

Gesteine

im Kanton Schwyz



Gesteine mit pflanzlichen Fossilien
Gesteine als Lebensraum: Blaualgen-Flechten
Gesteine in Bewegung: Die werdenden Alpen

Titelbild:
Riesenfarn
Woodwardia roessneriana
Foto: Meinrad KÜchler

sc | nat 

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

Die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
ist Mitglied der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz.

Gesteine im Kanton Schwyz

Gesteine mit pflanzlichen Fossilien

Fossile Pflanzen aus den mittelmiozänen Fundstätten von Öhningen am Untersee (Baden-Württemberg) – Rekonstruktion von Klima und Umwelt vor gut 13 Millionen Jahren

René Hantke

Wälder der östlichen Zentralschweiz vor 30–25 Millionen Jahren, rekonstruiert mit fossilen Pflanzenfunden vom Rossberg, Südfuss der Rigi, Gebiet um Rothenthurm, vom Rinderweidhorn und Höhronen

René Hantke

Gesteine als Lebensraum

Die kleinen schwarzen Flechten am Roggenstöckli (Muotathal, Kanton Schwyz)

Urs Groner und Matthias Schultz

Gesteine in Bewegung

Zur jüngeren Erdgeschichte des westlichen Kantons Schwyz

René Hantke

Redaktion Helen und Meinrad Kuchler

Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft

Achtzehntes Heft 2019

Die Schwyzerische Naturforschende Gesellschaft dankt:

- der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, Bern, für den finanziellen Beitrag
- Friedrich Schmid, Einsiedeln, für das sorgfältige Gegenlesen
- den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Druckerei Franz Kälin AG, Einsiedeln, insbesondere der verantwortlichen Polygrafen, Frau Martina Beeler, für die optimale Betreuung und die professionelle Arbeitsweise.

Herausgeber:
Schwyzerische Naturforschende Gesellschaft
www.szng.scnatweb.ch

Alle Rechte vorbehalten
© Copyright 2019, Schwyzerische Naturforschende Gesellschaft
Herstellung: Druckerei Franz Kälin AG, Einsiedeln
ISBN 978-3-033-03480-8

Inhaltsverzeichnis

Vorwort *Helen Kuchler*

5

Gesteine mit pflanzlichen Fossilien

**Fossile Pflanzen aus den mittelmiozänen Fundstätten von Öhningen
am Untersee (Baden-Württemberg) – Rekonstruktion von Klima und Umwelt
vor gut 13 Millionen Jahren**

René Hantke

- | | |
|--|----|
| 1. Einleitung | 7 |
| 2. Zur Geschichte der Öhninger Fundstätten | 7 |
| 3. Ergänzungen zu den Resten der Öhninger Fundstätten Schrotzburg und
Öhningen (Maarsee) sowie zu deren Nomenklatur | 10 |
| 4. Weiterer Floreninhalt des Schrotzburger Altwassers und des Öhninger Maarsees | 12 |
| 5. Der Schrotzburger Auenwald | 24 |
| 6. Zum Paläorelief des Schiener Berges | 30 |
| 7. Der Flusslauf, in dessen Altwasser die Schrotzburger Pflanzenreste eingeweht wurden | 31 |

**Wälder der östlichen Zentralschweiz vor 30–25 Millionen Jahren, rekonstruiert
mit fossilen Pflanzenfunden vom Rossberg, Südfuss der Rigi, Gebiet um Rothenthurm,
vom Rinderweidhorn und Höhronen**

René Hantke

- | | |
|--|----|
| 1. Einleitung | 35 |
| 2. Die Schichtabfolge am Rossberg | 36 |
| 3. Die Schrägstellung der Rigi/Rossberg-Molasse | 37 |
| 4. Die Fundstellen fossiler Pflanzen am Rossberg (Gemeinde Arth) | 38 |
| 5. Zur Erforschungsgeschichte der fossilen Floren am Rossberg | 38 |
| 6. Der Floreninhalt der Auenwälder Ruffibach (B), Züngelibach (Z),
Ruffiberg–Ochsenboden (R) und Gnipen–Gribsch (G) | 39 |
| 7. Was fossile Pflanzenreste zu Paläoklima und Paläo-Orografie aussagen können | 48 |
| 8. Erdgeschichtliches Alter, Paläoklima, Paläo-Orografie und Floreninhalt
der Fundstellen am Rossberg | 49 |
| 9. Fossile Floren am Südfuss der Rigi (W) | 50 |
| 10. Die chattischen Gesteinsabfolgen, fossile Floren um Rothenthurm und am Rinderweidhorn | 50 |
| 11. Die Gesteinsabfolgen am Höhronen | 51 |
| 12. Die spät-oligozänen Floren von Greit und südlich des Höhronen | 51 |

Gesteine als Lebensraum

Die kleinen schwarzen Flechten am Roggenstöckli (Muotathal, Kanton Schwyz)

Urs Groner und Matthias Schultz

- | | |
|---|----|
| 1. Einführung – Eine besondere Gruppe von Flechten | 55 |
| 2. Das Roggenstöckli – Lage, Klima, Geologie, Vegetation | 57 |
| 3. Methoden | 61 |
| 4. Die kleinen Schwarzen am Roggenstöckli | 64 |
| 5. Begleitarten – die kleinen Cyanoflechten sind nicht allein | 77 |
| 6. Andere kleine schwarze Flechten im Bödmerenwaldgebiet | 80 |
| 7. Diskussion | 86 |
| 8. Dank | 91 |

Gesteine in Bewegung

Zur jüngeren Erdgeschichte des westlichen Kantons Schwyz

René Hantke

- | | | |
|---|---|-----|
| 1 | Einleitung | 93 |
| 2 | Tektonische Vorgänge in den werdenden Alpen und ihrem Vorland | 93 |
| 3 | Die subalpine spätligozäne Rigi/Rossberg- und die meist flach liegende miozäne Hörnli-Schüttung | 99 |
| 4 | Das Klima-Geschehen im Pliozän, im Eiszeitalter und in der Nacheiszeit | 102 |

René Hantke: Vorfahren, Eltern, Studium, Sammlungsarbeit, Forschung und Lehre

René Hantke

125

Boxen Helen Küchler

Vorwort

Das Heft «**Gesteine im Kanton Schwyz**» umfasst verschiedene Aspekte zu diesem Thema.

Die ersten beiden Kapitel behandeln **Gesteine mit pflanzlichen Fossilien**. Diese Versteinerungen geben uns Einblick in die Zeit vor Millionen von Jahren.

Prof. Dr. René Hantke hat seit seiner Dissertation immer wieder versteinertes Leben untersucht und dokumentiert. Sein riesiger Erfahrungsschatz in der Paläobotanik (Wissenschaft der fossilen Pflanzen) fliesst in das vorliegende Heft. Prof. Hantke doktorte über die **fossilen Pflanzen der Fundstelle von Schrotzburg bei Öhningen** am Bodensee aus dem Miozän (vor 13 Mio. Jahren). In **ersten Kapitel** werden pflanzliche Fossilien von Öhningen mit vielen Abbildungen illustriert und mit heute noch lebenden Arten verglichen.

Avocado am Rossberg? An den Abrissstellen des Goldauer Bergsturzes (Rossberg) wurden noch ältere Fossilien als in Öhningen gefunden: Sie stammen aus der Zeit der Unteren Süsswassermolasse (vor ca. 30–25 Mio. Jahren). Im **zweiten Kapitel** werden **pflanzliche Fossilien vom Rossberg** vorgestellt. So wurden versteinerte Blätter von Pflanzen gefunden, die heute noch in Nordamerika und Asien leben. Es wurden erstaunliche Funde gemacht: versteinerte Blätter von Avocado und Zwergpalmen. Diese Funde zeigen, dass damals ein warmes, fast subtropisches Klima geherrscht hat.

Im **dritten Kapitel** «**Gesteine als Lebensraum**» dokumentieren Urs Groner und Matthias Schultz die **kleinen schwarzen Flechten am Roggenstöckli im Muotatal**. Flechten sind eine Lebensgemeinschaft (Symbiose) aus Pilzen und Algen. Die Algen ernäh-

ren den Pilz mit Kohlehydraten, während der Pilz die Alge schützt und zu schnelles Austrocknen verhindert. Bei den meisten vorgestellten Flechten ist der Symbiosepartner eine Blaualge. Die beiden Autoren haben am Roggenstöckli 33 Arten und im angrenzenden Bödmerenwald weitere 20 Arten von diesen gesteinsbewohnenden Flechten gefunden und identifiziert. Mit vielen Bildern werden die Arten vorgestellt und beschrieben.

Im **vierten Kapitel** «**Gesteine in Bewegung**» erläutert Prof. Hantke verschiedene geologische Themen. Der Kanton Schwyz ist geologisch betrachtet ja sehr vielfältig. So liegt er im Grenzbereich zwischen Mittelland und dem Alpengebirge. Wie wurden die Täler und Seebecken der Zentralschweiz gebildet? Wie kamen die grossen Molasse-Schüttungen zustande? Sind es eher Ausbrüche alpiner Gletscherseen oder – wie bisher angenommen – reine Flussablagerungen? Diesen und weiteren Fragen geht Prof. Hantke in diesem Kapitel nach.

Last but not least berichtet René Hantke im **fünften Kapitel** über sein Leben, das immer geprägt war von einem eindrucklichen Forscherdrang. Im Anhang finden wir die Liste aller wissenschaftlichen Arbeiten und Publikationen, die René Hantke mit seinen vielseitigen Forschungsinteressen verfasst hat.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre «**Gesteine im Kanton Schwyz**».

Helen Küchler
Eidgenössische Forschungsanstalt WSL
Birmensdorf, im Februar 2019



Liquidambar europaea A. BRAUN – Europäischer Amberbaum, von Rothenthurm. Fossilsammlung des Geologischen Institutes der ETH Zürich, Foto M. Küchler.

Fossile Pflanzen aus den mittelmiozänen Fundstätten von Öhningen am Untersee (Baden-Württemberg) – Rekonstruktion von Klima und Umwelt vor gut 13 Millionen Jahren

RENÉ HANTKE, Stäfa

1. Einleitung

Fossile Floren zu Gesicht zu bekommen ist ein seltener Glücksfall. Meist können nur einzelne Blattfunde geborgen werden. Um Aussagen über Wälder, Landschaft und Klima der Vorzeit machen zu können, bedarf es möglichst vieler Reste und – neben auffälligen Blattresten – auch kleiner, weit weniger spektakulärer Frucht- und Samenreste, Blüten und Pollen. Nur eine grosse Zahl von Resten erlaubt verlässliche Schlüsse, so jene aus den zwei kleinen Kalksteinbrüchen des Klosters Öhningen am Untersee (Baden-Württemberg). Dort wurden vor gut 13 Millionen Jahren in der Oberen Süsswassermolasse zahllose Pflanzenreste eines uferständigen Auenwaldes eingeweht und zusammen mit Tierresten im Kalkschlamm eines einstigen Maarsees eingebettet. Da der Abbau des isolierten Kalkes im kalkarmen Molasseländ über Jahrzehnte von Hand erfolgte, kamen über die Jahre zahllose Fossilreste zum Vorschein.

2. Zur Geschichte der Öhninger Fundstätten

Bereits vor über 300 Jahren haben Mönche des Klosters Öhningen aus den Süsswasserkalken der klostereigenen Steinbrüche fossile, im Kalkschlamm der mittelmiozänen Oberen Süsswassermolasse eingebettete Pflanzenreste gesammelt. Diese wurden anfangs im Kloster aufbewahrt, später in alle Welt verkauft. Schon JOHANN JAKOB SCHEUCHZER (1709, 1723) hat in seinem Herbarium diluvianum fossiler

Die weltberühmte Fossilfundstelle von Öhningen liegt im westlichen Bereich des Untersees in der Nähe von Stein am Rhein. Mit einem Alter von gut 13 Millionen Jahren gehören die Funde zur Oberen Süsswassermolasse. Aufgrund der Funde in den Öhninger Kalksteinbrüchen sind seinerzeit gegen 500 Pflanzen- und 900 Tierformen beschrieben worden.

Die Bedeutung dieser Fossilagerstätte wurde vor allem durch drei Forscher aus Zürich bekannt: JOHANN JAKOB SCHEUCHZER (1672–1733), OSWALD HEER (1809–1883) und RENÉ HANTKE (*1925).

Pflanzen vier Öhninger Blattreste, u. a. ein Pappelblatt (Abb. 1, Fig. 4), beschrieben und abgebildet. Das Pappelblatt steht der fossilen Öhninger Art *Populus attenuata* A. BR. nahe, die ALEXANDER BRAUN, damals Professor in Freiburg i. Br., mit *P. nigra* L., der heutigen Schwarzpappel, verglichen hat.



Abb. 1. Tafel aus SCHEUCHZERS Herbarium diluvianum (1709). Auf der rechten Tafelhälfte erkannte SCHEUCHZER bereits richtig: das Pappelblatt (4) und das Fiederblatt einer Walnuss-Art (8); daneben auf der gleichen Steinplatte ein Sonnenblatt des Campherbaums und oben rechts ein gefiedertes Blatt eines Hülsenfrüchtlers, einer feuchten Grund liebenden Gleditschie (2). $\frac{1}{3}$ nat. Grösse.

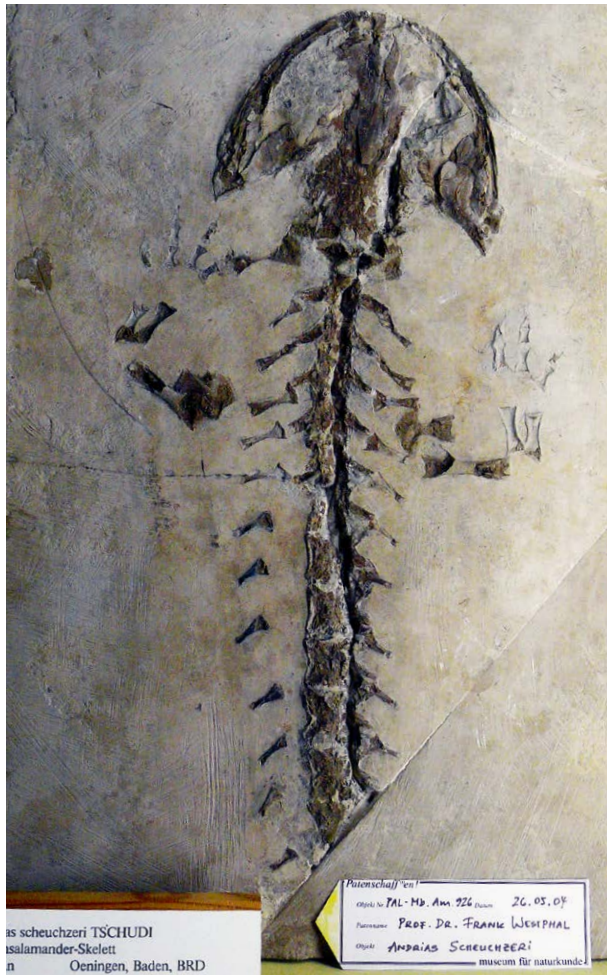


Abb. 2. *Andrias scheuchzeri* CUVIER ist ein ausgestorbener Riesensalamander, der vor gut 13 Mio. Jahren in Mitteleuropa vorkam. Der Naturforscher JOHANN JAKOB SCHEUCHZER beschrieb im Jahre 1726 dieses Fossil aus Öhningen als «homo diluvii testis». Foto von User: Haplochromis – Selbst fotografiert, CC BY-SA 3.0.

