten-schützen. Bristol Schriftenreihe Band 6, Bristol-Stiftung Zürich, 132 S.

Anhang

Methoden der Feldaufnahmen

Berner Methode

Für eine flächendeckende Beurteilung von Quellen in einem Gebiet wie dem Smaragdgebiet Oberaargau ist es von Vorteil, mit einer Methode zu arbeiten, die nicht zu detailliert ist und auch von geschulten Laien angewendet werden kann. Das Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern (GBL) hat dies erkannt und für diesen Zweck eine vereinfachte Beurteilungsmethode von Quellen, auch Berner Methode (AWA, GEWÄSSER- UND BODENSCHUTZLABOR GBL, 2016) genannt, entwickelt.

Die Berner Methode ist für diese Art von Aufnahmen geeignet, da sie für geschulte naturbegeisterte Freiwillige anwendbar ist. Zentraler Parameter ist die Einstufung des Zustandes eines Quelllebensraumes. Es wird zwischen 3 Stufen unterschieden: naturnah, beeinträchtigt oder zerstört. So ist der Zustand einer Quelle natürlich, wenn der Quelllebensraum nicht beeinträchtigt ist. Eine Quelle gilt als beeinträchtigt, wenn der Lebensraum durch Verbauungen begrenzt ist oder eine Fassung mit einem Überlauf vorkommt, jedoch in jedem Fall ein Quelllebensraum vorzufinden ist. Hingegen ist eine Quelle zerstört, wenn keine Anzeichen auf einen natürlichen Quelllebensraum hindeuten, was sich in Form von Brunnstuben, Brunnen, Vieh-

tränken oder Rohrausläufen manifestiert. Weiter werden die Fläche, das Schüttungsvolumen und der Standort der Quelle (Wald, Offenland oder Siedlungsgebiet) aufgenommen.

BAFU Methode

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat eine Methode für die Beurteilung von Quellen entwickelt (LUBINI-FERLIN ET AL., 2014). Die Methode besteht aus einer strukturellen und einer faunistischen Beurteilung. Diese Methode kann nur von Fachleuten angewendet werden, ist viel zeitaufwändiger und eignet sich für spezifische Untersuchungen von Quellen. Sie wurde für zehn im Detail untersuchten Quellen verwendet.

Struktur von Quellen

Mit der BAFU-Strukturmethode zur Beurteilung von Quellen werden hauptsächlich zwei Aspekte unterschieden: die Art und das Ausmass von Beeinträchtigungen (Wert A) einerseits und die Vegetation-Nutzung-Struktur (Wert B) andererseits. Die Kombination beider Werte ergibt den Strukturwert einer Quelle. Im Vergleich zur Berner Methode sind die Aufnahmeparameter viel feiner und man kann sich dadurch ein besseres Bild vom Zustand einer Quelle machen.

Fauna von Quellen

Die BAFU-Methode untersucht Makroinvertebraten wie Larvenstadien von Insekten, Schnecken (*Mollusca*), Krebstieren (*Crustacea*) und Strudelwürmern (*Turbellaria*). Die mit einem Netz gefangenen Tiere sind in Alkohol aufbewahrt und werden anschliessend möglichst auf Artniveau bestimmt. Da einige Individuen aufgrund ihres Entwicklungsstadiums nicht auf Art- sondern nur auf Gattungsniveau bestimmt werden konnten, sprechen wir von Anzahl Taxa und nicht von Anzahl Arten. Die Ergebnisse manifestieren sich in Form eines Index, der die Quellfauna als quelltypisch, bedingt quelltypisch, quellverträglich, quellfremd oder sehr quellfremd einstuft. Dieser Fauna-Index entspricht der ökologischen Wertesumme (ÖWS) und setzt sich zusammen aus der Summe der ökologischen Wertezahlen jeder Taxa (ÖWZ) multipliziert mit deren Menge (Abundanz).

$$\text{ÖWS} = \sum \text{ÖWZ} * \text{Abundanz}$$

Formel 1: Berechnung der ökologischen Wertesumme (ÖWS).

Die ÖWZ gibt Auskunft über die Quellbindung einer Art (eines Taxons). Je höher der Wert, desto quelltypischer ist die Art. In diesem Sinn sagt die ökologische Wertesumme (ÖWS) aus, wie quelltypisch die Fauna des jeweiligen Quelllebensraumes ist. Voraussetzung um den Index zu berechnen ist, dass mindestens 5 verschiedene Arten (oder Taxa) identifiziert werden. Für jede Quelle haben wir die ÖWS der Frühlings- und Sommeraufnahmen berechnet, für die Auswertung jedoch nur den höchsten dieser beiden Werte verwendet.

Feldaufnahmen

An den Feldaufnahmen der Berner Methode waren 9 Ehrenamtliche, 2 Angestellte des Kantons Bern und 2 Mitarbeiter der Umweltfirma UNA beteiligt. Die Aufnahmen fanden während der Monate März und April 2015 statt.

Die Detailuntersuchungen mittels BAFU-Methode wurden durch Fachspezialisten vom UNA, dem Gewässer- und Bodenschutzlabor (GBL) und der Abteilung Naturförderung zwischen dem 15. April und 14. Mai 2015, sowie während einer zweiten Aufnahmeperiode, im Juli 2015, durchgeführt.

Datenverwaltung

Das GBL hat 2015 eine Quell-Datenbank entwickelt. Dadurch sind alle Angaben über nicht gefasste Quellen des Kantons Bern und des hier vorliegenden Projektperimeters zentral gespeichert und für Auswertungen abrufbar.

Die Ergebnisse der Detailuntersuchungen (Struktur und Fauna) wiederum, wurden dem Schweizerischen Zentrum für Kartographie der Fauna (SZKF/CSCF) übermittelt.

Statistische Tests

Um Beziehungen zwischen den erhobenen Parametern und dem Zustand der Quellen zu ermitteln sind die Ergebnisse der Feldaufnahmen mit dem Chi-Square-Test analysiert worden. Das Signifikanzniveau ist auf 5% festgelegt.

Aus den Vereinsannalen der NGB – Beiträge aus den Mitteilungen 1943

Was bewegte die Naturforschende Gesellschaft Bern im Kriegsjahr 1943? Auch in diesem Mitteilungsband möchte ich Ihnen Einblick geben in die längst vergangenen Höhepunkte des Vereinslebens. Dieses Mal in Form der Sitzungsberichte des Jahres 1943, abgedruckt im Mitteilungsband 1944. Wie offenbart sich der Krieg in diesem Band? War auch unsere Gesellschaft Teil einer nationalen Verteidigungsstrategie?

Sitzungsberichte der Naturforschenden Gesellschaft in Bern aus dem Jahre 1943

1515. Sitzung, Freitag, den 12. Februar 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. P. Casparis. Anwesend 38 Personen.

Es können wieder fünf neue Mitglieder in die Gesellschaft aufgenommen werden. Es sind dies die Herren: Dr. L. Boubisse; Herr Julien Noyer, Apotheker; Herr Werner Bachmann, Tierarzt; Dr. H. Hostettler; Dr. H. Utiger.

Herr **Pd. Dr. H. Mühlemann** (Pharmazeut. Institut, Bern) hält einen Vortrag über «**Prüfung und Bestandteile des Farnwurzelextraktes**».

Herr **Pd. Dr. R. Rutsch** (Geol. Institut, Bern) spricht über: «**Quarzsandvorkommen im Berner Jura**».

1516. Sitzung, Freitag, den 19. Februar 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. R. Signer. Anwesend: 34 Personen.

Neu in die Gesellschaft aufgenommen wird Herr Dr. med. dent. Peppo Galli.

Herr **Prof. Dr. W. Rytz** hält einen Vortrag über: «**Was lehren uns die verkohlten Pflanzenreste der Pfahlbauten**» (mit Demonstrationen).

1517. Sitzung, Freitag, den 26. Februar 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. P. Casparis. Anwesend: 32 Personen.