Mit SCHEUCHZERS (1726) *Homo diluvii testis* – «dem Beingerüst eines in der Sintflut ertrunkenen Menschen» – (**Abb. 2**) wurden die Fossilien von Öhningen weltbekannt, und ein reger Handel setzte ein. GEORGES CUVIER, Naturforscher und Begründer der vergleichenden Anatomie und der Paläontologie in Paris, erkannte anfangs des 19. Jh. im *Homo diluvii testis* das Skelett eines mit dem Grottenolm verwandten Riesensalamanders – *Andrias scheuchzeri* CUVIER (abgebildet in HEER 1865 und 1879: Taf. 11 Fig. 1, sowie in ZAUGG et al. 2008, Fig. 1). Der nahverwandte rezente Riesensalamander, *Cryptobranchus japonicus* DE HOEV., lebt im Süßwasser von Japan und Nordamerika.

Als der Handel mit Öhninger Fossilien zurückging, wurden von Klosterinsassen durch Schaben, Bemaalen und Zusammenkleben Fälschungen geschaffen und als «neue Typen» veräußert (PFANNENSTIEL

OSWALD HEER wurde am 31. August 1809 in Uzwil SG geboren und wuchs im Pfarrhaus von Matt GL auf.

Er war einer der einflussreichsten Naturwissenschaftler des 19. Jahrhunderts. So war er ab 1835 Professor für Botanik und Entomologie an der Universität Zürich und ab 1855 auch Professor an der ETH Zürich (damals Eidgenössisches Polytechnikum). Als Paläontologe hat OSWALD HEER in seinen Werken auch die Fossilien von Öhningen dokumentiert.

Sein Werk «Die tertiäre Flora der Schweiz» kann unter folgendem Link als pdf von der ETH-Bibliothek Zürich heruntergeladen werden:

<http://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-10496>

In diesem dreibändigen Werk (1855–59) beschrieb er 720 fossile Pflanzen aus der Molasse der Schweiz und von den Öhninger Fundstellen.

1958). Als dies bekannt wurde, verkaufte das Kloster die Steinbrüche. Doch auch unter dem neuen Besitzer erlahmte der Fossilhandel weiter. Nach BRAUNS Berufung nach Berlin konnten ARNOLD ESCHER VON DER LINTH, Geologie-Professor, und OSWALD HEER, Botanik-Professor in Zürich, dank einer erheblichen jährlichen Subvention ESCHERS erreichen, dass 10 Jahre lang sämtliches beim Abbau zutage gefördert fossiles Gut nach Zürich gelangte. HEER (1853, 1855–59) hat die Öhninger Reste meisterhaft beschrieben und abgebildet.

Schon BRAUN (in BUCKLAND 1836 und 1845, in STIZENBERGER 1851) und A. E. BRUCKMANN (1850, 1852) hatten die Pflanzenreste teilweise mit im wärmeren atlantischen Nordamerika sowie im Nahen und Fernen Osten noch lebenden Arten verglichen, was HEER bestätigen konnte. ESCHER erkannte, dass die Süßwasserkalke in einem Maarsee abgelagert worden waren, und fand auch den unterliegenden Schlot-Tuff.

Um 1855 entdeckte Pfarrer Schwarz von Bohlingen auch in den Mergeln an der Nordseite des Schiener Berges, in der Bohlinger Schlucht unterhalb der Ruine Schrotzburg, 4 km nordwestlich der Öhninger Steinbrüche, ein Lager von fossilen Pflanzenresten, die HEER ebenfalls bearbeitete.

Auch THOMAS WÜRTEMBERGER sammelte in den Schrotzburger Mergeln Pflanzenreste, um sie mit den Funden aus den damals neu aufgeschlossenen Thurgauer Fundstellen Tägerwilen und Bernrain vergleichen zu können (in O. WÜRTEMBERGER 1906). Dabei konnte er anfangs noch auf HEERS Hilfe bei der Zuordnung zählen.

80 Jahre nach Pfarrer Schwarz und nach Klärung der Geologie durch SCHMIDLE (1926) und DEECKE (1933) befasste sich HANS STAUBER (1935, 1937) in seiner Diplomarbeit an der ETH erneut mit der Geologie des Fundstellen-Bereiches am Schiener Berg. Von 1931–36 baute STAUBER in den Öhninger Steinbrüchen und dann vor allem im Tobel unterhalb der Schrotzburg für eine geplante Dissertation mit gewaltigem Einsatz mehrere Kubikmeter Mergel mit prachtvoll erhaltenen Pflanzenresten ab (Abb. 3), trug zusammen mit einem Arbeitslosen die Platten hinauf zur Schrotzburg, liess sie in einer Scheune antrocknen und dann zur wissenschaftlichen Auswertung ans Geologische Institut nach Zürich fahren. Da STAUBER plötzlich eine honorierte geologische Doktorarbeit in Ost-Grönland in Angriff nehmen konnte, blieb sein Schrotzburger Fossilgut, um die 10 Tonnen Mergelplatten mit über 15'000 botanisch zuzuordnenden Resten, über ein Jahrzehnt liegen.

Nachdem durch die Ereignisse des 2. Weltkrieges die Sammlungen in den deutschen Museen weitgehend zerstört worden waren, suchte MAX PFANNENSTIEL (1950), Professor am Geologisch-paläontologischen Institut der Universität Freiburg i. Br., mit Assistenten und Studenten nach neuem Fossilgut. So wurde in

den aufgelassenen Kalksteinbrüchen von Öhningen und vor allem in der Bohlinger Schlucht unterhalb der Schrotzburg nochmals intensiv nach guterhaltenen Pflanzenresten gegraben.

Von dem genannten Fossilgut, das nach dem Krieg von Freiburg aus neu geborgen worden war, gelangte eine Fossilplatte durch Pfannenstiels Förderer Nicolas Théobald, Professor an der Universität Besançon, ans Institut de Géologie et Paléontologie der Universität Grenoble. Dort hatte kurz zuvor LÉON MORET (1943) nach einem Lehrbuch der Paléontologie animale auch ein Manuel de Paléontologie végétale verfasst und galt in Frankreich als Autorität für Paläobotanik und Paläontologie. Da ich im Winter 1947/48 ein Auslandssemester bei den Professoren Maurice Gignoux und Léon Moret in Grenoble verbrachte, begeisterte diese Platte auch mich. Zurückgekehrt nach Zürich, erzählte ich von meinen Eindrücken in Grenoble. Vom Konservator Prof. Dr. Alphonse Jeanet wurde ich in die Katakomben des Geologischen Institutes geführt, wo Staubers Fossilgut auf eine Bearbeitung wartete. Nach Abschluss meiner geologischen Diplomarbeit im Silbergebiet (HANTKE 1949) war für mich – stets zwischen Botanik und Geologie schwankend – klar, dass dieses Fossilgut

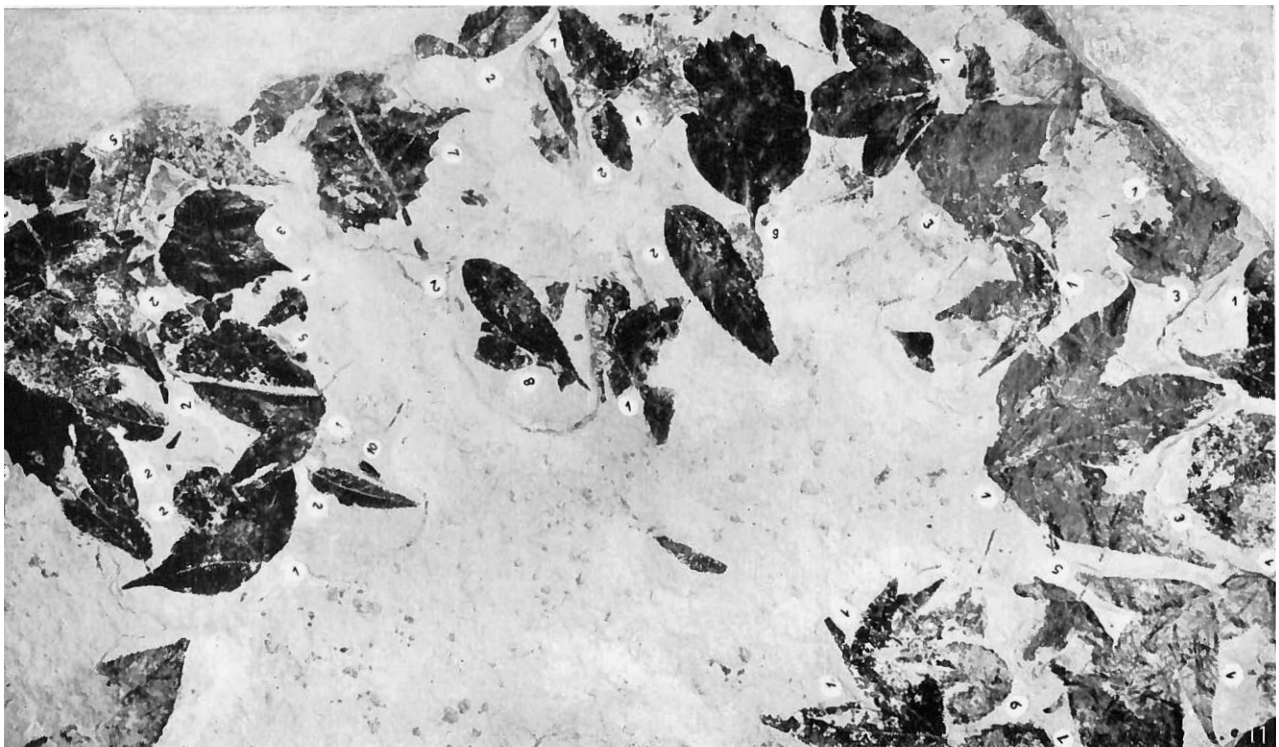


Abb. 3. Eine Mergelplatte mit fossilen Blättern aus der Oberen Schrotzburger Fundstelle, aus HANTKE 1954a, Taf. 15 Fig.11. Ca. 1/3 nat. Grösse.

- | | |
|---|---|
| 1 <i>Liquidambar europaea</i> A. BRAUN. | 6 <i>Populus balsamoides</i> GOEPPERT s. n. |
| 2 <i>Ulmus longifolia</i> UNGER s. n. | 7 <i>Populus latior</i> A. BRAUN s. n. |
| 3 <i>Platanus aceroides</i> GOEPPERT s. HEER. | 8 <i>Cinnamomum polymorphum</i> (A. BRAUN) HEER s. n. |
| 4 <i>Salix lavateri</i> A. BRAUN s. n. | 9 <i>Zelkova ungeri</i> KOVATS. |
| 5 <i>Acer angustilobum</i> HEER s. Pax. | 10 <i>Berchemia multinervis</i> (A. BRAUN) HEER. |

im Einverständnis STAUBERS mein Dissertationsthema bilden werde (HANTKE 1954a).

Nach einem von STAUBER unterzeichneten, aber bis zur vollendeten Bearbeitung verschwiegenen Vertrag mit den deutschen Dienststellen hätte das von ihm gesammelte und nach Zürich gefahrene Fossilgut nach der wissenschaftlichen Bearbeitung wieder nach Deutschland zurückgegeben werden müssen. Da inzwischen auch die Universität Freiburg i. Br. in der Bohlinger Schlucht (untere Fundstelle und vor allem oberes Pflanzenlager der Schrotzburg) mächtig Mergelplatten abgebaut und Pflanzenreste gesammelt hatte, die später ebenfalls wissenschaftlich von TILO NÖTZOLD (1957) bearbeitet worden sind, begnügte sich das Naturhistorische Museum in Karlsruhe mit einer bescheidenen Auswahl, sodass der grösste Teil des Fossilguts und sämtliche in der Dissertation abgebildeten Reste in der paläobotanischen Sammlung der ETH verbleiben konnten.

Auch in Freiburg fand PFANNENSTIEL Jahre später in TILO NÖTZOLD (1957) einen Doktoranden, der das neu gesammelte Freiburger Fossilgut aus der Bohlinger Schlucht bearbeitete. Dagegen lieferten die Öhninger Süsswasserkalke bei fortgeschrittenem Abbau gegen die Mitte des Maarsees hin nur noch bescheidenes Fossilgut. Doch sind von den Öhninger und Schrotzburger Fundstellen, den ergiebigsten und berühmtesten Fundstellen in der Oberen Süsswassermolasse aus der Schweizer Nachbarschaft, im Laufe der Jahre insgesamt weit über 50'000 pflanzliche Fossilreste – Blätter, Blüten, Früchte, Samen, Rindenstücke – zusammengekommen.

3. Ergänzungen zu den Resten der Öhninger Fundstätten Schrotzburg und Öhningen (Maarsee) sowie zu deren Nomenklatur

Nachdem in HANTKE (2007) eine Ergänzung zur Geologie des weiteren Bereiches der Öhninger Fundstelle Schrotzburg erfolgen konnte, sollen hier auch noch einige berichtigende paläobotanische Ergänzungen, neue Zuweisungen und nomenklatorische Richtigstellungen zu HANTKE (1954a) und zu HEERS (1855–59) Flora des Öhninger Maarsees dargelegt werden.

Pterocarya – Flügelnuss

Pterocarya castaneaefolia (GOEPP.) – Flügelnuss (Abb. 4) – ist nach Gregor mit *Cyclocarya cyclocarpa* (SCHLECHT.) ILJ. – Rundflügelnuss – näher verwandt als mit *Pterocarya fraxinifolia* (LAM.) SPACH und wäre daher als *Cyclocarya* zu bezeichnen. ILJINSKAJA hat diese mit der heute ostasiatischen *C. paliurus* (BATAL.) ILJ. verglichen. Doch bei *C. paliurus* umschliesst der Fruchtfügel die Frucht

vollständig, was bei der Schrotzburger Art eindeutig nicht der Fall ist, sodass HANTKE die Zuordnung zu *Pterocarya* weiterhin bevorzugt.

Acer – Ahorn

Acer tricuspidatum A. BR. – Dreischildriger Ahorn (HANTKE 1954a, 1964). Da der Name *A. trilobatum* bereits für einen rezenten Ahorn vergeben ist – wenn auch nicht mehr gültig – soll der Öhninger Ahorn in *Acer tricuspidatum* A. BR. (Abb. 5) umbenannt werden. Als rezente Vergleichsart haben schon BRAUN und HEER *A. rubrum* L. genannt, den Rot-Ahorn des atlantischen Nordamerika.

In den Öhninger Kalken, am Rande des Maarsees, fand sich *Acer tricuspidatum* – Dreizipfliger Ahorn – mit mehreren Blattformen und Abnormitäten (HEER 1855: Taf. 2 Fig. 3,4, 6, 8; 1859: 44 ff., Taf. 110) als vorherrschender Baum. Schon BRAUN (1845) hatte mehrere Blattformen als «Arten» unterschieden: *A. tricuspidatum* und *A. productum*, und HEER (1859) fügte noch *A. trilobatum* subsp. *patens* hinzu, obwohl ihnen nur ein Fruchttyp vorlag. Auch als rezente Vergleichsart nannten BRAUN und HEER nur *A. rubrum*.

In den Schrotzburger Mergeln dagegen trat dieser Ahorn nur sehr selten auf. Dort kam *A. angustilobum* HEER – Schmallappiger Ahorn (Abb. 6) – recht häufig vor. Dieser Ahorn wiederum fehlte in den Öhninger Kalken, wohl aus ökologischen Gründen. Doch ist *A. angustilobum* auch in den um 100 m tiefer ge-

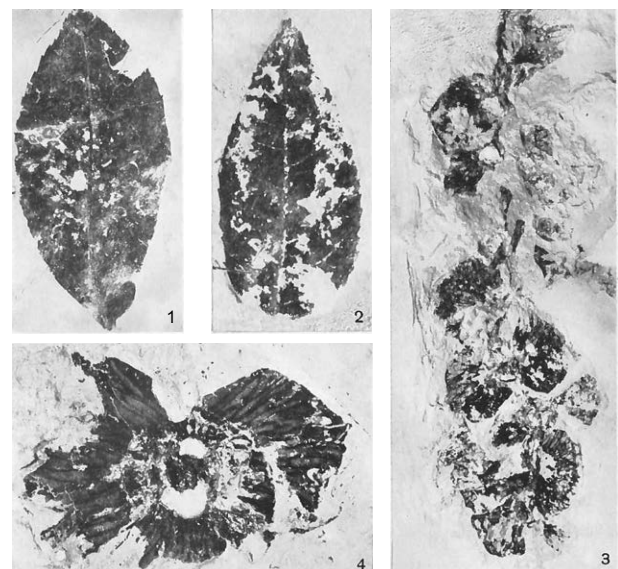


Abb. 4. *Pterocarya castaneaefolia* (GOEPP.), seitliches (1) und endständiges Fiederblättchen (2), Fruchtstand (3) und Einzelfrucht mit Flugsaum einer Flügelnuss (4) aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HANTKE 1954a, Taf. 3 Fig. 1–4.1 und 2: $\frac{1}{2}$, 3: $\frac{1}{3}$ und 4: $1,8 \times$ nat. Grösse.



Abb. 5. *Acer tricuspidatum* A. BR., Blatt- und Fruchtreste sowie Fruchtstiele von einem fossilen Rot-Ahorn, Öhninger Süßwasserkalke, HEER 1859, Taf. 111 Fig. 1–21. Bereits A. BRAUN und O. HEER verglichen diesen Ahorn mit dem *A. rubrum* L. (Fig. 22 und 23), der im atlantischen Nordamerika von Kanada bis in den Süden der USA an feuchten Standorten verbreitet ist. $\frac{1}{3}$ nat. Grösse.

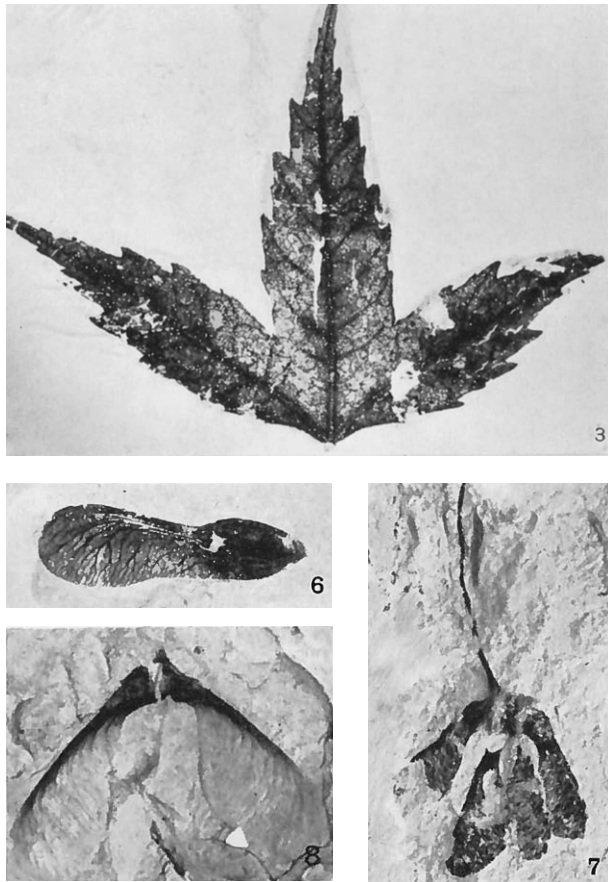


Abb. 6. *Acer angustilobum* HEER, Blatt- und Fruchtreste von der Öhninger Fundstelle Schrotzburg; aus HANTKE 1954, Taf. 13 Fig. 3, 6, 7, 8: ½ nat. Grösse.

legenen Mergeln bei der Mühle Wangen (um 420 m, HEER 1859, Taf. 118 Fig. 4, 5 und 7) sowie in den etwa gleich alten Mergeln von Steckborn belegt.

An der Öhninger Fundstelle Schrotzburg lassen sich dagegen zwei Ahorn-Arten rechtfertigen; die eine – *Acer angustilobum* HEER, Schmallappiger Ahorn (**Abb. 6**) – mit über 900 Blättern und vielen Früchten; die andere – *A. tricuspidatum* A. BRAUN –, ist sehr selten, nur mit 14 Blättern vertreten. Der Schmallappige Ahorn fehlt in den Öhninger Kalken beim Maarsee, sowohl im unteren als auch im oberen Steinbruch.

Gleditsia – Gleditschie

Von *Podogonium lyellianum* HEER und von *P. knorrii* HEER – beide von HEER (**Abb. 7**) noch als ausgestorbene Hülsenfrüchtler betrachtet – wären nach GREGOR & HANTKE (1980) die Blattreste in *Gleditsia lyelliana* (HEER) HANTKE und die Fruchtreste in *G. knorrii* (HEER) GREGOR umzubenennen: Beide sind mit der heutigen *G. aquatica* MARSH. – Wasser-Gleditschie zu vergleichen (GREGOR & HANTKE 1980). Mit ihr stimmen sowohl die gefiederten Blätter, die Fiederchen als auch die einsamigen Früchte (= *G. monosperma* WALT.) bestens überein. *Gle-*

ditsia aquatica war möglicherweise in dem damals von HEER erst im Aufbau begriffenen Herbarium des Botanischen Gartens Zürich noch nicht vorhanden, sonst hätte HEER diese Art kaum als ausgestorben betrachtet.

P.S. HERENDEEN (1992) nennt für «*Podogonium* HEER 1857», das er in *Podocarpium podocarpum* (BRAUN) HERENDEEN umbenennen möchte, auch nur eine einzige rezente Art, *Gleditsia* sp. Doch stammen seine Reste aus dem frühen Tertiär. Dagegen erwähnt WANG die Art – beziehend auf HERENDEEN 1992 – auch aus der miozänen Shanwang Flora von Shandong. Schon A. BRAUN hat die Art anfänglich (in BUCKLAND 1836: 513) für eine Gleditschie gehalten und als *Gleditsia podocarpa* bezeichnet. Die Exemplare aus den Süßwasserkalken von Öhningen (BRAUN IN STIZENBERGER 1851: 90 und besonders in HEER 1859: 115–118, Taf. 134 Fig. 22–34, Taf. 135 und 136) sowie aus den Mergeln von Schrotzburg (HANTKE 1954: 73–74 Taf. 12 Fig. 11–15) sind wohl alle, sowohl Blatt- wie Fruchtreste, sinnvoll als *Gleditsia podocarpa* BRAUN 1836 zu bezeichnen.

Zelkova – Wasserulme

Auch der Name *Zelkova ungeri* KOVATS ist aus Prioritätsgründen durch *Zelkova zelkovaefolia* (UNGER) BUZEK & KOTLABA in KOTLABA (1963) zu ersetzen.

4. Weiterer Floreninhalt des Schrotzburger Altwassers und des Öhninger Maarsees

***Populus* – Pappel**

Populus latior A. BR. ist regelkonform in *Populus populina* (BROGN.) KNOBLOCH (**Abb. 8**) umzubenennen. Bereits HEER hat in seiner Synonymieliste zu *P. latior* A. BR. auch *Phyllites populina* A. BROGNIART (1822, pl. III fig. 4) erwähnt; den Artnamen *latior* BRAUNS aber jenem von *populina* BROGN. – nicht ganz regelkonform – vorgezogen. Im unteren der beiden Pflanzenlager des Schrotzburger Tobels ist *Populus mutabilis* HEER – Veränderliche Pappel (1856: 19 ff., Taf. 60 ff. und 1859: 173; (**Abb. 9**) – häufig. Die Reste lassen erkennen, dass oft mehrere Blattformen am selben Zweig sass, womit die Zusammengehörigkeit zu einer einzigen Art erwiesen ist. *Populus mutabilis* ist mit der rezenten, vom westlichen Asien bis ins südwestliche China an Wasserläufen und halbtrockenen Standorten auftretenden *P. euphratica* OLIV. – Euphrat-Pappel – zu vergleichen. Bereits HEER hat bemerkt, dass *P. mutabilis* oft von Blattpilzen befallen ist (1855, Taf. 1 Fig. 1, 2, 7 und 9a, Taf. 2 Fig. 2). Während *P. mutabilis* – neben *Gleditsia podocarpa*, – im unteren, auf 535 m liegenden Pflanzenlager im Schrotzburger Tobel (= Bohlinger Schlucht, NÖTZOLD 1957) die häufigste Art darstellt, fehlt diese Pappel völlig im 1,55 m mächtigen, auf 585 m liegenden oberen Pflanzen-

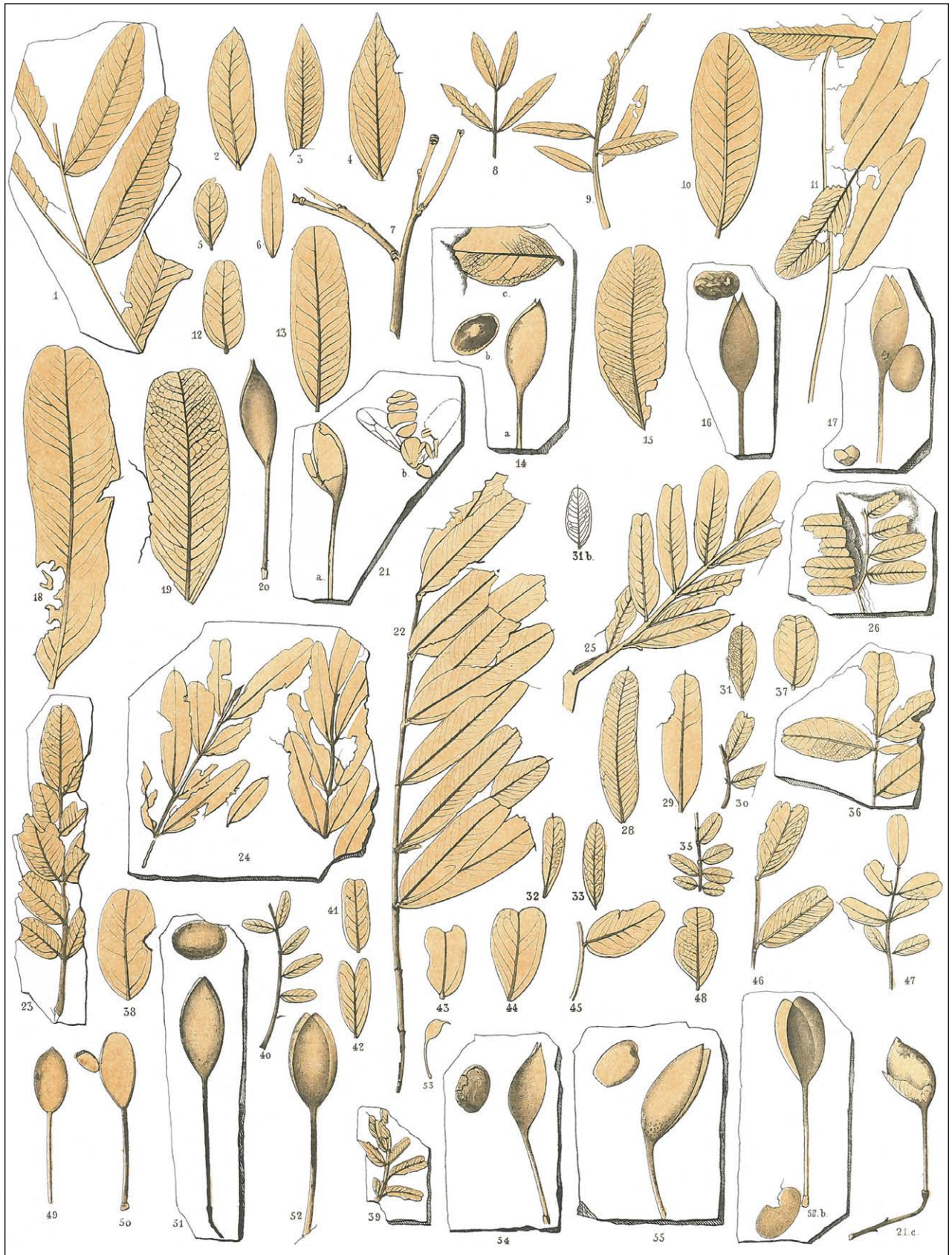


Abb. 7. *Gleditsia podocarpa* A. BRAUN, Fiederblatt und *Gleditsia knorrii* (HEER) GREGOR, einsamige Hülse einer miozänen Wasser-Gleditschie, Öhninger Süßwasserkalke, aus HEER 1859, Taf. 136 Fig. 22–52. Bei HEER 1–9 noch als *Podogonium knorrii*, 10–21 als *P. latifolium*, 22–52 als *P. lyellianum*, 48 als *P. constrictum* und 54, 55 als *P. campylocarpum* bezeichnet. $\frac{1}{3}$ nat. Grösse.

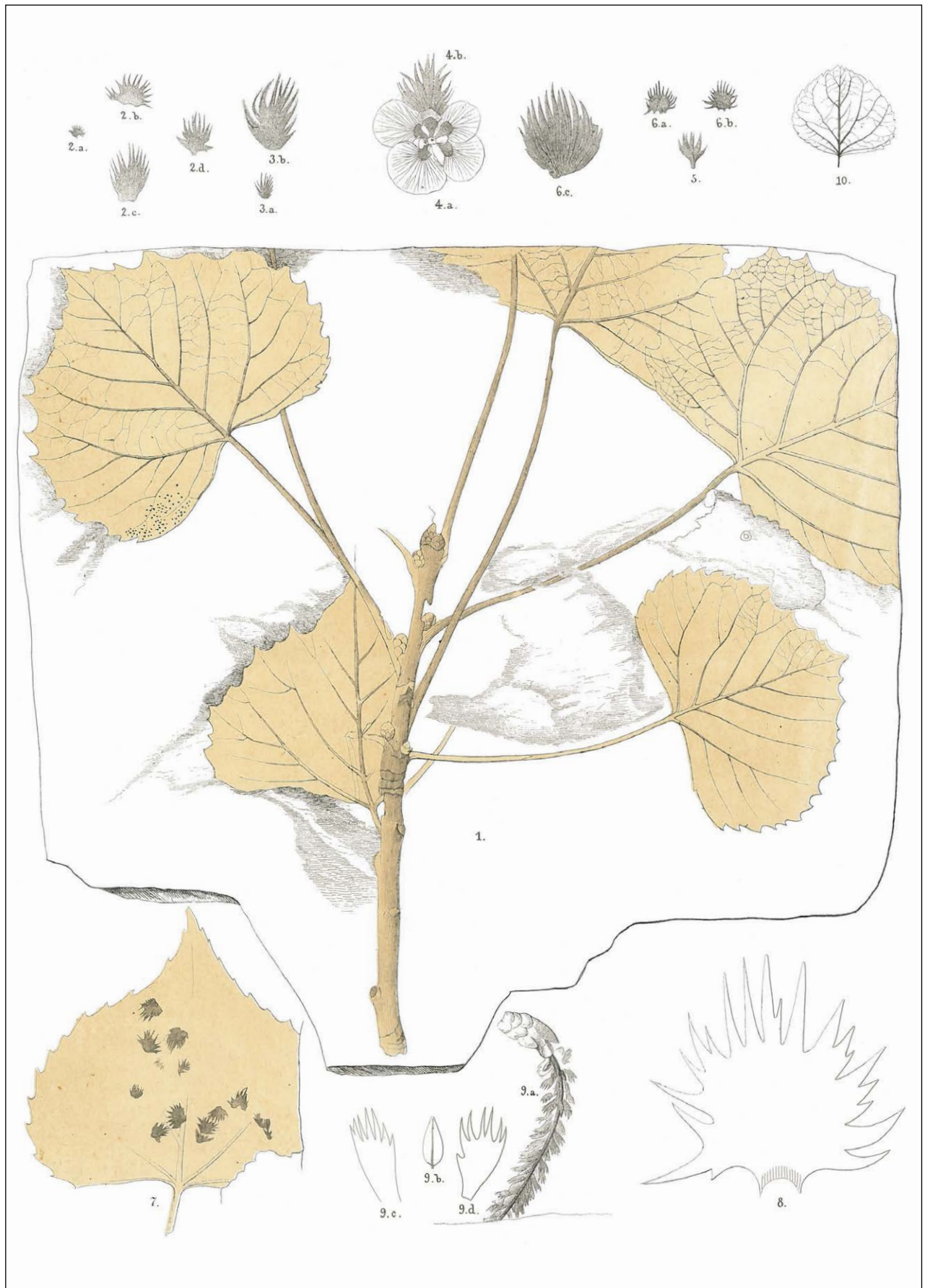


Abb. 8. *Populus populina* (BRONGN.) KNOBLOCH, Zweigrest einer Breitblättrigen Pappel aus den Öhninger Süßwasserkalken, aus HEER 1856, Taf. 53 Fig. 1. Bei HEER noch *P. latior*; Fig. 2 und 9 *P. mutabilis*, 4a Rest einer *Salsola*. $\frac{1}{5}$ nat. Grösse.