Die folgenden Herren werden neu in die Gesellschaft aufgenommen: Herr Jean Schumacher, Geologe; Herr Dr. H. Hirsbrunner; Herr Hans Hurni, cand. phil. II.

Herr **Prof. B. Peyer** aus Zürich spricht über: «**Neuere Ergebnisse der Palaeontologie**».

1518. Sitzung, Freitag, den 12. März 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. P. Casparis. Anwesend: 64 Personen.

Herr **Dr. O. Högl**, Sektionschef des Eidg. Gesundheitsamtes (Bern), hält einen Vortrag über «**Kriegsbedingte Ersatzprodukte für Lebensmittel**».

1519. Sitzung, Freitag, den 14. Mai 1943, 20 Uhr

Hauptversammlung.

Vorsitz: Herr Prof. P. Casparis. Anwesend: 97 Personen.

Der Vorsitzende verliest den Jahresbericht für das Geschäftsjahr 1942/43. Die Herren Prof. P. Casparis und Prof. R. Signer werden einstimmig für ein weiteres Jahr zum Präsidenten, resp. Vizepräsidenten gewählt. Neu in die Gesellschaft aufgenommen wird Herr Dr. Ing. chem. Otto Wyler.

Herr **Prof. Dr. C. Wegelin** erhält das Wort zu seinem Vortrag über: «**Der heutige Stand der Krebsforschung**».

1520. Sitzung (auswärtige Sitzung), Sonntag, den 27. Juni 1943

im Emmental (Sumiswald-Heimiswil).

Vorsitz: Herr Prof. P. Casparis. Anwesend: 51 Personen,

darunter der Gemeindepräsident von Affoltern, Herr Dr. Fr. Bürgi, Herr Pfarrer Hämmerli von Heimiswil, die Herren Drs. Allemann und Brack von der Sandoz A.-G. (Basel).

Bahnfahrt (Bern ab 6.55) über Burgdorf-Ramsei nach Sumiswald. Hier begrüsst Herr Dr. Allemann unsere Gesellschaft und hält ein kurzes Referat über die verschiedenen Arznei-Pflanzenkulturen der Sandoz A.-G. Hierauf wird eine der Mutterkornkulturen bei Sumiswald besichtigt. Herr Dr. Brack orientiert über die Bedeutung, Technik der Infektion, Ergebnisse dieses Unternehmens, wobei auch die Apparate für die Infektion auf manuelle Wege demonstriert werden.

Anschliessend Spaziergang nach Weier i. E., wo an einem weiteren Roggenfeld die Infektion mittelst einer neuen Maschine gezeigt wird. Der Vortrag von Herrn **Pfarrer Hämmerli**: »**Volkskundliche Plauderei über das Emmental**«, der namentlich auch hochinteressante Angaben über heidnische und katholische Bräuche, die heute noch im Emmental weiterbestehen, enthielt, wurde von allen Anwesenden lebhaft verdankt. Ankunft in Bern: 18.40 Uhr.

1521. Sitzung, Freitag, den 15. Oktober 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. Signer. Anwesend: 30 Personen.

Vortrag von Herrn **Prof. H. Huttenlocher**: «**Geologie und Pétrographie von Karden und Kola und ihre Lagerstätten**».

Die folgenden Herren werden neu in die Gesellschaft aufgenommen: Herr Prof. Cadisch; Herr Dr. Wilhelm Keller, Zahnarzt; Herr A. Jatow, Ing. Agr.

1522. Sitzung, Freitag, den 12. November 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. P. Casparis. Anwesend: 93 Personen.

Der Vorsitzende eröffnet den Vortragszyklus über «Naturforschung und Urgeschichte», den die Naturforschende Gesellschaft gemeinsam mit der Schweizerischen Gesellschaft für Urgeschichte durchführt und begrüsst speziell auch die zahlreich anwesenden Mitglieder der Gesellschaft für Urgeschichte.

Als neue Mitglieder haben sich angemeldet die Herren Dr. Karl Hüni, Ing. Agr.; Hans Bernhard Studer; Dr. Chr. Studer, Apotheker; Dr. Aug. Müller, Apotheker; Dr. Heinr. Zschokke, Chemiker.

Herr **Prof. Dr. H. Bluntschli** (Bern) spricht hierauf über: «**Das Rassenproblem beim Menschen in prinzipieller Betrachtung**».

1523. Sitzung, Freitag, den 19. November 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. Casparis. Anwesend: 44 Personen.

Vortragszyklus über «Naturforschung und Urgeschichte»: II. Die Naturforschung im Dienste der Urgeschichte.

a) **Botanik**. Referent Herr **Prof. Dr. W. Rytz** (Bern).

b) **Geologie**. Referent Herr **Dr. P. Bieri** (Thun).

1524. Sitzung, Freitag, den 3. Dezember 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. P. Casparis. Anwesend: 68 Personen.

Vortragszyklus über «Naturforschung und Urgeschichte», III. **Die Erforschung der Simmentaler-Höhlen, Schnurenloch, Ranggiloch und Chilchlihöhle***).

Es sprechen: Herr **Albert Andrist** (Liebefeld) über die **Topographie der Höhlen**, Herr **Walter Flückiger** (Koppigen) über die **Tierwelt** derselben und Herr **David Andrist** über das Thema der **Höhlenmensch**.

1525. Sitzung, Freitag, den 10. Dezember 1943, 20 Uhr

Vorsitz: Herr Prof. P. Casparis. Anwesend: 78 Personen.

Es folgt der IV. und letzte Vortrag im Zyklus über «Naturforschung und Urgeschichte». Herr **Prof. Dr. O. Tschumi** (Bern) spricht über: «**Die Kultur der Steinzeit**».

Das war es also, was die NGB im Vereinsjahr 1943, mitten im Krieg interessierte und bewegte. Ohne allzu viel hinein interpretieren zu wollen, unterstreichen doch einige Beiträge den damaligen Zeitgeist:

Teil einer nationalen Verteidigungsstrategie waren wir sicherlich nicht, aber die Rückbesinnung auf urschweizerische Werte verdeutlichen verschiedenste Beiträge zu Pfahlbauern und Höhlenmenschen, oder aber auf das heidnische Brauchtum im Emmental.

Versorgungsengpässe während dem Krieg klingen z.B. in O. Högl's Vortrag «Kriegsbedingte Ersatzprodukte für Lebensmittel» und F. Rutsch's Beitrag zu «Quarzsandvorkommen im Berner Jura» an (z.B. für Giessereisande in der Eisenindustrie). Die Exkursion ins Emmental befasste sich zudem mit der Mutterkorninfektion von Getreide.

Auch der Vortrag von H. Bluntschli zum Thema «Das Rassenproblem beim Menschen in prinzipieller Betrachtung» scheint bestens in die 1940'er Jahre zu passen, auch wenn wir zum Inhalt des Vortrages nichts sagen können. Bluntschli selbst scheint aber über alle Zweifel erhoben, war er doch selbst Opfer des Nati-Regimes.

Erstaunlich für uns heutige Mitglieder dürften die vielen neuen Mitgliedschaften in diesem Kriegsjahr sein. Nicht weniger als 104! Neumitglieder waren seit Herbst 1942 dazu gekommen. Dieser Zuwachs übertraf bei weitem die freiwilligen und todesbedingten Abgänge. Er war allerdings nicht Normalfall, sondern Ergebnis einer erfolgreichen «Propagandaaktion» (sic) des Vorstandes. Die Mitgliederzahl stieg auf 304, fast ebenso hoch wie heute (ca. 330). Ein solcher Mitgliederanstieg würde den heutigen Vorstand mehr als nur entzücken, ist die NGB doch von einer immer stärkeren Überalterung betroffen.

Ähnlich wie heute schwankten die Zuhörerzahlen zwischen 32 und 97, wobei sie doch insgesamt etwas höher als heute liegen dürften. Angesicht des heutigen enormen, ja beinahe gigantischen Angebotes an kulturellen und auch naturwissenschaftlichen Veranstaltungen, scheinen unsere Zuhörerzahlen eigentlich gar nicht mal mehr so gering...