Abb. 9. *Populus mutabilis* HEER, Zweigreste der Veränderlichen Pappel mit verschiedenen Blattformen und weiblichen Blüten, Öhninger Süsswasserkalke, aus HEER 1856, Taf. 63 Fig. 1–4. Fig. 5–7: *Populus balsamoides*. $\frac{1}{5}$ nat. Grösse.

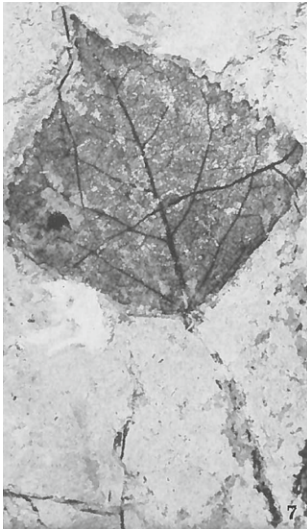


Abb. 10. *Populus attenuata* A. BR., Blatt aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HANTKE 1954, Taf. 4 Fig. 7.
 1/3 nat. Grösse.

lager, das durch rund 50 m fluviale «Steinbalmsande» getrennt ist, was einen Substratwechsel, allenfalls einen bescheidenen Klimawechsel andeutet, bescheiden deshalb, da *P. mutabilis* auch in den Öhninger Kalken häufig auftritt.

Im Oberen Schrotzburger Pflanzenlager sind dagegen zwei andere Pappeln recht häufig, *Populus populina* (BROGN.) KNOBLOCH, bei der HEER (1856: 11 ff., Taf. 53 ff.; 1859: 173) noch zahlreiche «Unterarten» (= Blattformen) unterschieden hat, sowie *P. balsamoides* GOEPP. (HEER 1859: 173, Taf. 150 Fig. 11; Abb. 9). *P. populina* lässt sich mit der rezenten *P. canadensis* MICHX. – Kanadische Pappel – vergleichen, *P. balsamoides* mit der in etwas kühleren Gebieten verbreiteten *P. balsamifera* L. und *P. candidans* AIT. In den Öhninger Kalken findet sich ausserdem *Populus attenuata* A. BR. (Abb. 10), die *P. nigra* L., der heutigen Schwarz-Pappel nahesteht. Schon SCHEUCHZER (1709, 1723) hat ein Blatt dieser Pappel-Art in seinem Herbarium diluvianum abgebildet. In den Schrotzburger Mergeln war *Populus attenuata* ebenfalls mit einigen wenigen Blättern vertreten (HANTKE 1954, Taf. 4 Fig. 7), wurde dort aber noch zu *P. balsamoides* gestellt, was zu korrigieren ist.

Zu diesen gesellt sich im unteren, durch gut 50 m Sande getrennten Schrotzburger Pflanzenlager noch eine weitere Pappel-Art, *Populus mutabilis* HEER, die im oberen Lager fehlt, aber am Öhninger Maarsee überaus häufig war. Am Öhninger Maarsee wuchsen also vier sicher zu unterscheidende Pappel-Arten. Dabei trat aber eine Art – *Populus attenuata* A. BR. – deutlich zurück. Die beiden weiteren Arten, *Populus balsamoides* GOEPP. und *P. populina* (BRONGN.) KNOBLOCH (= *Populus latior* A. BR.), hat schon HEER mit *P. balsamifera* L. bzw. *P. monilifera* AIT. verglichen.

Salix – Weide

Der Öhninger Maarsee war von drei verschiedenen Weide-Arten umsäumt: von *Salix lavateri* A. BR. – Lavaters Weide (Abb. 27), *Salix varians* GOEPP. – Veränderliche Weide und *Salix angusta* A. BR. – Schmalblättrige Weide. Diese wuchsen auch im Schrotzburger Auenwald, aber in sehr unterschiedlicher Häufigkeit. *S. lavateri* war mit über 1700 Blättern überaus häufig, *S. angusta* mit 20 und *S. varians* mit ganz wenigen Blättern recht selten. *S. lavateri* ist schon von HEER mit *S. nigra* MARSH. und *S. caroliniana* MICHX. aus dem atlantischen Nordamerika als rezente Vergleichsarten genannt worden. Für *S. varians* fällt *S. fragilis* L., die Bruchweide, und für *S. angusta* *S. viminalis* L., die Korbweide, als Rezentvergleich in Betracht.

Crataegus – Weissdorn

In der paläobotanischen Sammlung der ETH fanden sich aus den Öhninger Kalken an Weissdorn-Arten: *Crataegus oxyacanthoides* GOEPP. – Spitzdornartiger Weissdorn (HEER 1859: 96, Taf. 132 Fig. 15b) – und *C. opulifolia* HEER – Schneeballblättriger Weissdorn (Taf. 132 Fig. 15). Aus der Insektenschicht des Unteren Steinbruchs wurde ein weiteres fünfspaltig gelapptes *Crataegus*-Blatt vom Typ der *C. laevigata* (POIRET) DC – Zweigriffliger Weissdorn – und *C. monogyna* JACQ. – Eingrifflicher Weissdorn (Abb. 11) bekannt. HEER (1865: 369) hat diesen Fund zu Ehren von LEOPOLD VON BUCH zuerst als *C. buchii*, dann als *C. buchiana* erwähnt, aber weder beschrieben noch abgebildet.



Abb. 11. *Crataegus buchii* HEER, Blattrest eines Weissdorns, Insektenschicht des Unteren Öhninger Steinbruchs, aus HANTKE 1953, Fig. 3.
 1/4 nat. Grösse.

Aus dem Oberen Schrotzburger Pflanzenlager beschrieb HEER (1859: 97, Taf. 155 Fig. 16) ferner einen langstieligen Blattrest mit umgekehrt eiförmiger Spreite und scharfen, nach vorn gerichteten Zähnen als *Crataegus longe-petiolata* (Abb. 12) und bemerkt dazu: «Die Deutung wäre aber schwierig und noch keineswegs gesichert». Im von STAUBER gesammelten Fossilgut fanden sich weitere 24 derartige Blattreste. Doch nicht nur Blätter von nordamerikanischen *Crataegus*-Arten zeigen am Ende von Langtrieben eine grosse Ähnlichkeit, sondern auch *Sorbus*-Arten – Mehlbeerbaum –, so *S. mougeoti* SOY. & GODR. und *S. scandica* DCNE. Ein weiteres, relativ ähnliches

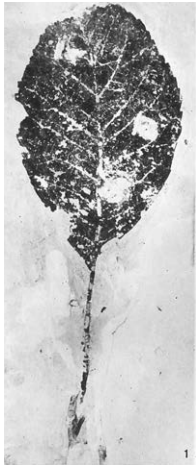


Abb. 12. *Crataegus longepetiolata* HEER, langstieliges Weissdorn-Blatt aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HANTKE 1954a, Taf. 12 Fig. 1. 1/2 nat. Grösse.

Schrotzburger Blatt hat HEER (1859: 63, Taf. 127 Fig. 39a) als *Koelreuteria vetusta* bezeichnet; doch ist die ostasiatische Gattung *Koelreuteria* – Blasenbaum – von der sich in STAUBER'S Fossilgut keine weiteren Blätter fanden, kaum zu *Crataegus longepetiolata* zu stellen.

Rosa – Rose

Von *Rosa* enthielt das gesamte von STAUBER im Schrotzburger Tobel abgebaute Fossilgut – über 15'000 mit rezenten Arten vergleichbare Reste – nur wenige, einzeln abgefallene Fiederblättchen (**Abb. 13**). Aus den Öhninger Süsswasserkalken hat HEER (1855–59) keine Rosen erwähnt.

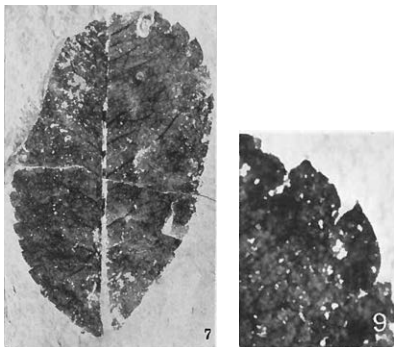


Abb. 13. *Rosa* sp., Fiederblättchen und Ausschnitt Rand mit Zähnen, aus HANTKE 1954a, Taf. 12 Fig. 7 (2,5) und 9 4 × nat. Grösse.

Fraxinus – Esche

Eschen-Früchte, *Fraxinus stenoptera* HEER (1859: 24, Taf. 104 Fig. 17, 17b; **Abb. 14**), sind nicht nur in den Öhninger Süsswasserkalken, sondern auch in den Oberen Schrotzburger Mergeln selten. In dem von BRAUN noch als *Rhus scheuchzeri* bezeichneten Fiederblattrest aus den Öhninger Süsswasserkalken erkannte HEER (1859: 23 f., Taf. 104 Fig. 11, non 13b; aber 11c, 11d, 13b bis 13g) Reste von Fiederblättchen einer Esche. Als *F. scheuchzeri* (A. BR.) HEER verglich er ihn mit der im atlantischen Nord-

amerika über weite Bereiche verbreiteten *F. americana* L. Diese besitzt ebenfalls ganzrandige Fiederblättchen. Ferner erkannte HEER (1859: 22 f., Taf. 104 Fig. 12, 12b) einige Früchte als solche von Eschen,

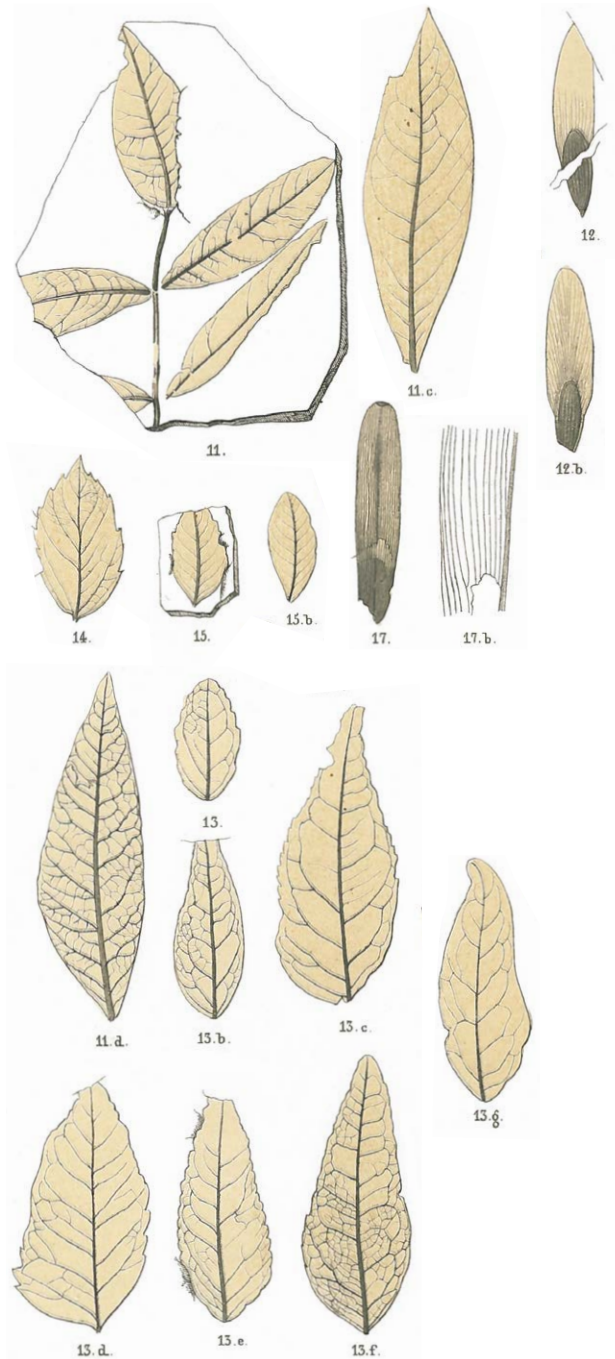


Abb. 14. aus HEER 1859, Taf. 104.

Fraxinus stenoptera HEER, Eschen-Fruchtrest aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HEER 1859, Taf. 104 Fig. 17, 17b.

Fraxinus scheuchzeri (A. BR.) HEER, Vorderer Teil eines Eschen-Fiederblattes aus den Öhninger Süsswasserkalken, aus HEER 1859, Taf. 104 Fig. 11, 11d.

Fraxinus praedicta HEER, Fruchtrest einer von HEER, aufgrund von Käferfunden von einer in den Öhninger Süsswasserkalken vorausgesagten Esche, aus HEER 1859, Taf. 104 Fig. 12 und 12b.

die er (1847) – aufgrund des Auftretens von Lytten und Zikaden – vorausgesagt hatte. Den Früchten ordnete er einige gezähnt-randige Fiederblättchen (Fig. 13, 13b–e) zu und nannte die Art *F. praedicta*. HEER verglich seine vorausgesagte Esche mit der rezenten *F. oxyphylla* M. B. aus dem Taurus-Gebirge am Südrand von Anatolien. Eine weitere Esche aus den Öhninger Kalken mit nur zwei Fiederblättchen, *F. deleta*, verglich HEER (1859: 23, Taf. 104 Fig. 14 und 15) – allerdings mit Vorbehalt – mit der asiatischen *F. parvifolia* LAM.

Alnus – Erle

Auch Blattreste von *Alnus* – Erle – sind in den Oberen Schrotzburger Mergeln mit zwei Blättern und in den Öhninger Kalken mit einem einzigen Früchtchen (Taf. 71 Fig. 17, 17b), *A. oeningensis* HEER (Abb. 15), extrem selten. Sodann fanden sich in der paläobotanischen Sammlung der ETH zwei Blattreste, die sich als solche von *Alnus rotundata* GOEPP. erwiesen (HANTKE 1954a, Abb. 16).



Abb. 15. *Alnus oeningensis* aus dem Kesselstein des Öhninger Maarsees. GOEPP. Obere Schrotzburger Mergel, aus HEER 1856, Taf. 71 Fig. 17 und 17b, $\frac{1}{2}$ bzw. $2,5 \times$ nat. Grösse.