Bernische Botanische Gesellschaft

Jahresbericht 2016

1. Vorstand

Im Vorstand amtierten während des Jahres 2016:

Präsident:	STEFFEN BOCH
Kassiererin:	REGINE BLÄNKNER
Sekretärin:	CHRISTINE FÖHR
Exkursionen:	ADRIAN MÖHL
Redaktor:	ANDREAS GYGAX
Webmasterin:	MURIEL BENDEL
Mitgliederbetreuung:	RITA GERBER
Beisitzer:	STEFAN EGGENBERG BEAT FISCHER URS KÄNZIG DEBORAH SCHÄFER BEATRICE SENN-IRLET ANDREAS STAMPFLI
Rechnungsrevisoren:	MAX GÖLDI, URS KALBERMATTEN

2. Vorträge

11. Januar 2016

CHRISTOPH KÄSERMANN, Bernische floristische Beratungsstelle (BfB)

Naturerlebnis Falklandinseln und Südpatagonien (Vegetation, Flora, Fauna, Landschaft)

Die sturmmutesten Falklandinseln im Südatlantik vor Argentinien (Islas Malvinas) sind wegen der grandiosen Pinguinkolonien (inkl. Königspinguin), den Walen und Seeelefanten berühmt. Beispiele von Saunders- und Sea Lion Island zeigen jedoch, dass die auf den ersten Blick eintönig wirkende, baumlose Landschaft doch auch botanisch sehr interessant ist. Allerdings ist die Flora mit ca. 400 Arten relativ arm, davon sind über die Hälfte – meist europäische – Neophyten.

Die Anden laufen im sturmmutesten und nassen Südpatagonien spektakulär aus. Berge wie Torres del Paine, Fitzroy oder Cerro Torre lassen viele Herzen höher schlagen. Die Flora ist attraktiv und hierzulande wenig bekannt. Die Vegetation, z.B. die Abfolge von der andinen Steppe (Pampa) zu den knorrigen Südbuchenwäldern, ist spektakulär. Typische Pflanzenarten sind z.B. Pantoffelblumen (*Cal-*

ceolaria sp.), Arten der Gattungen *Azorella* und *Adesmia*, der Notro («Feuerbusch»), grossblütige Orchideen wie *Chloraea magellanica* oder Arten der Familie *Alstromeriaceae*. Ein bunter Blumenstrauss ist garantiert gewürzt mit spektakulären Landschaften und faszinierenden Tieren.

25. Januar 2016

FRITZ JAKOB, Rüderswil

Das Ruwenzori-Gebirge – Alpiner Riesenwuchs im Morast

Das Ruwenzori-Gebirge liegt in Ostafrika auf der Grenze zwischen der Demokratischen Republik Kongo und Uganda. Es wird auch «Mondberge» oder wörtlich aus der Lokalsprache übersetzt «Regenmacher» genannt. Während des Vortrags erreichten wir, ausnahmsweise bei sonnigem Wetter, die 5109 m hohe Margherita-Spitze und den fast 5000 m hohen Mt. Baker des dritthöchsten afrikanischen Gebirges. Es weist als eines von nur drei Gebirgen Afrikas Vergletscherungen auf. Wegen seiner hohen ökologischen Bedeutung wurde es Teil des UNESCO-Weltnatureerbes.

Fritz Jakob präsentierte uns Gefässpflanzen, Moose und Tiere aus einem Gebiet, wo am Tag Sommer und in der Nacht Winter herrscht. Einmal gesehen wird man dieses Gebiet nie mehr vergessen!

15. Februar 2016

ADRIAN MÖHL, Info Flora, Bern

Hydnora, Welwitschia & Co. – Botanische Schatzsuche im Diamantensperrgebiet und der Namib

Wer meint, das südliche Namibia hätte ausser Sand und Geisterstädten nichts zu bieten, der irrt. Die Flora zwischen Namaqualand und Spitzkoppe ist sehr vielfältig und das harsche Klima hat die Pflanzen gezwungen, zu äusserst faszinierenden Überlebensstrategien zu greifen. Neben emblematischen Pflanzen wie *Welwitschia mirabilis* wurden die wichtigsten Vegetationstypen und ein paar Perlen der Flora des südlichen Namibias vorgestellt. Dazu gab es schier unendliche Weiten und heissen Wüstensand – genau das Richtige für einen kalten Februarabend.

22. Februar 2016

NICOLAS KÜFFER, Bern

Hawaii – Die Spitze des polynesischen Dreiecks

Die hawaiianischen Inseln liegen mitten im Pazifischen Ozean rund 3600 km von Kalifornien entfernt. Aufgrund dieser Abgelegenheit ist die Flora reich an Endemiten (85–90 %), aber insgesamt eher artenarm (knapp 2500 Taxa). Einige Gattungen sind jedoch sehr artenreich, beispielsweise die verholzten Lobelien (125 Arten) oder die Zweizähne (*Bidens*). Die Inseln sind alle vulkanischen Ur-

sprungs und beherbergen sowohl den höchsten (wenn man den submarinen Teil dazu zählt ist er über 9000 m hoch), als auch den mächtigsten Vulkan der Welt. Zudem gilt der Kilauea auf der Insel Hawaii als einer der aktivsten Vulkane der Welt. Auf der erkaltenden Lava siedeln in kurzer Zeit erste Pionierpflanzen wie die Eisenbaum-Art *Metrosideros polymorpha* und verschiedene Farne.

7. März 2016

MURIEL BENDEL, Bern

Fidschi und Neuseeland – von Kokospalmen und Kauri-Bäumen

Das im Südpazifik gelegene Fidschi bezaubert nicht nur durch seine weissen Sandstrände, sondern auch durch seine eindrückliche Flora. Hier lassen nicht nur Kokospalmen ihre Früchte vom Meerwasser ausbreiten, sondern z.B. auch der stattliche Baum *Barringtonia asiatica*, ein Vertreter der Topfruchtbaumgewächse (*Lecythydaceae*), der seine grossen vierkantigen Früchte vom Meer von einer Insel auf die andere tragen lässt. Das ca. 2000 km südlich von Fidschi gelegene Neuseeland beherbergt eine der speziellsten Floren der Welt: Rund 84 % der neuseeländischen Pflanzenarten sind endemisch. Zu den neuseeländischen Endemiten zählen die Kauri-Bäume (*Agathis australis*). In ihrem Unterholz gedeiht der berühmte Silberfarn/Ponga (*Cyathea dealbata*), auf offeneren Flächen der bizarr aussehende *Pseudopanax ferox*, der wie unser Efeu zu den Araliengewächsen (*Araliaceae*) gehört. Grössenrekorde stellen nicht nur die uralten Kauri-Bäume auf: Die endemische Baum-Fuchsie (*Fuchsia excorticata*) wird bis über 12 m hoch und ist damit die grösste Art ihrer Gattung; sie lässt ihre bordeauxroten Blüten von Vögeln bestäuben und die süssen, saftigen Früchte wiederum von Vögeln verbreiten.

14. März 2016

Jahreshauptversammlung mit Pflanzenrätsel und Bücherbörse

31. Oktober 2016

PETRA BOLTSHAUSER-KALTENRIEDER, Institut für Pflanzenwissenschaften, Uni Bern

Entwicklung der Vegetation des Mittelmeerraumes mit Blick in die Zukunft

Im Mittelmeergebiet kommen fast 20 000 Pflanzenarten vor, darunter rund 7000 Endemiten. Durch menschliche Einflussnahme seit dem Paläolithikum wurde die ursprünglich natürliche Vegetation zum grössten Teil verdrängt und durch Degradationsstadien ersetzt. Mittels paläoökologischen Untersuchungen von Seesedimenten in den drei Hauptvegetationszonen des Mittelmeerraumes, der thermomediterranen (Gorgo Basso, Sizilien), der mesomediterranen (Lago dell'Accesa, Toskana) und der submediterranen (Colli Euganei, Padua) Vegetationszone wurde die Vegetation der letzten 10 000 Jahre rekonstruiert.

Im Vortrag wurde der Übergang von Urwäldern zu Macchia, Feldern, Wiesen und Weiden verdeutlicht und aktuelle Fragen aufgegriffen wie: Was verursachte die Ausbreitung und den Zusammenbruch der immergrünen Hartlaubwälder? Welches sind die Zusammenhänge zwischen Klima, menschlichem Einfluss, Feuer und Vegetation? Im Rahmen der zukünftigen Klimaerwärmung ist das Verstehen dieser Zusammenhänge für eine Erhaltung der verbliebenen natürlichen Vegetation sowie für eine Erhaltung der heutigen artenreichen Kulturlandschaften im Mittelmeerraum überaus wichtig.

7. November 2016

HERBERT SAUERBIER, Lauchringen, Deutschland

Die Farn- und Blütenpflanzen der Kanarischen Inseln

Die Kanarischen Inseln sind der Küste Nordafrikas auf der Höhe von Südmarokko und West-Sahara vorgelagert, etwa 100 km vom afrikanischen Kontinent entfernt. Die sieben grösseren Inseln El Hierro, La Palma, La Gomera, Teneriffa, Gran Canaria, Fuerteventura und Lanzarote sowie weitere kleine Inseln sind vulkanischen Ursprungs. Ihr Alter liegt zwischen 22 und 1,2 Mio. Jahren. Die Inselgruppe beherbergt insgesamt etwa 2300 Pflanzenarten. Mit rund 650 Taxa ist der Anteil an Endemiten sehr gross. Viele dieser Endemiten kommen sogar nur auf einer Insel vor. Einige Gattungen wie *Parolinia* (*Brassicaceae*) oder *Vieraea* (*Asteraceae*) wachsen nur auf den Kanaren. Im Vortrag wurden zahlreiche endemische Arten vorgestellt, aber auch die immer häufiger vorkommenden Neophyten. Im Vortrag wurden die Vegetationsstufen von der Küste über den Sukkulentenbusch, den Lorbeerwald, den Kanarenkiefernwald bis zu den Teideveilchen-Fluren vorgestellt. Neben Landschaftsfotos wurden auch einige Tiere gezeigt, insbesondere die endemischen Eidechsen.

21. November 2016

BERTRAND DE MONTMOLLIN, IUCN Mediterranean Plant Specialist Group

Die endemische Flora der Mittelmeerinseln und ihre Erhaltung

Die Mittelmeerinseln beherbergen eine bemerkenswerte, aber gefährdete Endemitenflora. Auf einigen der grössten Inseln liegt der Anteil der nur auf einer Insel wachsenden Arten auf über 10 %. Die meisten dieser Endemiten sind sehr alte Elemente, die trotz der mehrtausendjährigen Präsenz des Menschen bis in die heutige Zeit überdauert haben – oft nur in kleinen und nur sehr lokal vorkommenden Populationen. Diese Endemiten erweisen sich als speziell verletzlich gegenüber direkten (Urbanisierung, Tourismus, Landwirtschaft) oder indirekten (Veränderungen der Wasserressourcen und des Klimas) Gefährdungsfaktoren. Die Bemühungen zu ihrer Erhaltung sind dringend und stellen eine komplexe Herausforderung dar.

5. Dezember 2016

URS KÄNZIG, Amt für Landwirtschaft und Natur, Abteilung Naturförderung
*Biodiversitätskonzept Kanton Bern: Gratwanderung zwischen wissenschaftlich
Notwendigem und politisch Möglichem*

In einem kantonalen Biodiversitätskonzept legt der Kanton Bern zur Zeit fest, wie er die Strategie Biodiversität Schweiz umsetzen will. Das Konzept besteht aus drei Teilen: 1) «Auftrag, Vision, Handlungsfelder», 2) «Ziele und Massnahmen», sowie 3) dem «Sachplan Biodiversität» als Herzstück. Teil 1 wurde vom Regierungsrat im November 2015 und Teil 2 im Juni 2016 genehmigt. Teil 3 ist zurzeit in Erarbeitung.

12. Dezember 2016

MARTIN RIKLI alias DEBI SCHÄFER, STEFAN EGGENBERG & ADI MÖHL, Uni Bern und Info Flora
Das Pflanzenkleid der Mittelmeerländer

3. Exkursionen

20. Mai 2016

Floreninventar Bern – Im Westen nichts Neues?

Leitung: RUEDI SCHNEEBERGER

1. Juli 2016

Südrampe – Tierisches und Steppenflor

Leitung: BEATRICE LÜSCHER und ADRIAN MÖHL

16. Juli 2016

Gemmi – die Alte neu kartiert

Leitung: STEFAN EGGENBERG

23. Juli 2016

Rätikon – Grenzschlängeln hinter dem Mond links

Leitung: MARKUS BICHSEL

30. Juli 2016

Schynige Platte – der Klassiker par excellence

Leitung: DEBORAH SCHÄFER und THOMAS MATHIS

19. August 2016

Floreninventar Bern – Mattenhof/Weissenbühl – Botanik im Wohnquartier

Leitung: NICOLAS KÜFFER und DOMINIQUE HOFER

4. Mitgliederstand

361 Mitglieder per 31. Dezember 2016

5. Sitzungsberichte

Die Sitzungsberichte 2015 sind erschienen und wurden den Mitgliedern zusammen mit dem Winterprogramm zugestellt.

6. Exkursionsberichte

20. Mai 2016

Floreninventar Bern – Im Westen nichts Neues?

Leitung: RUEDI SCHNEEBERGER

Fünfzehn BBG-ler trafen sich am 20. Mai bei schönem Wetter an der Tramhaltestelle Gäbelbach und irrten schon bald auf den grossen Aufschüttungen neben den Neubauten des Brünnenquartiers umher. Einjährige Ruderalflächen und dazwischen kleine Sümpfchen ergaben ein reiches botanisches Mosaik. Erstaunlich viele Arten haben sich in so kurzer Zeit auf neutralem Aushubmaterial (ehemalige Alluvionen des Rhonegletschers) eingerichtet. Ringsum stehen die grossen Häuser



Abb. 1: Botanisieren auf der aufgeschütteten Fläche im Brünnenquartier.



Abb. 2: Kriechender Steinbrech (*Saxifraga stolonifera*), gepflanzt in einer Mauer.

der Siedlungen Tscharnergut, Gäbelbach und Holenacker, dabei das höchste Hochhaus von Bern (24 Stockwerke). Vor 60 Jahren war noch alles bewirtschaftetes Land, der Stadtrand war über 1,5 km weit weg, das Herrschaftshaus im Brünnergut allein auf weiter Flur. In diesem Gebiet trafen wir u.a. folgende Arten an: Breitblättriger Rohrkolben (*Typha latifolia*), Krötenbinse (*Juncus bufonius*), Echte Sumpfkresse (*Rorippa palustris*), Haar-Straussgras (*Agrostis capillaris*).

Durch die extravaganten Häuser der Brünnergutüberbauung mit etwas exotischen Bepflanzungen erreichen wir das Gäbelbachtal, Vogelgesang begleitet uns dem Gäbelbach entlang. Wir entdeckten einige besondere Arten:

Grosse Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*), Saat-Esparsette (*Onobrychis viciifolia*), Sumpf-Storchschnabel (*Geranium palustre*), Gelbes Windröschen (*Anemone ranunculoides*), Faltiges Süssgras (*Glyceria notata*), Riesen-Schwingel (*Festuca gigantea*), Süsses Wolfsmilch (*Euphorbia dulcis*). Nach passieren der Napoleonsbrücke (der Sage nach verlor dort 1798 auf der alten Murtenstrasse ein Transportwagen einen Teil des geraubten Staatsschatzes von Bern, dieser soll noch heute im Gäbelbach liegen) geht's aufwärts durch den Wald, das Moschusblümchen (*Adoxa moschatellina*) lässt sich nicht blicken, dafür aber eine grosse Fläche mit blühfauler Wimper-Segge (*Carex pilosa*). Ebenfalls auf diesem Abschnitt befanden sich: Dorniger Wurmfarne (*Dryopteris carthusiana*), Wald-Schaumkraut (*Cardamine flexuosa*), Grosses Springkraut (*Impatiens noli-tangere*), Riesen-Bärenklau (*Heracleum mantegazzianum*).