Fagus – Buche

Von *Fagus* – Buche – sind aus den Oberen Schrotzburger Mergeln mit *F. attenuata* GOEPP. ebenfalls nur zwei Blattreste bekannt geworden (Abb. 17). In den Öhninger Süsswasserkalken fehlen Buchenblätter und -früchtchen. *F. attenuata* steht der *F. grandifolia* EHRH. des atlantischen Nordamerika nahe. Diese zeigt ein etwas wärmeres Verbreitungsareal als unsere einheimische Buche – *F. sylvatica* L.

Comptonia – Farnmyrte

Von *Comptonia oeningensis* A. BR. (Abb. 18), die schon BRAUN und HEER mit der heute im atlantischen Nordamerika vorkommenden *C. peregrina* (L.) J.M. COULT (Abb. 19) verglichen haben – eine dem Gagelstrauch nahestehende Myricaceen-Gattung – fanden sich in den Öhninger Kalken einige Blätter und in den Oberen Schrotzburger Mergeln ebenfalls nur ganz wenige Blattreste. Ferner bezeichnete HEER in den Öhninger Kalken zwei Blätter als *Myrica (C.) vindobonensis* ETT. (Abb. 18). Im Nachtrag hat HEER (1859: 175) ein weiteres kleines Blatt als *Myrica oeningensis* sowie zwei gut erhaltene Blätter von *M. vindobonensis* (S. 176) aus dem Kesselstein von Öhningen (Unterer Steinbruch) erwähnt. Die beiden Arten *M. (C.) oeningensis* und *M. (C.) vindobonensis* sind wohl als eine Art aufzufassen, mit *C. oeningensis* A. BR. als gültigem Namen, denn auch die Blätter der heutigen *C. peregrina* variieren in Form und Grösse ebenso sehr wie die Blätter der beiden fossilen Arten *C. oeningensis* (Taf. 70 Fig. 1–4, Taf.

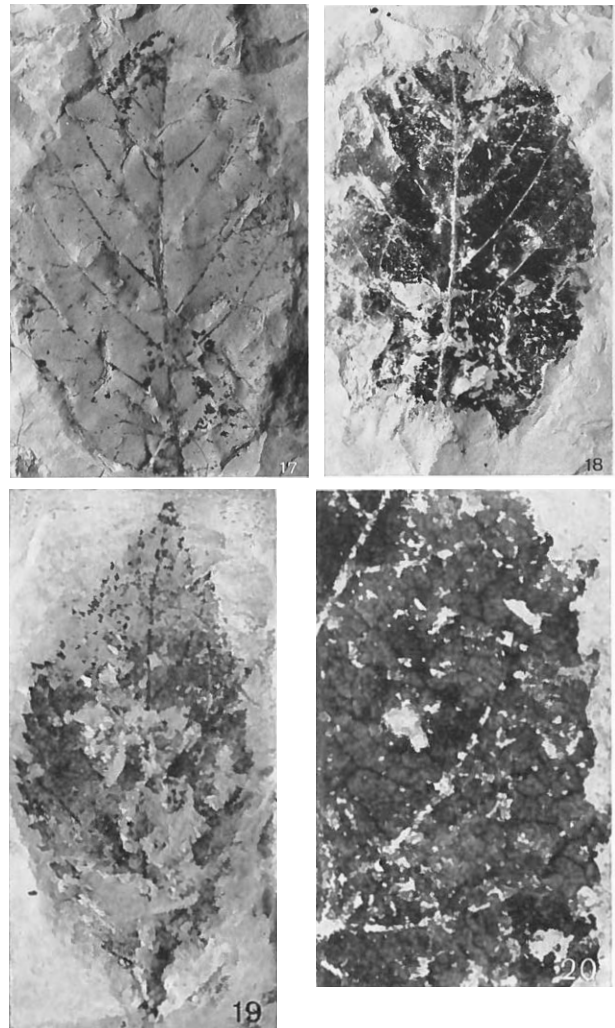


Abb. 16. Blätter von *Alnus rotundata* GOEPP. Obere Schrotzburger Mergel, aus HANTKE 1954a, Taf. 1 Fig. 17, 18: $\frac{1}{2}$, 19 *Alnus* sp.: $1,2 \times$, 20: $3 \times$ nat. Grösse.

150 Fig. 18) und *C. vindobonensis* (Taf. 70 Fig. 5 und 6, Taf. 150 Fig. 16 und 17).

Ostrya – Hopfenbuche

Von *Ostrya* hat HEER (Taf. 73 Fig. 5–10b) aus den Öhninger Kalken zwei Blätter, ovale Fruchthüllblättchen (Fig. 7–9) und den Hohldruck eines Nüsschens (Fig. 10) als *O. oeningensis* (Abb. 20) abgebildet und mit solchen von *O. carpinifolia* SCOP. der südalpinen Täler (Abb. 21) und des südlichen Europa und mit denen der *O. virginiana* (MILL.) K. KOCH des atlantischen Nordamerika verglichen. In den Schrotzburger Mergeln fehlen Reste von Hopfenbuchen.

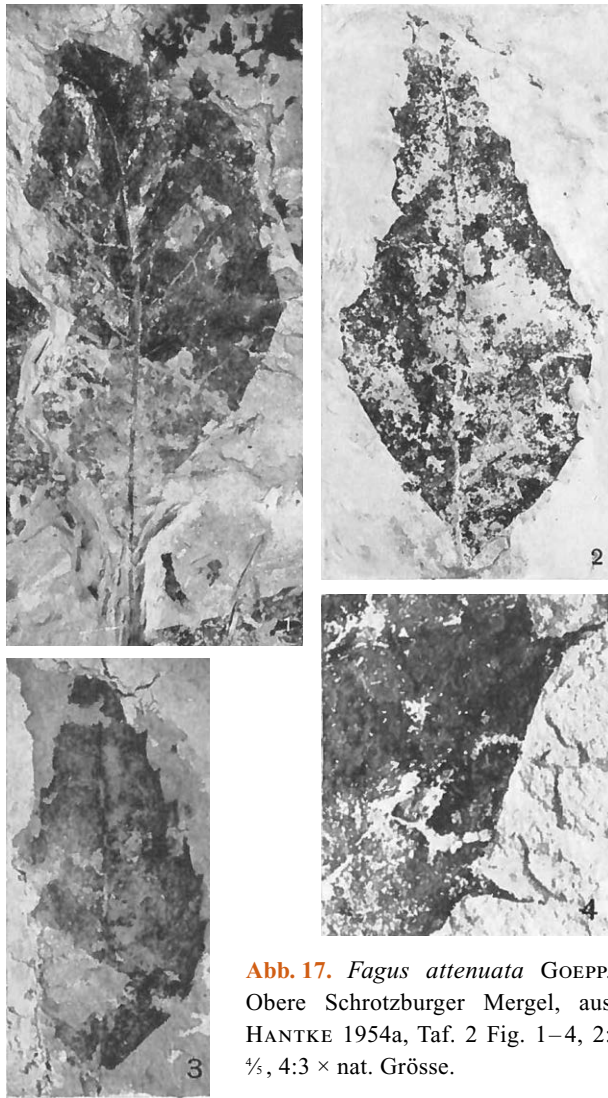


Abb. 17. *Fagus attenuata* GOEPP. Obere Schrotzburger Mergel, aus HANTKE 1954a, Taf. 2 Fig. 1–4, 2: $\frac{1}{5}$, 4: $3 \times$ nat. Grösse.

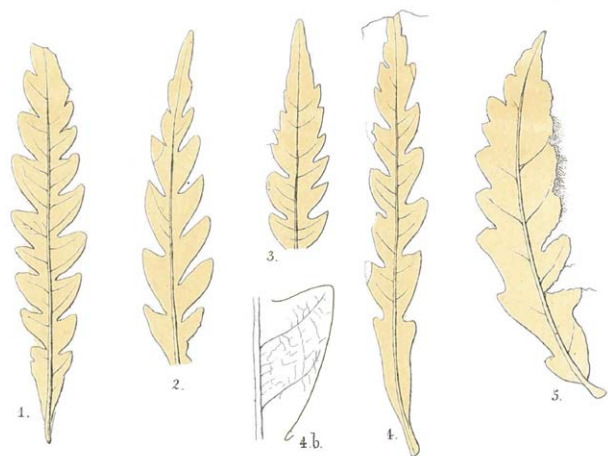


Abb. 18. *Comptonia oeningensis* und *C. vindobonensis* (ETT) = *C. oeningensis* HEER, aus HEER 1856, Taf. 70 Fig. 1–5, $\frac{1}{5}$ nat. Grösse.



Abb. 19. *Comptonia peregrina* (L.) J.M. COULT. – Farnmyrte aus der Familie der Gagelstrauch-Gewächse; ein weiblicher, kugelig und männliche, längliche Blütenstände.

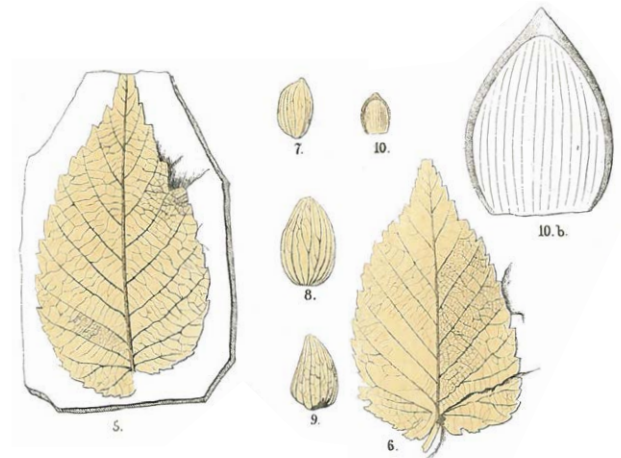


Abb. 20. *Ostrya oeningensis* HEER, Blatt, Fruchthüllblättchen und Hohldruck eines Früchtchens aus den Öhninger Süsswasserkalken, aus HEER 1856, Taf. 73 Fig. 5–10).



Abb. 21. *Ostrya carpiniifolia* SCOP. – heutige Hainbuchenblättrige Hopfenbuche.

Byttneriophyllum tiliaefolium (A. BR.) KNOBL. & KVAČ. Neben den schon von J. J. SCHEUCHZER (1709, 1723) und von A. BRAUN (1836, 1845) botanisch richtig erkannten Resten war es HEER (1855–59), der den grössten Teil der Öhninger und viele Schrotzburger Pflanzen systematisch zutreffend zuordnen konnte. Einige wenige Öhninger Pflanzen konnten – trotz wiederholter Versuche namhafter Paläobotaniker und neuerer Methoden – bis heute nicht zugeordnet werden. Dies gilt für die heute als *Byttneriophyllum tiliaefolium* (A. BR.) KNOBL. & KVAČ. bezeichneten Reste (Abb. 22).

In den Öhninger Süsswasserkalken fanden sich relativ häufig Blätter eines laubwerfenden Gehölzes, die A. BRAUN (1845: 170) – wohl wegen der schiefen Basis – zunächst für Lindenblätter gehalten hat. Weil aber die bogenläufigen Nerven dagegen sprechen, bezeichnete er sie später als *Cordia ? tiliaefolia*. Doch für HEER

(1856: 68) konnten die Blätter auch nicht zu *Cordia* gehören. UNGER (1845) hat solche Blätter zuerst als *Tilia prisca* A. BR. aufgeführt; später (1850, 1851) mit denen von *Dombeya*, einer südafrikanischen Sterculiacee, verglichen. Diese haben eine ähnliche Form und sind ganzrandig; aber auch hier sind die Haupt- und Seitennerven randläufig; der Blattgrund ist gleichseitig. GOEPPERT (1852, Taf. 36 Fig. 3) hat die Art aus dem schlesischen Miozän erwähnt und sie – wie UNGER (1850: 447) – als *Dombeyopsis tiliaefolia* UNG. beschrieben. *Dombeyopsis* ist eine von UNGER in Anlehnung an die rezente *Dombeya* CAV. mit der strauchförmigen *D. tiliacea* (ENDL.) PLANCH. geschaffene fossile Gattung. MASSALONGO (1854) hat nach wenigen Jahren paläobotanischer Forschung in seiner Übersicht über die fossilen Dombeyaceen 28 Arten unterschieden. Dabei stellt wohl der grösste Teil nur verschiedene Blattformen dar. Ihre zeitliche Verbreitung erstreckt sich vom Eozän bis ins jüngere Miozän.

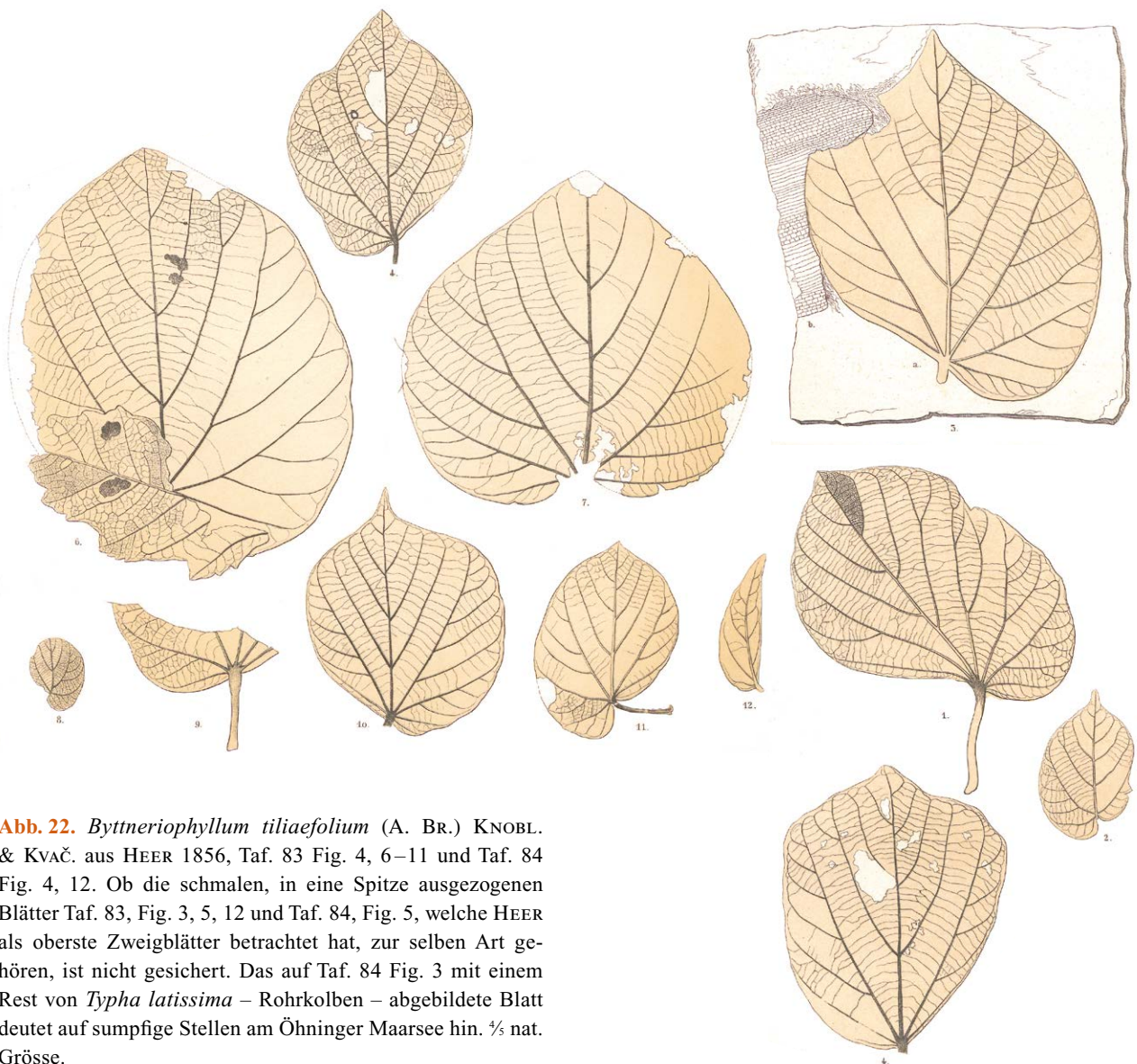


Abb. 22. *Byttneriophyllum tiliaefolium* (A. BR.) KNOBL. & KVAČ. aus HEER 1856, Taf. 83 Fig. 4, 6–11 und Taf. 84 Fig. 4, 12. Ob die schmalen, in eine Spitze ausgezogenen Blätter Taf. 83, Fig. 3, 5, 12 und Taf. 84, Fig. 5, welche HEER als oberste Zweigblätter betrachtet hat, zur selben Art gehören, ist nicht gesichert. Das auf Taf. 84 Fig. 3 mit einem Rest von *Typha latissima* – Rohrkolben – abgebildete Blatt deutet auf sumpfige Stellen am Öhninger Maarsee hin. $\frac{1}{2}$ nat. Grösse.