Zu Beginn der Kartierung FLIB 2012 war ein Teil des Waldrandes noch offen, nur mit halbhoher Büschen und niedrigen Pflanzen bewachsen, einzelne Eschen noch laubtragend. 5 Jahre später ist die ursprüngliche Vegetation beinahe verschwunden, ersetzt durch einige Meter hohe Gebüsche und Bäume. Die Eschen sind mittlerweile fast blattlos, am Absterben.

In der Nähe des Teiches der Bandgenossenschaft ist die einzige Orchidee des km-Quadrats zu bewundern, das Grosse Zweiblatt (*Listera ovata*). Andere Orchideen-Arten sind in den letzten Jahren hier verschwunden (Langblättriges Waldvöglein [*Cephalanthera longifolia*], Zweiblättrige Waldhyazinthe [*Platanthera bifolia*]). Im Teich wurden einige seltene Wasserpflanzen eingesetzt: Straussblütiger Gilbweiderich (*Lysimachia thyrsoiflora*), Gelbe Teichrose (*Nuphar lutea*), Dreifurchige Wasserlinse (*Lemna trisulca*).



Abb. 3: Idyllische Schafweide und Betonblock kommen sich am Gäbelbach nah.

Wir kommen beim Pavillon des Brünnenparks vorbei, mit den schüchternen Austrieben von Gewöhnlichem Ackerfrauenmantel (*Aphanes arvensis*) und Feld-Ehrenpreis (*Veronica arvensis*). Drei Stunden nach dem Start geht es mit letzter Kraft am neuen Amphibienteich des Brünnenparks vorbei, um sich in einem naturnahen Garten bei einem Apéro riche zu stärken und zu erholen.

Bericht: RUEDI SCHNEEBERGER

1. Juli 2016

Südrampe – Tierisches und Steppenflor

Leitung: ADRIAN MÖHL und BEATRICE LÜSCHER

In der Serie der Klassiker darf die Lötschberg Südrampe auf keinen Fall fehlen. Da die Exkursionen «Tiere und Pflanzen» mittlerweile schon fast zum festen Programm der BBG geworden sind, haben sich Beatrice Lüscher und Adi Möhl im Klassikerjahr 2016 die Destination Südrampe auf die Flagge der zoologisch-botanischen Tour geschrieben. Manch einer war im Vorfeld etwas skeptisch: «was wollen die im Juli noch an der Südrampe?», kriegte man etwa zu hören – doch die skeptischen Stimmen sind an diesem wunderbaren Sommertag verstummt, als wir schon wenige Schritte vom Bahnhof Ausserberg die ersten botanisch-zoologischen Höhepunkte entdeckten. Waren es die zoologischen Aspekte oder eben doch der Ruf der Südrampe, die so viele Leute mobilisierte?

Im gewohnt langsamen Tempo ging es los. Das Sofienkraut (*Descurainia sophia*) kannten eben doch noch nicht alle und bei der ersten Magerwiese wurden bereits die ersten Käfer, Wanzen und Hautflügler in durchsichtige Plastikdöschen verpackt. In weiser Voraussicht hatten wir weder eine Rundwanderung noch überhaupt eine längere Wanderung geplant, sondern wollten lediglich die schönen Steppenrasen erreichen. Im Dorfkern von Ausserberg erzählte Adi etwas zur Geschichte und Geographie der Südrampe und des Dorfes – während Beatrice schon flink mit dem Netz in Brachen und am Ackerrand auf «Kleinwildjagd» ging. Das Resultat liess sich sehen und wir kriegten nicht nur schillernde Käfer sondern auch allerhand unglaubliche Geschichten aus dem Tierreich aufgetischt.



Abb. 4: Erste Insekten-Präsentation im Dorf Ausserberg.

Langsam machte sich der Tross auf schattigen Wegen in Richtung Steppenrasen auf. Während die Sonne immer höher stieg, wurde der Gesang der Grillen immer lauter und die Luft begann zu flimmern. Die Möhren-Haftdolden (*Caucalis platycarpos*) mit ihren stark bewehrten Früchten war für viele der Anwesenden ein Highlight und aus der Familie der Doldenblütler konnten wir am Wegrand noch viele weitere Arten sehen.

An einer wunderbaren Stelle in mitten der Steppenrasen wurde Mittag halt gemacht und weder für Beatrice noch für Adi war wirklich Zeit zum Essen da – zu spannend waren Flora und Fauna. Mitten im Weg sorgten Grabwespen für ein



Abb. 5: Stengelloser Tragant (*Astragalus exscapus*).

Spektakel. Beatrice erzählte spannende Geschichten rund um die Brutpflege dieser Wespengruppe und selbst eingefleischte Botaniker hörten da aufmerksam zu.

Aber auch die Botanophilen wurden mit einem besonderen Highlight belohnt. Gleich unterhalb des Weges, direkt beim Picknickplatz entdeckte Adi eine grössere Gruppe von Schlupfsamen (*Crupina vulgaris*) – ein wahres Highlight! Das übliche Set der Walliser Steppenflora war unisono vertreten. So konnte man die glänzenden Fruchtschläuche der Glanz-Segge (*Carex liparocarpos*) bewundern, sich an den zitronengelben Blüten des Stängellosen Tragants (*Astragalus exscapus*) erfreuen oder die weissen Blütenstände der Echten Graslilie (*Anthericum liliago*) geniessen. Viel zu schnell ist die Zeit verfliegen und am frühen

Nachmittag hat sich dann die Gruppe wieder auf den Rückweg gemacht. Trotz des angenehm kühlenden Windes wurde es immer heisser und so machte das Bahnhofrestaurant noch einen wohl überraschend grossen Tagesumsatz. Glücklicherweise und zufrieden stieg die Gruppe in den gekühlten Zug Richtung Bern und man war sich einig – der Klassiker Südrampe ist immer wieder eine Exkursion wert.

Besondere Arten (nur eine kleine Auswahl):

Parietaria officinalis
Astragalus exscapus
Astragalus onobrychis
Ononis pusilla
Ononis natrix
Medicago minima
Helianthemum nummularium subsp. obscurum
Fumana procumbens
Descurainia sophia
Chenopodium hybridum
Anchusa arvensis
Asperugo procumbens
Teucrium montanum
Verbascum thapsus subsp. montanum
Verbascum lychnitis
Orobanche artemisiae-campestris

Peucedanum oreoselinum
Caucalis platycarpos
Scabiosa triandra
Filago arvensis
Crupina vulgaris
Centaurea scabiosa subsp. grinensis
Centaurea valesiaca
Lactuca perennis
Carex liparocarpos
Bromus tectorum
Bromus sterilis
Koeleria vallesiana
Phleum phleoides
Stipa pennata
Stipa capillata

23. Juli 2016

Rätikon – Grenzschlängeln hinter dem Mond links

Leitung: MARKUS BICHSEL

Start und Ende der botanischen Exkursion mit Markus Bichsel und seiner Frau Barbara, die uns als Naturärztin einen zusätzlichen Aspekt der Botanik vermittelte, war in Partnun/St. Antönien.

Die Route führte von Partnunstafel über den Plasseggenpass zum Gruobenpass und via Partnunsee zurück nach Partnun.

Markus hatte diese Route gewählt, weil sie aufgrund der Geologie einen grossen Artenreichtum verspricht. Die tiefen Flyschböden erzeugen einerseits sanfte Hügelformen talabwärts, andererseits erheben sich Richtung Osten dunkle, zackige Berge (Röbispitzen), die aus Amphibolit, einem Silikatgestein bestehen. Dominiert wird die Landschaft aber von hellen, glatten Kalksteinbergen (Sulzfluh, Schijenfluh und Schollberg). Diese geologische Vielfalt hat dazu geführt, dass wir an diesem einen Tag 24 Lebensräume (nach Delarze et al.) und gut 200 Pflanzenarten angetroffen haben.



Abb. 6: Botaniker und Grauvieh besprechen zusammen die Qualität der Alpweide, im Hintergrund links Kalkgestein, die Röbispitzen hinten rechts bestehen aus Silikat.

Formation	auf Kalk	Delarze-Nr.		auf Silikat	Delarze-Nr.	
Flachmoore	<i>Caricion davallianae</i>	Davallseggenried	2.2.3	<i>Caricion fuscae</i>	Braunseggenried	2.2.2
Schuttfluren	<i>Thlaspion rotundifolii</i>	Alpine Kalkschuttflur	3.312	<i>Androsacion alpinae</i>	Alpine Silikatschuttflur	3.322
	<i>Petasition paradoxi</i>	Montane Kalkschuttflur	3.314			
Felsfluren	<i>Potentillion caulescentis</i>	Trockene Kalkfelsflur	3.412	<i>Androsacion vandellii</i>	Silikatfelsflur	3.422
	<i>Cystopteridion fragilis</i>	Schattige Kalkfelsflur	3.413			
Gebirgsrasen	<i>Seslerion</i>	Blaugrasrasen	4.31	<i>Nardion</i>	Borstgrasrasen	4.35
	<i>Caricion ferrugineae</i>	Rostseggenhalde	4.33			
	<i>Caricion firmae</i>	Polsterseggenrasen	4.32	<i>Caricion curvulae</i>	Krummseggenrasen	4.37
Bergfettwiese	<i>Polygono-Trisetion</i>	Goldhaferwiese	4.52			
Bergfettweide	<i>Poion alpinae</i>	Milchkrautweide	4.54			
Hochstaudenflur	<i>Adenostyilion</i>	Gebirgs-Hochstaudenflur	5.2.4			
Schneetälchen	<i>Arabidion caeruleae</i>	Kalk-Schneetälchen	4.41	<i>Salicion herbaceae</i>	Silikat-Schneetälchen	4.42
Windheide	<i>Elyinion</i>	Nacktriedrasen	4.34	<i>Loiseleurio-Vaccinion</i>	Alpine Windheide	5.46
Zwergstrauch-Heiden	<i>Ericion</i>	Subalpine Kalkheide	5.43	<i>Rhododendro-Vaccinion</i>	Silikat-Zwergstrauchheide	5.45
Subalpinen Laubgebüsch	<i>Alnion viridis</i>	Günerlengebüsch	5.39			
Lägerflur	<i>Rumicion alpini</i>	Alpenblackenflur	7.1.7			

Abb. 7: Gebirgsvegetation im Rätikon bei Partnun GR (Subalpine und alpine Höhenstufen)

Begonnen hat die Exkursion in einer nährstoffreichen Lägerflur. Danach haben wir in einem Blaugrasrasen botanisiert und auch bereits schon die ersten speziellen Arten zu sehen bekommen, wie zum Beispiel *Willemetia stipitata* (Kronlattich), eine gelbblühende *Asteraceae*, die durch ihre eiförmigen grundständigen Blätter und die dichte schwarze Behaarung der Hülle auffällt, die dazwischen zusätzlich fein weissfilzig ist. Eine weitere gelbe *Asteraceae*, die ebenfalls vor allem im Osten der Schweiz zu finden ist, war *Crepis alpestris* (Alpen-Pippau). Dass der Kalksil-

bermantel (*Alchemilla conjuncta*) eine leicht östrogenartige Wirkung hat, haben wir von Barbara Bichsel erfahren.

Unterdessen war es auch schon Zeit fürs Mittagessen, das wir in einer Balm- lage unter der Schijenfluh genossen haben. Zugleich konnten wir über unseren Köpfen an der Felswand Mauerläufer beobachten. Sozusagen zum Dessert hat uns Markus dann *Silene pusilla* (Strahlensame), eine seltene *Caryophyllaceae* vorgestellt, die man an den vierzählig ausgerandeten Blütenblättern gut erkennt. Und ebenfalls in dieser Balm- lage haben wir das Gletscher Felsenblümchen (*Draba dubia*) gesehen. Der folgende steile Aufstieg auf den Plassseggenpass war anfangs sehr blumig (Kalkvegetation). Weiter oben sind wir dann auf Silikatstandorte mit *Gentiana punctata* (Punktierter Enzian) und *Senecio incanus* ssp. *carniolicus* (Kra- nisches Graues Greiskraut), eine weitere ostalpine Art, und im Silikatschneetälchen auf *Sibbaldia procumbens* (Alpen-Gelbling) und *Soldanella pusilla* (Kleine Solda- nelle) gestossen.



Abb. 8: Punktierter Enzian (*Gentiana punctata*).



Abb. 9: Gestutztes Läusekraut (*Pedicularis recutita*).

Rumex nivalis (Schnee-Ampfer), *Potentilla brauneana* (Zwerg-Fingerkraut) und *Rhamnus pumila* (Zwerg-Kreuzdorn). Auf dem Gruobenpass angelangt mussten wir uns dann leider beeilen, damit die Berner das 18 Uhr-Postauto erreichen konnten. Im Vorübergehen haben wir noch *Moehringia ciliata* (Bewimperte Nabelmiere), *Salix waldesteiniana* (Waldsteins Weide) und einiges mehr gesehen. Und schon von hoch oben sah man den Partnunsee smaragdgrün leuchten.

Aufgrund der langen Strecke und der sehr artenreichen Exkursion blieb für die meisten Exkursionsteilnehmer keine Zeit mehr, um im gemütlichen Berggasthaus Sulzfluh einzukehren. Sie wurden mit PWs zur Postauto-Haltestelle gefahren. Wir haben den tollen Tag zusammen mit Markus und Barbara bei einem guten Nachtessen ausklingen lassen.

Bericht: THOMAS VILLIGER

30. Juli 2016

Schynige Platte – der Klassiker par excellence

Leitung: DEBORAH SCHÄFER und THOMAS MATHIS

Die letzte BBG Exkursion des Jahres 2016 führte uns auf die Schynige Platte. Eine klassische Exkursion für Botaniker, in der viele verschiedene Lebensräume anzutreffen sind. Nicht nur botanisch ist diese Region ein Highlight, sondern auch die Aussicht auf Eiger, Mönch und Jungfrau ist fantastisch.



Abb. 10: Ausblick mit Gumihorn (im Vordergrund rechts) und den bekannten Eiger, Mönch & Jungfrau.