HEER (1856: 68, Taf. 83 Fig. 3–12, Taf. 84 Fig. 1–6; Taf. 85 Fig. 14; 1859: Taf. 142, Fig. 25 – stammt von Elgg (Museum Winterthur) – und Taf. 152 Fig. 14) hat solche Blätter zu *Ficus* gestellt; längst war ihm die grosse Ähnlichkeit mit manchen Feigenblättern, mit *F. macrophylla* DESF. und mit *F. nymphaeaeifolia* L. aus dem tropischen Südamerika aufgefallen. Später sah HEER (1859: 183) in der Geologischen Reichsanstalt in Wien ein ähnliches Blatt von Bilin in Böhmen als *Dombeyopsis lobata* UNG. und bemerkte, dass dieses wohl auch zu *Ficus tiliaefolia* gehöre.

Neben *Ficus* finden sich nach HEER auch bei *Catalpa*, etwa bei *C. bignonioides* WALT., dem Trompetenbaum des atlantischen Nordamerika, bei *C. fargesii* BUR., *C. japonica* DODE und *C. ovata* G. DON Ostasiens, ähnliche, weniger herzförmige Blattformen mit bogenläufigen Seitennerven. Doch fehlen den Öhninger Blätter die für den Trompetenbaum charakteristischen dreilappigen Blätter, es sei denn, diese verbergen sich unter anderen Gattungen.

Die in den Öhninger Steinbrüchen häufige Art fehlt in der nur 4 km entfernten und wohl altersgleichen Oberen Schrotzburger Fundstelle vollkommen (HANTKE 1954a). Dagegen ist *Ficus tiliaefolia* in den etwa altersgleichen Kohlen von Elgg ZH mit *Glyptostrobus europaeus* – Wasserfichte – dominant. Ebenso hat HEER (1859: 183) *F. tiliaefolia* aus den wohl ebenfalls gleich alten Mergeln der Kohlen gruben von Herdern TG als einzige fossile Pflanze erwähnt. Ferner hat HEER (1856, Taf. 84 Fig 6) *F. tiliaefolia* auch aus dem Aquitan des Tunnel de Lausanne abgebildet, 1853 sowie 1859 ebenfalls von Oberägeri, Oberes Chattien, erwähnt. Aus dem fetten Kalk des Unteren Öhninger Steinbruches, wo Blätter von *F. tiliaefolia* am häufigsten sind, hat HEER (1856, Taf. 85 Fig. 14) ein an einem blattlosen Zweigrest befestigtes «receptaculum», eine «Feige(?)», abgebildet.

SCHIMPER (1871–72) hat HEERS *F. tiliaefolia* zunächst anerkannt, kam aber 1874 auf die Einordnung von *Dombeyopsis aequalifolia* GOEPP. in den Formenkreis von *F. tiliaefolia* zurück. SCHIMPER nahm sie als selbständig an, obwohl er nicht festlegen konnte, ob es eine *Dombeya*, eine *Sterculia* oder eine *Grewia* wäre. FRIEDRICH (1883, 105 f.) begrenzte den Formenkreis von *Byttneriophyllum tiliaefolium* – wie später KNOBLOCH & KVAČEK (1965) und KNOBLOCH (1969) –, obwohl seine Funde nicht hierher gehören. DE SAPORTA (1888) bezweifelte die generische Einordnung und wies die als *Ficus tiliaefolia* (A. BR.) HEER genannten Blätter zur Gattung *Pterospermum*, einem Linden-Gewächs.

FR. MEYER (1919 in KRÄUSEL 1919: 174) hat GOEPPERTS fossile Pflanzen aus Schlesien überprüft, *Dombeyopsis tiliaefolia* UNG., *D. grandifolia* UNG. und *D. aequalifolia* GOEPP. erwähnt und diese als *Büttneria aequalifolia* (GOEPP.) FR. MEYER bezeichnet, zweifelte aber, ob alle schlesischen Funde mit den Blättern HEERS übereinstimmen. 1922 bestätigte DEPAPE die Zuordnung MEYERS, hat aus Prioritätsgründen den älteren Namen *Büttneria tiliaefolia* gewählt. WEYLAND (1934) fand die Art im rheinischen Tertiär und erkannte, dass HEERS Blätter von Öhningen, jene UNGERS von Sotzka und jene von MEYER zum *Büttneria*-Typ gehören.

KRISTOFOVITCH & BORSUK (1939) haben Blätter aus dem Miozän am Irtitsch-Fluss, aufgrund morphologischer Vergleiche mit *Alangium bigoniaefolium* (ROXB.) HARMS, ein laubwerfendes, strauch- bis baumförmiges Gehölz aus der Reihe der Cornales, zu *Alangium* LINDL. mit nur wenigen Arten gestellt: *A. chinense* (LOU.) HARMS, *A. platanifolium* (S. & Z.) HARMS var. *genuinum* WANG. und var. *macrophyllum* WANG. Später hat KRISTOFOVITCH (1957: 412, Fig. 404/1) ein oberkretazisches *FICUS tiliaefolia*-ähnliches Blatt mit feinsten Randzähnen als *Tilia tza-gajanica* KRYSHT. abgebildet. Bei der chinesischen *Tilia tuan* Szysz. finden sich vergleichbare Blätter. KNOBLOCH & KVAČEK (1965a, b) und KNOBLOCH (1969) haben bei der morphologischen Überprüfung rezenter *Alangium*-Blätter festgestellt, dass die Übereinstimmung bei weitem nicht so gross ist, wie sie auf den ersten Blick erscheint. M. G. GORBUNOVs anatomische Untersuchung von *Alangium* (in GIVULESCU 1959) hat gezeigt, «dass grundsätzliche Unterschiede» zu dieser Gattung bestehen.

BERGER (1950) hat für die Art in der unterpliozänen Flora von Brunn-Vösendorf den Namen *Ficus tiliaefolia* wieder aufgegriffen, sie in der sarmatischen Flora von Wien (1953) unter den ? Sterculiaceen eingeordnet und 1955 ein weiteres Blatt von Brunn-Vösendorf als *Dombeyopsis grandifolia* UNG. benannt, ihre ungeklärte Stellung hingenommen, aber sie gleichwohl als Gehölz des feucht-warmen Waldes gedeutet.

Da solche Blätter in den Schrotzburger Mergeln völlig fehlen, war die Art weder für HANTKE (1954) noch für NÖTZOLD (1957) ein Thema.

GIVULESCU (1959) hat – nach Durchsicht der bisherigen Zuordnungen – beim Studium der pannoni-schen Flora von Sinersig, Banat, eine Lage von 5–6 cm einer über 12 ha sich erstreckende Blätterkohle entdeckt, die nur aus Blättern von *Ficus tiliaefolia* (A. BR.) HEER besteht. Dies führte ihn dazu, dass die Zuweisung zur ostindisch-chinesischen Liane *Büttneria aspera* COLEBR. hinfällig ist, da ihr die Bäume

fehlen, um sich daran hochzuranken. Wohl fand er in der Blätterkohle Reste einer Liane, nicht aber die «Spur eines Waldes, in dem sie gewachsen sein konnte.» Auch die 20–25 cm mächtige Hangend-Abfolge mit geringer Vertretung von *Alnus* – Erle – und *Betula* – Birke – und 15–20% *Glyptostrobus* – Wasserfichte – ist im Vergleich zu den für eine Liane gehaltenen Blattresten ökologisch nicht vertretbar. GIVULESCU kam so zum Schluss, dass die bisherigen Zuordnungen zu *Ficus*, *Byttneria*, *Grewia*, *Pterospermum* und *Alangium* aufzugeben sind. Als Gattungsname hat er *Byttneriophyllum* vorgeschlagen, aber betont, dass die Ähnlichkeit mit *Byttneria* nur eine rein morphologische sei und die tatsächliche Zugehörigkeit noch offen wäre, was auch KIRCHHEIMER (1957) mit «dass die betreffenden Reste keine sichere Bestimmung gestatten» festgehalten hat.

KNOBLOCH & KVAČEK (1965a, b) haben die Blätter von *Ficus tiliaefolia* (A. BR.) HEER sorgsam analysiert und als *Byttneriophyllum* in die Nähe von *Byttneria*, einer artenreichen pantropischen Sterculiacee gestellt; vor allem *B. aspera* habe «symmetrische Blätter mit sehr ähnlichem Nervenverlauf, komme aber für einen direkten Vergleich nicht in Frage» (KNOBLOCH 1969: 117). Sodann möchte er (S. 115) den von HEER (1859, Taf. 133 Fig. 6) als *Phaseolites oeningensis* abgebildeten Fruchtrest zu *Byttneriophyllum* stellen. KNOBLOCH betrachtete *Ficus tiliaefolia* als eine *Byttneria* nahestehende Art des feuchten bis sumpfigen Milieus. Dies trifft für HEERS Fundorte Elgg, Herdern und z. T. auch für den Rand des Öhninger Maarsees zu. Beziehungen zu *F. nymphaeifolia* L. und *F. odorata* (BL.) MERR. sowie zu *Grewia plagiophylla* K. SCH. sind nach KNOBLOCH unberechtigt.

KRAMER (1974) hat *Byttneriophyllum tiliaefolium* aus den Inden-Schichten von Frechen bei Köln erwähnt, hielt den Vergleich mit *Byttneria* und *Ficus* für unberechtigt; eher kämen Menispermataceen in Betracht, so das nordamerikanische *Menispermum canadense* L. und das ostasiatische *Sinomenium acutum* (THUNB.) REHD. & WILS. Ferner nannte KRAMER *Alangium platanifolium* und die ostasiatische Sterculiacee *Firmiana simplex* (L.) W.F. WIGHT.

GREGOR (1983: 16, Taf. 2 Fig. 4) fand *Byttneriophyllum tiliaefolium* (A. BR.) KNOBL. & KVAČ. in Steinheim am Albuch (Baden-Württemberg) und KOVAR-EDER (1988: 54, Taf. 12 Fig. 6) ein Blatt als *B. tiliaefolium* (A. BR.) KNOBL. & KVAČ. ? Sterculiacee in Grossenreith, Kobernausser Wald (Oberösterreich).

BELZ & MOSBRUGGER (1994) haben aus den mittleren Inden-Schichten von Frechen erneut 36 asymmetrische Blätter (Taf. 5 Fig. 6, Taf. 11 Fig. 2–3, Abb. 37a–d) beschrieben:

«Blattstiel teilweise bis 20 mm erhalten... Blattrand ganzrandig mit asymmetrischer Basis und acuminatem Apex und Blattindices. Blattaderung actinodrom (strahlig) mit drei Hauptadern, kann auch als brochidodrom (kurzläufig) bezeichnet werden. Mittlere Hauptader schwach, gerade, unverzweigt. Seitliche Hauptader gebogen, bildet mit der mittleren Hauptader einen Winkel von 20–50°. Sekundärnerven ebenfalls gebogen, verbinden sich brochidodrom mit den folgenden Sekundärnerven. Tertiäre Adern verlaufen in rechten oder nahezu rechten Winkeln zu den sekundären Adern und gabeln sich z.T. einmal. Adern höherer Ordnung bilden ein orthogonales Netz. Nervillen nicht ausgebildet oder einfach mit geradem Verlauf oder einmal gegabelt. Areolen gut entwickelt und vier- oder fünfeckig.

Kutikularbefund: Obere Epidermis leicht punktiert, Zellen isodiametrisch, pentagonal bis polyedrisch, 6–15 µm gross, Wände gerade bis leicht gebogen; vereinzelt mit 15–18 µm grossen Trichombasen, radial von Zellen umgeben... Untere Epidermiszellen ähnlich denen der oberen mit 12–18 µm etwas grösser. Spaltöffnungen anomocytisch (gesetzlos-zellig, ohne Nebenzellen) nicht orientiert, 24–27 µm lang, 12–15 µm breit, mit Büschelhaaren, von denen auf der Epidermis oft nur Löcher im Ansatzbereich vorhanden sind.»

Makroskopische und Kutikular-anatomische Merkmale stimmen mit *Byttneriophyllum tiliaefolium* in KNOBLOCH & KVAČEK (1965a, b) überein. «Eine relativ sichere Zuordnung zu den Sterculiaceae kann aufgrund der Büschelhaare auf der Epidermis angenommen werden». Solche treten in dieser Form aber auch bei Tiliaceae auf, sodass auch Tiliaceen, eine Unterfamilie der Malvaceen, nicht ganz auszuschliessen sind.

Byttneriophyllum tiliaefolium ist vor allem im mittleren und jüngeren Miozän vertreten, ältestes Auftreten: Mittel-Eozän von Messel, Hessen (WILDE 1989), jüngstes: Pliozän von Rumänien (KNOBLOCH & KVAČEK 1965a, b, KNOBLOCH 1969). Es ist denkbar, dass diese Art im Laufe des Messinian, einer ausgesprochenen Trocken- und Kaltzeit im obersten Miozän, ausgestorben ist. Damals trockneten grosse Teile des Mittelmeers aus (K. HSÜ 1976, 1982, 1983, 1984), da auch der Meeresspiegel des Atlantiks deutlich abgefallen war. Dies ist weit wahrscheinlicher als ein allenfalls mehrmaliges Hin und Her durch Plattenverschiebungen.