Am Morgen des 30. Juli trafen sich die Exkursionsteilnehmer mit den Leitern Thomas Mathis und Deborah Schäfer an der Talstation des Bähnchens der Schynige Platte, mit welchem wir innerhalb von einer Stunde gut 1400 Höhenmeter überwandern. So landeten wir auf 1960 m.ü.M. also an der Grenze zur alpinen Stufe, welche in den Nordalpen bei ca. 2000 m.ü.M. beginnt. Bei sonnigem Wetter und angenehmen Temperaturen machten wir uns auf den Weg, neben dem Restaurant vorbei in Richtung Tuba. Schon in der ersten, noch etwas fetteren Wiese trafen wir auf die ersten Farbtupfer von altbekannten Arten wie Alpen-Vergissmeinnicht und Scheuchzers Glockenblume (*Myosotis alpestris*, *Campanula scheuchzeri*) bis hin zu der schönen Kugelorchis (*Traunsteinera globosa*). Schon bald änderte sich jedoch der Lebensraum und wir standen auf einem schmalen Wanderweg mitten in einem Grünerlengebüsch. Grünerlen (*Alnus viridis*) sind mit ihren biegsamen Ästen gut an Lawinen und grosse Schneelast im Winter angepasst. Im Unterwuchs trafen wir Alpen-Milchlattich (*Cicerbita alpina*), Grossblättrige Weide (*Salix appendiculata*) und Villars Gebirgs-Kälberkropf (*Chaerophyllum villarsii*) an. Vom Grünerlengebüsch ging es dann weiter an Kalkfelsfluren vorbei, die zum Teil auch von Kalkschutt durchzogen waren. Dort konnten wir unter anderem die zarte Bewimperte Nabelmiere (*Moehringia ciliata*) betrachten, sahen aber auch Gämskresse (*Pritzelago alpina*), Trauben-Steinbrech (*Saxifraga paniculata*), Augenzwurz (*Athamanta cretensis*) und die dicht gepackten vegetativen Teile vom Schweizer Mannschild (*Androsace helvetica*). Auf dem Weg stolperten wir noch beinahe über den Berg-Spitzkiel (*Oxytropis jacquinii*) und erreichten nach einer grossen Arve (*Pinus cembra*) unseren Mittagsplatz mit toller Aussicht.



Abb. 11: Allermannsharnisch (*Allium victorialis*).



Abb. 12: Mücken-Handwurz (*Gymnadenia conopsea*).

Den Teilnehmern war freigestellt uns weiter zu begleiten oder noch einen Abstecher in den wunderschönen Alpengarten zu machen. So wurde unsere Gruppe am Nachmittag etwas kleiner, auch aufgrund der immer näher rückenden Regengewolken. Die Übriggebliebenen gingen, nach einer kurzen Diskussion über die Fadenblüten der *Erigeron*-Arten, weiter entlang von Rostseggenhalden mit Gelber Berg-Platterbse (*Lathyrus occidentalis*), Allermannsharnisch (*Allium victorialis*), Grosser Sterndolde (*Astrantia major*), Alpen-Süssklee (*Hedysarum hedysaroides*) und vielem mehr, bis wir dann weitere Kalkschuttfluren am Oberberghorn erreichten. Dort trafen wir auf Schild-Ampfer (*Rumex scutatus*) und trafen kurz darauf

auf schöne Borstgrasrasen. Während wir Arnika (*Arnica montana*), Berg-Nelkenwurz (*Geum montanum*), Weisszunge (*Pseudorchis albida*) und die bald blühenden Purpur-Enziane (*Gentiana purpurea*) betrachteten, holten uns die Regenwolken ein und wir mussten doch noch unseren Regenschutz aus dem Rucksack nehmen. Deshalb verweilten wir dann nicht allzu lange und gingen querfeldein durch einen etwas fetteren und feuchteren Lebensraum. Wir bückten uns hinunter zum zierlichen Geknieten Fuchsschwanz (*Alopecurus geniculatus*), betrachteten neben einem Bauernhof mit Kühen die typischen Lägerflurpflanzen wie Alpen-Ampfer (*Rumex alpinus*) und Alpen-Greiskraut (*Senecio alpinus*), und schon war der Regenschauer wieder vorbei. Nach dem sich einige Teilnehmer Alpkäse gekauft hatten, gingen wir gemütlich zur Bergstation des Schynige Platte Bähnchens zurück, wo wir die schöne Exkursion ausklingen liessen und uns in verschiedene Richtungen (Alpengarten, Restaurant, Talstation) verabschiedeten.

Bericht: DEBORAH SCHÄFER

19. August 2016

Floreninventar Bern – Mattenhof / Weissenbühl – Botanik im Wohnquartier

Leitung: NICOLAS KÜFFER und DOMINIQUE HOFER

Das BBG-Berner Stadtflora-Projekt FLIB (Floreninventar Bern) führt uns in ein städtisches Wohnquartier mit unterschiedlichen Lebensräumen. Das Gebiet ist geprägt durch kleine Plätze, durch grosse Verkehrsknoten und -achsen wie den Eigerplatz, die Sulgenau und den Bahnhof Weissenbühl sowie durch mehreren Tramlinien. Es gibt viele grosse Bürogebäude, aber auch viele Gärten, die als Privatgrundstücke nicht zur FLIB-Zielfläche gehören. Ebenfalls typisch für ein innerstädtisches Gebiet sind die vielen versiegelten Flächen.

Als erstaunlich artenarm erwies sich der Steinhölzliwald. Offensichtlich ist die Fläche zu klein, als dass sich eine grössere Artenvielfalt ansiedeln könnte. Zu einer nicht sehr grossen Artenzahl trägt sicher auch bei, dass nicht sehr viele verschiedene Lebensräume vorhanden sind. So gibt es z.B. im ganzen Quadratkilometer keinen Wasserlauf.

Die Kartierarbeit für FLIB wurde von 2012–2015 durchgeführt. In 26 Begehungen zu je ca. 2–4 Stunden wurden alle wild wachsenden Arten erfasst. Dies führte zu 529 Fundmeldungen von 407 Arten und Unterarten. Insgesamt wurden ca. 50 Neophyten angetroffen. Interessanterweise sind viele der am häufigsten vorkommenden Arten Neophyten. Die absolut am häufigsten vorkommende Art war allerdings das Einjährige Rispengras (*Poa annua*). Seltene Arten kamen nicht viele vor, und oft handelte es sich dabei um Gartenflüchtlinge. 20 Baumarten konnten als wildwachsend gezählt werden. Wie oft im städtischen Gebiet wurden allerdings die meisten Bäume gepflanzt und können somit nicht gezählt werden.



Abb. 13: Farbenfrohe Topfpflanzen auf einem Balkon.

Bei den vielen Gängen kreuz und quer durch das Quadrat war natürlich der Blick nicht nur auf die Pflanzen gerichtet. So wurde viel interessante Architektur entdeckt wie Jugendstilhäuser, Villen, Arbeitersiedlungen und alternative Familiensiedlungen. Daneben eher hässliche Bürobauten, aber auch gepflegte und wilde Gärten mit erstaunlich vielen Pflanzen aus dem mediterranen Gebiet. Auch einige wenige Schutt- und Ruderalflächen boten Wildpflanzen einen (temporären) Lebensraum.

Immer interessant waren auch Flächen mit Verbundsteinen wie z.B. Parkplätze, vorausgesetzt, die Zwischenräume zwischen den Steinen waren nicht betoniert. In diesen Ritzen können sich diverse Arten ansiedeln. Typisch für die Stadtflora sind Arten, die bezüglich Standort-Ansprüche anpassungsfähig sind und sich variabel auf ändernde Bedingungen und mechanische Beeinträchtigungen einstellen können. Häufig anzutreffen sind im städtischen Gebiet viele trittresistente Arten, wie z.B. der Breit-Wegerich (*Plantago major*) oder der Vogel-Knöterich (*Polygonum aviculare*). Sie besiedeln Ritzen zwischen Randsteinen an Strassen- und Trottoirrändern.

Ein weiterer, typisch städtischer Lebensraum sind die Innenhöfe grösserer Stadthäuser. Diese meist trocken-warmen Standorte enthalten oft eine erstaunliche Vielfalt an Pflanzen, insbesondere sind mediterrane Arten häufig. Auch «verges-

sene» Gärten können ebenfalls neue Lebensräume für wilde und verwilderte Pflanzen sein.

Bei den vorkommenden Neophyten handelt es sich in der Regel um Pionierpflanzen, die sich oft über Samen sehr schnell ausbreiten und neu entstandene Flächen besiedeln können.

Die am häufigsten beobachteten Arten darunter sind wie fast im ganzen Stadtgebiet das Kanadische Berufkraut (*Conyza canadensis*), die Kanadische Goldrute (*Solidago canadensis*), der Japanische Staudenknöterich (*Reynoutria japonica*) oder der Schmetterlingsflieder (*Buddleja davidii*).