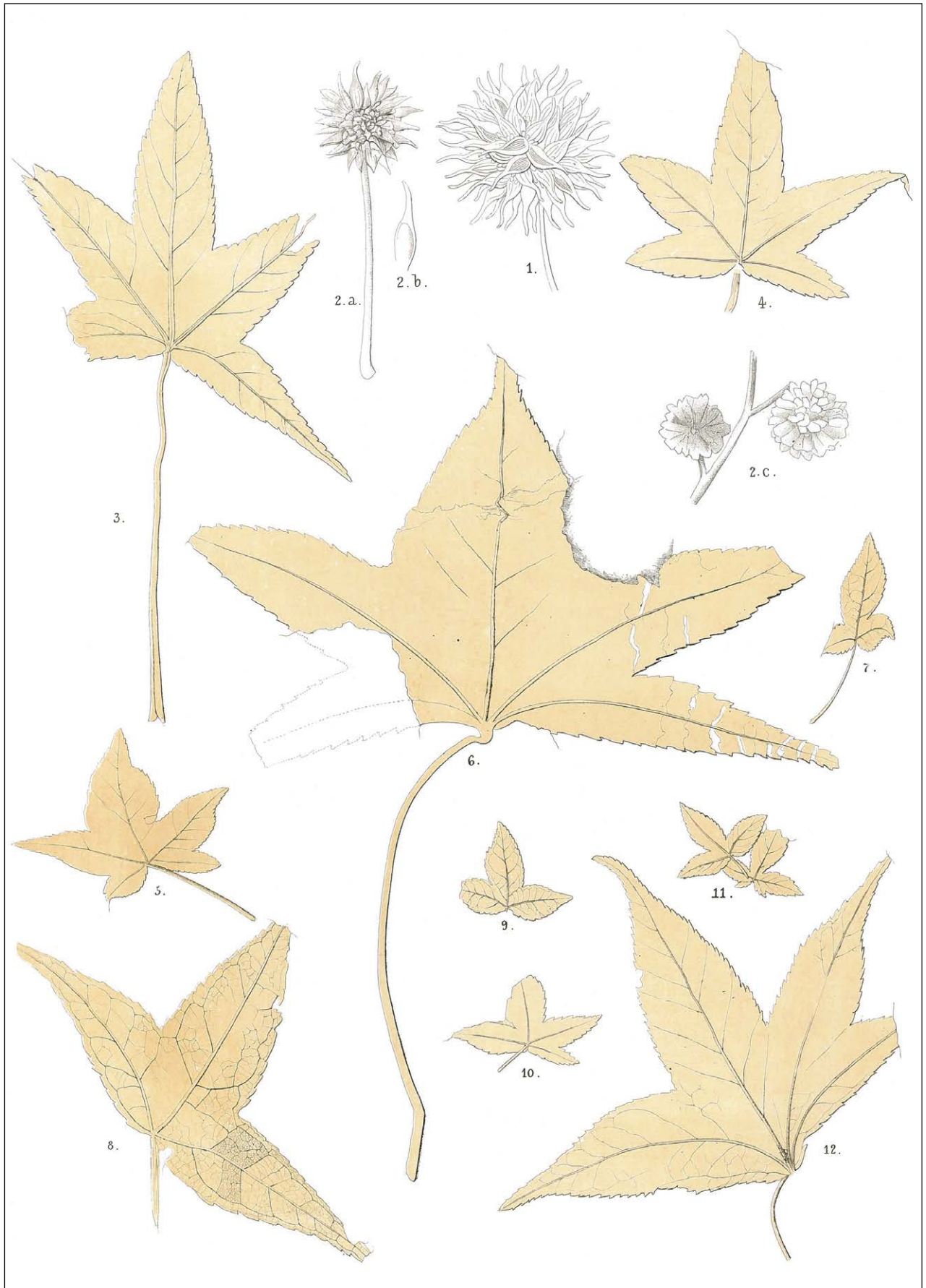


Abb. 23. *Liquidambar europaea* A. BR., kugeliges Fruchtzäpfchen aus den Öhninger Süßwasserkalken, aus HEER 1856, Taf. 51 Fig. 2 a, b und Blätter aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HEER 1856, Taf. 51 Fig. 8 und 12. $\frac{1}{5}$ nat. Grösse.

5. Der Schrotzburger Auenwald

Die häufigsten Baumarten im Schrotzburger Auenwald: *Liquidambar* – Amberbaum, *Ulmus* – Ulme, *Platanus* – Platane

Die grosse Anzahl an schichtweise ausgezählten Schrotzburger Resten des oberen Pflanzenlagers erlaubte die Veränderungen des einstigen Auenwaldes zu rekonstruieren (HANTKE 1954a: 92–96). Die beiden nächsten heutigen Verwandten der mit über 3300 Resten häufigsten Schrotzburger Art – *Liquidambar europaea* A. BR. – Amberbaum (Abb. 23) – sind *L. orientalis* MILLER des östlichen Mittelmeergebietes und *L. styraciflua* L. des atlantischen Nordamerika. *L. styraciflua* – gepflanzt am rechten Zürichseeufer – fruchtet schon bei einem Jahresmittel von 9,5°C, und ihre Samen wachsen zu stattlichen Bäumen heran.

Zusammen mit *Ulmus longifolia* UNG. – Ulme mit über 3100 Resten (Abb. 24 und 25) – und *Platanus aceroides* GOEPP. – Platane, mit gegen 2400 Resten (Abb. 26) – war *Liquidambar europaea* ein waldbildender Baum im Schrotzburger Auenwald. *U. longifolia* – von HEER (1859) und STAUBER (1937) noch als Hagebuche, *Carpinus pyramidalis* UNG. bezeichnet und für eine Hagebuche gehalten – ist fast gleich häufig wie *L. europaea*, während *Platanus aceroides*



Abb. 24. *Ulmus longifolia* UNG., beblätterter Zweigrest aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HANTKE 1954a, Taf. 7. ½ nat. Grösse.

nur etwa auf einen ⅓ so hohen Anteil kommt wie die Reste von Amberbaum und Ulme (HANTKE 1954a); doch ist die Anzahl der Blätter *nur sehr bedingt* ein Mass für die Anzahl Bäume im Auenwald. Ein Platanen-Blatt ist deutlich grösser als ein Amberbaum- oder ein Ulmen-Blatt. Damit dürfte wohl die Platane im Schrotzburger Auenwald gar deutlich häufiger vorgekommen sein als Amberbäume und Ulmen.

Zugleich ist die fossile *Ulmus longifolia* mit einem Zweigrest erhalten (HANTKE 1954a: Taf. 6 Fig 12), an dem etwas proximal ein Blatt vom Typ *U. brauni* sowie stärker proximal solche von *U. minuta* sprossen. Damit zeigt sich, wie wichtig das Sammeln von Zweigresten ist; denn nur Blätter an Zweigen können letztlich – zusammen mit den vielen im Herbst gefallenen Einzelblättern – belegen, welche Blattformen – zusammen mit dem zugehörigen Fruchttyp – effektiv zu einer biologischen Art zusammengehören.

Dass HEER seinerzeit in den Süsswasserkalken von Oehningen deutlich mehr Zweigreste vorfand – er hat über 25 abgebildet – als sich im Schrotzburger Tobel mit insgesamt 4 Zweigen fanden, hängt damit zusammen, dass Winde ihre Macht an Bäumen am Rande des Maarsees weit besser auslassen konnten als im geschlosseneren Schrotzburger Auenwald. Leider ist über die von HEER für seine Flora Tertiaria Helvetiae (1855–59) zur Verfügung gestandene Anzahl an bestimmbarer Oehninger Resten kaum etwas bekannt, doch dürfte diese nicht viel grösser gewesen sein als STAUBERS Schrotzburger Ausbeute.

Für die wärmeliebenderen Arten des Schrotzburger Auenwaldes wie *L. europaea*, *Ulmus longifolia*, *Platanus aceroides* und *Acer angustilobum* – Schmal-lappiger Ahorn (Abb. 6), S. 12, ein ausgestorbener Rot-Ahorn, dürfte das Klima eher kühl gewesen sein.

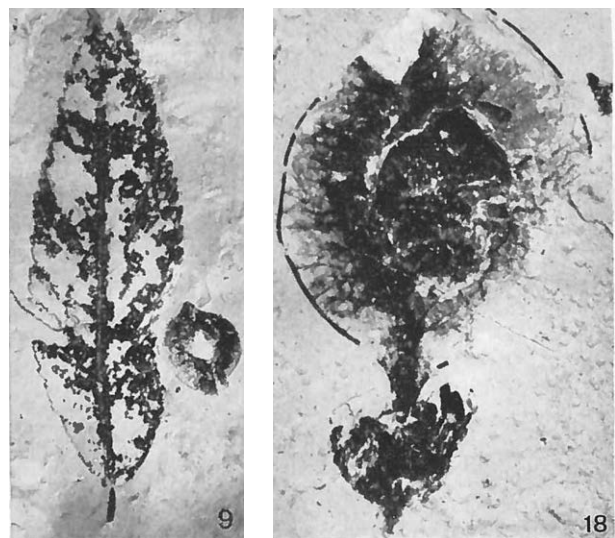


Abb. 25. *Ulmus longifolia* UNG., Blatt mit Früchtchen und Einzelfrüchten mit Kelchrest, aus HANTKE 1954a, Taf. 6 Fig. 9 und 18. 4 × nat. Grösse.

**Weitere waldbildende Arten im Schrotzburger Auenwald und am Oehninger Maarsee:
Salix – Weide, *Cinnamomum* – Campherbaum,
Persea – Avocado**

An weiteren waldbildenden Arten seien genannt:
Salix lavateri A. BRAUN – Lavaters Weide (**Abb. 27**)
 –, *Cinnamomum polymorphum* (A. BRAUN) HEER –
 Campherbaum (**Abb. 28 und 29**) – und *Persea prin-*
ceps (HEER) SCHIMPER – Avocado (**Abb. 30**). Diese
 dürften sich sowohl am Öhninger Maarsee wie auch
 im Schrotzburger Auenwald wohl gefühlt haben.

In den Schrotzburger Mergeln waren die Blätter von
Cinnamomum polymorphum (A. BR.) HEER – Cam-
 pherbaum, ein die Nähe des Wassers bevorzugendes
 Lorbeer-Gewächs – nur etwa $\frac{1}{4}$ so zahlreich wie jene
 der Ulme; zudem sind ihre Blätter im Durchschnitt
 deutlich kleiner als die in zeitlich und klimatisch der
 Oberen Meeresmolasse entsprechenden, ufernahen
 Flussablagerungen eingebetteten Reste. Ebenso sind

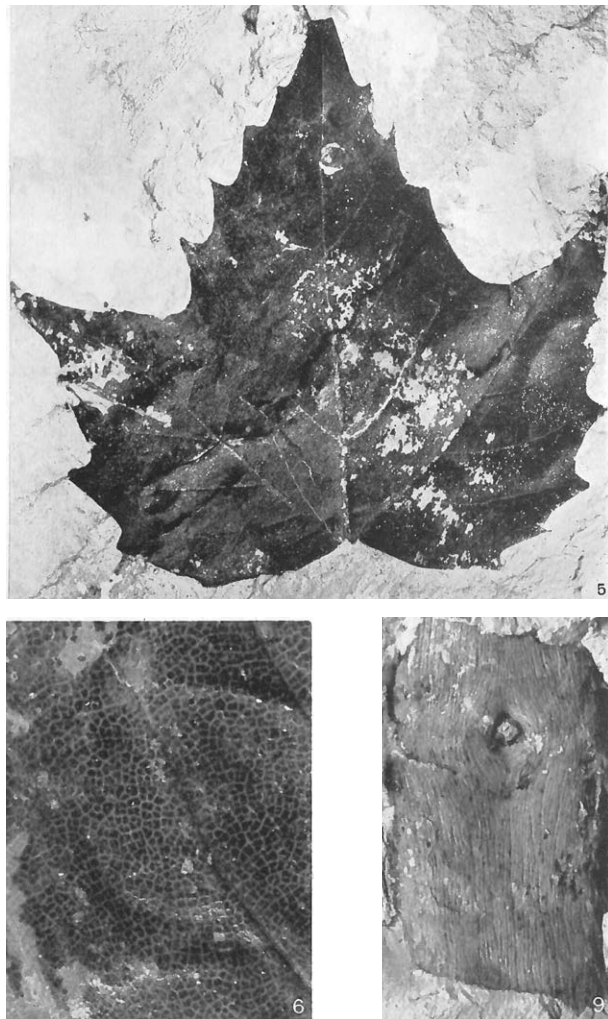


Abb. 26. *Platanus aceroides* (GOEPP.), Blatt, Blattausschnitt mit Nervennetz und Rindenstück aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HANTKE 1954a, Taf. 9 Fig. 5, 6 und 9. $\frac{3}{4}$ nat. Grösse.

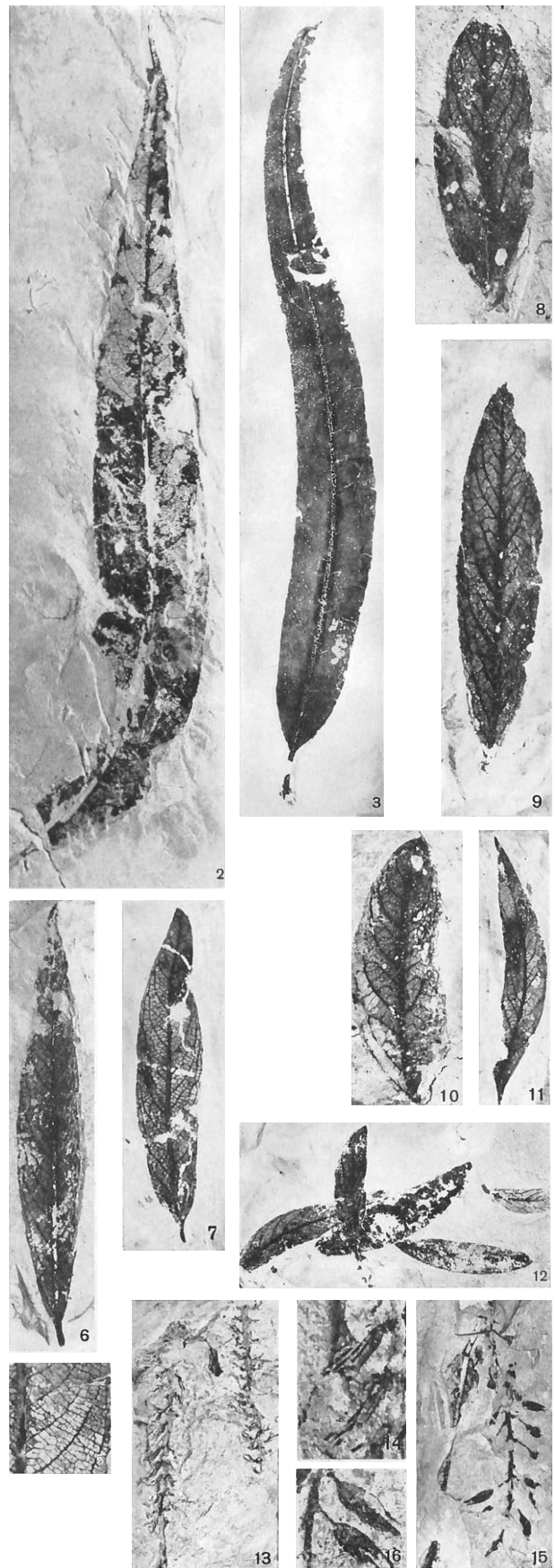


Abb. 27. *Salix lavateri* A. BR. aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HANTKE 1954a, Taf. 5. Fig 2 und 3: $\frac{3}{4}$ nat. Grösse, Fig 5: $2\times$, übrige Reste ♂ und ♀ Blütenkätzchen: nat. Grösse.



Abb. 28. *Cinnamomum polymorphum* (A. BR.) HEER – Campherbaum aus den Öhninger Süßwasserkalken, Zweige, Blätter, Blüten, Blüten- und Fruchtstände (Fig. 1–26), die schon HEER 1856, Taf. 94 mit dem rezenten *C. camphora* NEES & EBERM. (Fig. 27–34) verglichen hat. $\frac{1}{2}$ nat. Grösse. *Cinnamomum camphora* ist heute in Ostasien verbreitet, steigt auf Taiwan bis auf 1800 m und erträgt leichten Frost.