Die Kanadische Goldrute wird erst seit dem 2. Weltkrieg als invasiv bezeichnet. In Europa eingeführt wurde sie bereits Mitte des 17. Jahrhunderts. Grössere Verbreitung als Gartenpflanze fand sie aber erst im 19. Jahrhundert. Im Stadtgebiet ist ihre schnelle Verbreitung häufig nicht sehr problematisch. Schwieriger wird es, wenn sie sich in Naturschutzgebieten, insbesondere in Feuchtgebieten, unkontrolliert vermehrt, weil sie dort viele seltene Arten verdrängt. Um dies zu verhindern, ist es auch in städtischen Gebieten sinnvoll, die Ausbreitung invasiver Arten möglichst zu verhindern.

Glücklicherweise werden nur wenige der Neophyten, die ursprünglich als Garten- oder Nutzpflanzen eingeführt worden sind invasiv. Von 1000 importierten Pflanzenarten können sich ca. 100 Arten als Wildpflanzen ansiedeln. Nur 10 davon können sich als bleibende Population etablieren und sich weiter vermehren und verbreiten. Lediglich eine von 1000 Arten wird tatsächlich später invasiv. Dabei handelt es sich tendenziell um Arten, die in grösseren Mengen angepflanzt werden, so dass die genetische Basis zur Schaffung einer eigenen verwilderten Population gross genug ist. Dazu kommt, dass meist Pflanzen mit sehr effizienter Verbreitung über Flugsamen oder über Samen, die von Tieren gefressen werden (z.B. Beeren) eher das Potenzial zu einer invasiven Art haben. Ebenfalls enorm erfolgreich für die Verbreitung ist das Treiben von unterirdischen Ausläufern. Diese Eigenschaft trifft vor allem auf den Japanischen Staudenknöterich zu. Diese enorm potente Art kann bis 20 m lange Ausläufer treiben und bis 6 m Erdreich, auch vertikal, durchwachsen, um wieder an die Oberfläche zu kommen. Zudem genügt ein winziges abgerissenes Wurzelstück, um z.B. flussabwärts an einem Gewässer eine neue Population zu begründen. Die Art ist sehr anpassungsfähig bezüglich ökologischen Spektrums. Sie wächst von feucht bis trocken und von schattig bis sonnig und kann so ziemlich jeden erdenklichen Standort besiedeln. Die jung ähnlich wie Rhabarber essbare Pflanze bereitet fast überall viel Aufwand in der Bekämpfung.

Ein weiterer Neophyt ist der Essigbaum oder Hirschkolben-Sumach (*Rhus typhina*). Ursprünglich stammt er aus Nordamerika und wurde bei uns angepflanzt, weil die Säure aus seinem Saft verwendet wurde, um Essig noch saurer zu machen. Dank der im Saft enthaltenen Gerbstoffe wurde er als Heilpflanze verwendet. Oft wurde er auch als Zierpflanze in die Gärten gebracht. Da er ebenfalls viele Ausläufer treibt, wird er mittlerweile nur noch wenig angepflanzt.



Abb. 14: Japanische Aralie (*Aralia elata*), namensgebend für die Efeugewächse (*Araliaceae*).

Ebenfalls ein interessantes Gehölz ist die Flügelnuß (*Pterocarya fraxinifolia*). Dieser ursprünglich im Kaukasus und in Iran/Irak heimische Baum hat ein gutes Holz, ähnlich dem der Walnuss. Die Pflanze ist leicht giftig, wobei das Gift vor allem für Fische gefährlich ist. Er bildet lange Zotteln mit zweiflügligen Früchten.

Einige typische Stadtpflanzen verdienen eine ausführlichere Erwähnung:

Das Zimbelkraut (*Cymbalaria muralis*) ist eine sehr typische Stadtpflanze und kommt, ganz zum Namen passend, häufig in Mauern vor. Ganz ursprünglich einheimisch ist die Art in der Schweiz nicht, stammt sie doch aus dem Mittelmeerraum und Südosteuropa. Früher wurde sie als Heilpflanze in Klostersgärten angepflanzt und ist heute, ganz säkularisiert, in allen Städten anzutreffen. Interessant ist der Wuchs des Zimbelkrauts, der sowohl positiv wie auch negativ phototrop ist. Das bedeutet, dass die Blüten stark ans Licht drängen, die befruchteten Samenkapseln hingegen wachsen zielgerichtet in schattige Ritzen, um dort ihre Samen an einen möglichst Erfolg versprechenden Wuchsort zu bringen. Interessant ist beim Zimbelkraut auch die stark variierende Blütengrösse. Der Mittellappen einer Blüte kann zwischen 0,5 bis 1,5 cm breit sein. Dabei sind die Blüten im südlichen Teil des Verbreitungsgebiets grösser als diejenigen im Norden. Auch im Siedlungsraum ist die Art eher kleinblütiger als in der freien Natur.



Abb. 15: Zimbelkraut (*Cymbalaria muralis*).

Eine weitere nicht ganz ursprünglich heimische, jedoch im Siedlungsgebiet ab und zu anzutreffende Art ist die Wein-Raute (*Ruta graveolens*). Diese stark aromatische Pflanze stammt ebenfalls aus den Gärten, wo sie als Heil- und Gewürzpflanze angebaut wurde und wird. Ihr ursprüngliches Verbreitungsgebiet liegt ebenfalls in Südosteuropa und am Wildstandort ist sie vor allem in Felsensteppen und auf steinigem Böden anzutreffen.

Die Wein-Raute wirkt fototoxisch, das heisst, dass sie die Lichtempfindlichkeit der menschlichen Haut bei Berührung erhöht. Diese Eigenschaft hat sie gemeinsam mit weiteren Mitgliedern aus der Familie der Weinrautengewächse (*Rutaceae*). Verwendung findet die Wein-Raute vor allem in Italien zur Aromatisierung von Grappa. Früher wurde dieser Schnaps auch wegen seiner abortiven Wirkung getrunken. Allerdings war die Anwendung sehr gefährlich. Schon die Römer haben die Pflanze als Insektizid und gegen Vipern eingesetzt. Auch heute noch wird die Pflanze in der Homöopathie für verschiedene Zwecke, wie z.B. zur Förderung der Wundheilung, eingesetzt.

Eine ebenfalls im städtischen Gebiet ab und zu verwildert anzutreffende Art ist der Buchs (*Buxus sempervirens*). Diese ursprünglich wohl nur im Jura heimische Art ist heute in milderem Lagen der Schweiz immer wieder anzutreffen. Allerdings sind sowohl die Bestände in den Gärten als auch die Wildbestände zurzeit durch

den Buchsbaumzünsler bedroht. Dieser erst 2006 aus Asien in Europa eingeschleppte kleine Nachtfalter mit einer 2–3 cm langen Raupe lebt sehr versteckt in den Buchspflanzen. Jedes Jahr dringt er ca. 5 km weiter in bisher nicht befallene Gebiete vor und schädigt vor allem durch den Blattfrass der Raupen die Buchspflanzen stark, was bis zum Absterben der immergrünen Pflanze führen kann. Im Gegensatz zu asiatischen Buchs-Arten hat der europäische Buchs keine Abwehrkraft gegen diesen Schädling. Bisher hat der Buchsbaumzünsler bei uns keine natürlichen Feinde. Die Vögel fressen zwar hin und wieder eine Raupe, können sie aber nicht verdauen, da sie leicht giftig ist.

Arten am Weg (chronologisch):

Cymbalaria muralis
Ruta graveolens
Polygonum aviculare
Portulaca oleracea
Juncus tenuis
Plantago major
Poa annua
Buxus sempervirens
Buddleja davidii
Linaria purpurea
Melissa officinalis

Erigeron annuus
Campanula carpatica
Conyza canadensis
Solidago canadensis
Aralia elata
Reynoutria japonica
Rhus typhina
Pterocarya fraxinifolia
Galeopsis tetrahit
Circaea lutetiana
Impatiens parviflora

Bericht: BARBARA STUDER