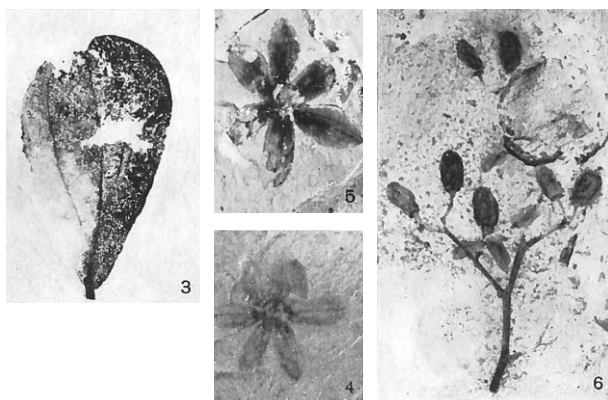
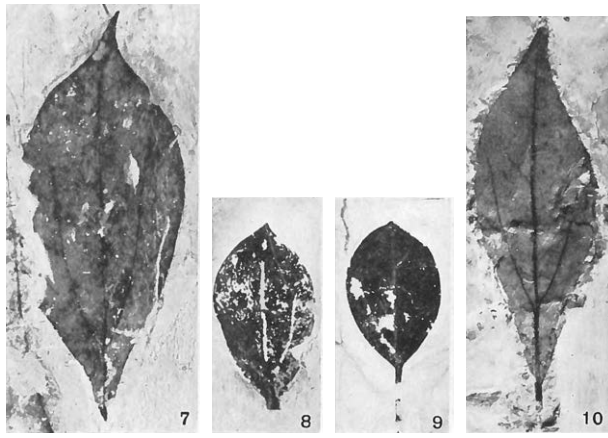


Abb. 29. *Cinnamomum polymorphum* (A. BR.) HEER – Campherbaum aus HANTKE 1954a, Taf. 10 Fig. 7–10: verschiedene Blatttypen (nat. Grösse), Taf. 11 Fig. 1: beblätterter Zweig, $\frac{1}{2}$ nat. Grösse, Fig. 3: verletztes und wieder verheiltes Blatt, Fig. 4 und 5: Blüten, Schrotzburg, Oberes Pflanzenlager ($3\times$ nat. Grösse), Fig. 6: Fruchtstand, Öhninger Süswasserkalk. $\frac{1}{2}$ nat. Grösse.

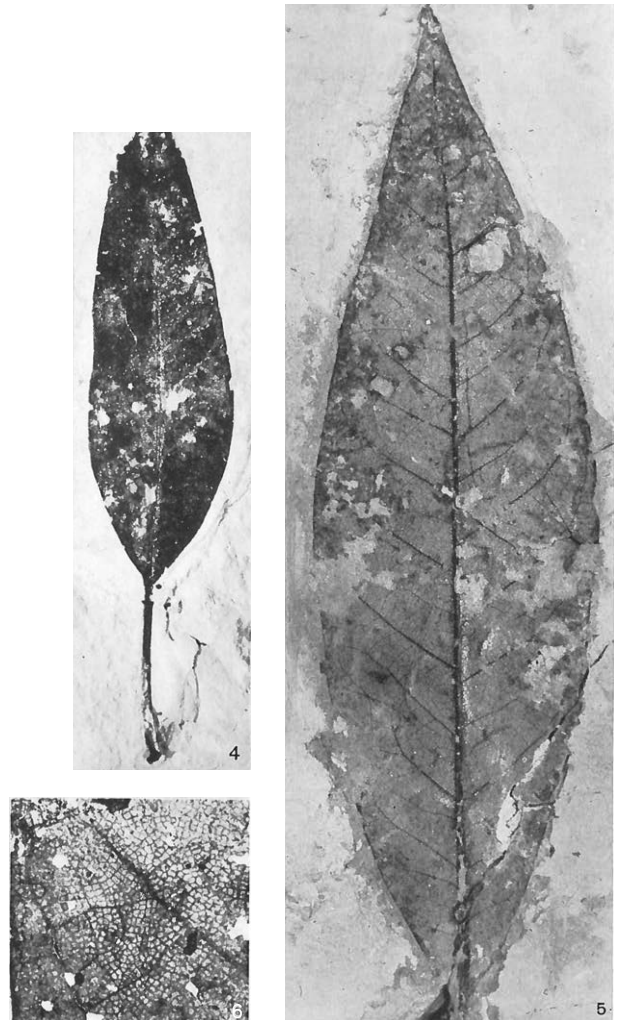


Abb. 30. *Persea princeps* (HEER) SCHIMPER – Avocado aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HANTKE 1954a, Taf. 10 Fig. 4–6. Fig. 6: Blattausschnitt, Filmpräparat mit Nervillennetzwerk. Fig. 4 und 5 $\frac{1}{2}$ nat. Grösse, Fig. 6: $3\times$ nat. Grösse.

sie im Durchschnitt etwas kleiner als jene in den Öhninger Süswasserkalken.

Am Öhninger Maarsee war *Cinnamomum polymorphum* – zusammen mit *Acer tricuspidatum* A. BR., *Gleditsia podocarpa*, *Populus mutabilis* und *P. populina* – im Ufergehölz dominant, während *A. tricuspidatum* in den Schrotzburger Mergeln ausserordentlich zurücktrat und *Populus mutabilis* im oberen Pflanzenlager gar fehlte.

Zusammen mit Amberbaum, Ulmen, Platanen, Pappeln, Schmallappigem Ahorn machen die Campherbäume in den Schrotzburger Mergeln gegen 90% der Reste aus, die durch den Wind ins Altwassergeweht und durch sanfte Strömungen zusammenschwemmt wurden.

Die folgenden Versteinerungen von fossilen Wasserpflanzen belegen ein damaliges seichtes Gewässer: ein Schwimmfarn, eine fossile Hornblatt-Art und ein Froschbiss-Gewächs.

Vom umgebenden Auenwald wurden auch Blattreste in dieses Altwasser eingeweht und im Schlamm eingebettet.

Diese Einbettung verhinderte die Luftzufuhr und damit die Verwitterung, was eine wichtige Voraussetzung war für die darauffolgende Fossilienbildung.

Wasserpflanzen: *Salvinia* – Schwimmfarn, *Ceratophyllum* – Hornblatt, *Hydromystria* – ein Froschbissgewächs

Dass die Schrotzburger Flora in einem Altwasser abgelagert wurde, das von einem Auenwald umgeben war, belegen die regellose Einbettung der Blattreste sowie drei Arten von Wasserpflanzen: *Salvinia formosa* HEER – Schwimmfarn (Abb. 31) –, *Ceratophyllum schrotzburgense* HANTKE – eine fossile Hornblatt-Art (Abb. 32) – und *Hydromystria expansa* (HEER) HANTKE – ein mittelmiozänes Froschbiss-Gewächs (Abb. 33). Einige wenige linsenförmige Anhäufungen von Blättern zeugen von Hochwassern. Wie in den Öhninger Kalken dürften auch die recht seltenen Blätter von Erle, Esche, Buche und Rose in den Schrotzburger Mergeln die Nähe ihrer südlichen Vorkommensgrenze bekunden.

Die Flora der Öhninger Fundstätten hat bereits HEER mit derjenigen im atlantischen Nordamerika verglichen, insbesondere in den Staaten Virginia, Carolina und Georgia, und in den Sümpfen am Mississippi. Dabei glaubte HEER allerdings noch an einen zwi-

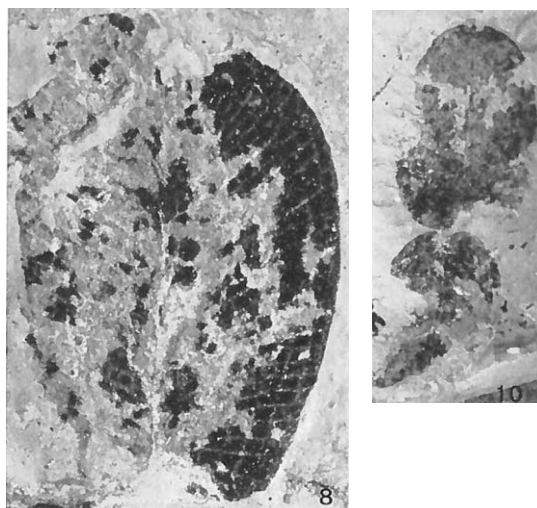


Abb. 31. *Salvinia formosa* HEER – Schwimmfarn aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, Schwimmblätter aus HANTKE 1954a, Taf. 1 Fig. 8, 2,5× nat. Grösse und 10, nat. Grösse.



Abb. 32. *Ceratophyllum schrotzburgense* HANTKE – Hornblatt aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, Sprossfragment und einzelner Blattquirl, aus HANTKE 1954a, Taf. 11 Fig. 9 und 10, nat. Grösse.

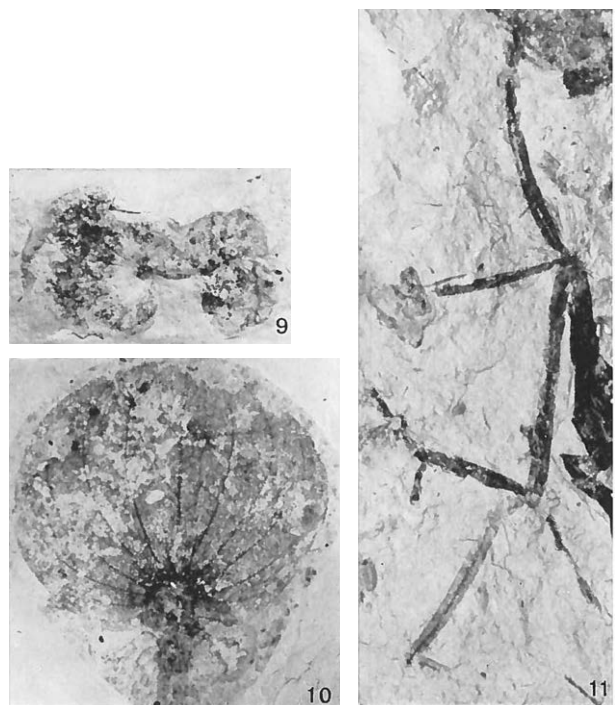


Abb. 33. *Hydromystria expansa* (HEER) HANTKE – ein Froschbiss-Gewächs aus den Oberen Schrotzburger Mergeln, aus HANTKE 1954a, Taf. 14 Fig. 9–11. Fig. 9 und 10 nat. Grösse, Fig. 11, 1/2 nat. Grösse.

Aufgrund der Fossilien aus den Öhninger Fundstätten lassen sich Rückschlüsse ziehen zum damals herrschenden Klima. Je enger die Verwandtschaft der fossilen Formen zu heutigen Arten ist, desto besser lassen sich die damaligen Umweltbedingungen ableiten (**Abb. 34**).

Aus den Klimaansprüchen von noch lebenden (rezenten) Vergleichsarten lassen sich die Klimaverhältnisse vor gut 13 Millionen Jahren ableiten: Es war ein warmgemäßigtes Regenklima mit milden Wintern und nicht allzu heißen Sommern.

Klimatisch am ähnlichsten sind heute die südlichen Staaten von Nordamerika und die atlantischen Inseln, insbesondere Madeira.

schen Europa und Nordamerika versunkenen, in Inseln aufgelösten Kontinent Atlantis, der die Distanz zwischen Europas Westen und dem atlantischen Nordamerika verringert hätte, was ALFRED WEGENER durch seine Theorie der Kontinentalverschiebung korrigiert hat.

Die Flora um den Öhninger Maarsee dürfte aber – wohl wegen des schon von ARNOLD ESCHER erkundeten Schlot-Tuffs – einen etwas thermophileren Charakter gehabt haben als jene des Schrotzburger Auenwaldes. Dagegen mag das Klima im 50 m tieferen Unteren Schrotzburger Pflanzenlager, etwas näher an der sicher wärmeren Oberen Meeresmolasse gelegen, ebenfalls etwas wärmer gewesen sein. Zwischen den beiden durch 50 m Glimmersande getrennten Schrotzburger Pflanzenlagern könnte ein Klimasprung von 1–2°C im Jahresmittel erfolgt sein. Dadurch wäre *Populus mutabilis* im Oberen Schrotzburger Pflanzenlager allenfalls in einer Kühlzeit ausgelöscht worden, ist doch ihre rezente Vergleichsart *P. euphratica* heute auf eher wärmere bzw. trockenere Bereiche beschränkt. In den Öhninger Schichten im Schrotzburger Tobel hätte so zwischen dem unteren und dem oberen Lager eine leichte, durch Pappel-Arten belegte Verschlechterung des Klimas stattgefunden. Das im Vergleich zum eher sommerkühlen Schrotzburger Auenwald wohl etwas wärmere Klima des Öhninger Maarsees genügte noch für das Fortkommen von *P. mutabilis*. Innerhalb des Oberen Schrotzburger Pflanzenlagers hat sich die Bewaldung durch Überflutungen jeweils – wohl weit bescheidener – verändert.



Abb. 34. Die nachgebildete Lebenswelt des nördlichen Alpenvorlandes vor gut 13 Millionen Jahren, rekonstruiert nach der reichen Fossilienfundstelle von Öhningen am Untersee (Baden-Württemberg). Ölgemälde von R. HOLZHALB von 1871, im Erdwissenschaftlichen Forschungs- und Informationszentrum *focusTerra*.

Mehrere fossile Arten, die mit heutigen aus Mittel- und Südeuropa sowie aus dem mittleren atlantischen Nordamerika vergleichbar sind, treten in den Öhninger Kalksteinbrüchen und im Oberen Schrotzburger Pflanzenlager nur in ganz wenigen Exemplaren auf. Daher kommt der Gedanke auf, dass diese Baum- und Strauch-Arten wohl nahe an ihrer südlichen Vorkommensgrenze, um 14–15 °C, wuchsen. Dieser Jahrestemperatur-Mittelwert stimmt mit den seinerzeit (HANTKE 1954) ermittelten 16 °C, reduziert auf Meereshöhe, gut überein.

6. Zum Paläorelief des Schiener Berges

Ausser den fossilen Wäldern geben die pflanzenführenden Schichten auch Hinweise zum Paläorelief des Fundstellengebietes. Die Schrotzburger Mergel des oberen Pflanzenlagers liegen heute um 585 m, die 4 km weiter südöstlich gelegenen Öhninger Kalke im Oberen Steinbruch (Ober Salen) um 565 m. Die Kalke des Unteren Steinbruches (Ziegelhof) wurden durch die bereits von STAUBER (1935) erkannte Salen-Störung tiefer gesetzt; sie liegen heute bei 535 m. Im Schiener Berg fällt die Obere Süsswassermolasse (Langhien–Serravallien) mit 0.6° nur ganz leicht gegen SE ein. Andererseits erfolgte die NNW-gerichtete Sediment-Schüttung ebenfalls extrem sanft, sodass das Einfallen nahezu kompensiert worden ist. Die beiden Fundstellen, oberes Pflanzen-

lager im Schrotzburger Tobel und Oberer Steinbruch der Öhninger Süsswasserkalke, kommen damit praktisch auf das gleiche Niveau zu liegen (ZAUGG et al. 2008) und wären so nahezu gleich alt (Abb. 35). Die Überlagerung der warmzeitlichen Öhninger Schichten durch die Hörnli-Schüttung – am Seerücken bis 5 m mächtige Nagelfluhbänke mit nicht eingeregelt, sondern wirt durcheinander liegenden Kalk- und Dolomit-Geröllen – hat noch den östlichen Schiener Berg erreicht. Die Nagelfluhen in der Oberen Süsswassermolasse deuten damit noch am Schiener Berg eine Schüttung durch Muren, also eine relativ kalte Kühlzeit an. Weiter im Süden, im schüttungsnahen Hörnligebiet, sind die flacheren Gerölle noch deutlicher nicht dachziegelartig eingeregelt (Abb. 36), also anders als in heutigen Flussbetten (Abb. 37). Diese Zeit dürfte der Schüttung der Jüngeren Juranagelfluh in der badischen Oberen Süsswassermolasse entsprechen, als der Schwarzwald schon eine markante Firnkappe trug.

Die Nagelfluhbänke in der Hörnli-Schüttung zeigen somit, dass die mittlere Jahrestemperatur auch in der mittelmiozänen Oberen Süsswassermolasse deutlich geschwankt hat. Dies zeichnet sich abgeschwächt selbst in der Oberen Meeressmolasse ab. Damit sind über einen Zeitraum von gegen 20 Millionen Jahren bedeutende Klimaschwankungen mindestens recht wahrscheinlich.

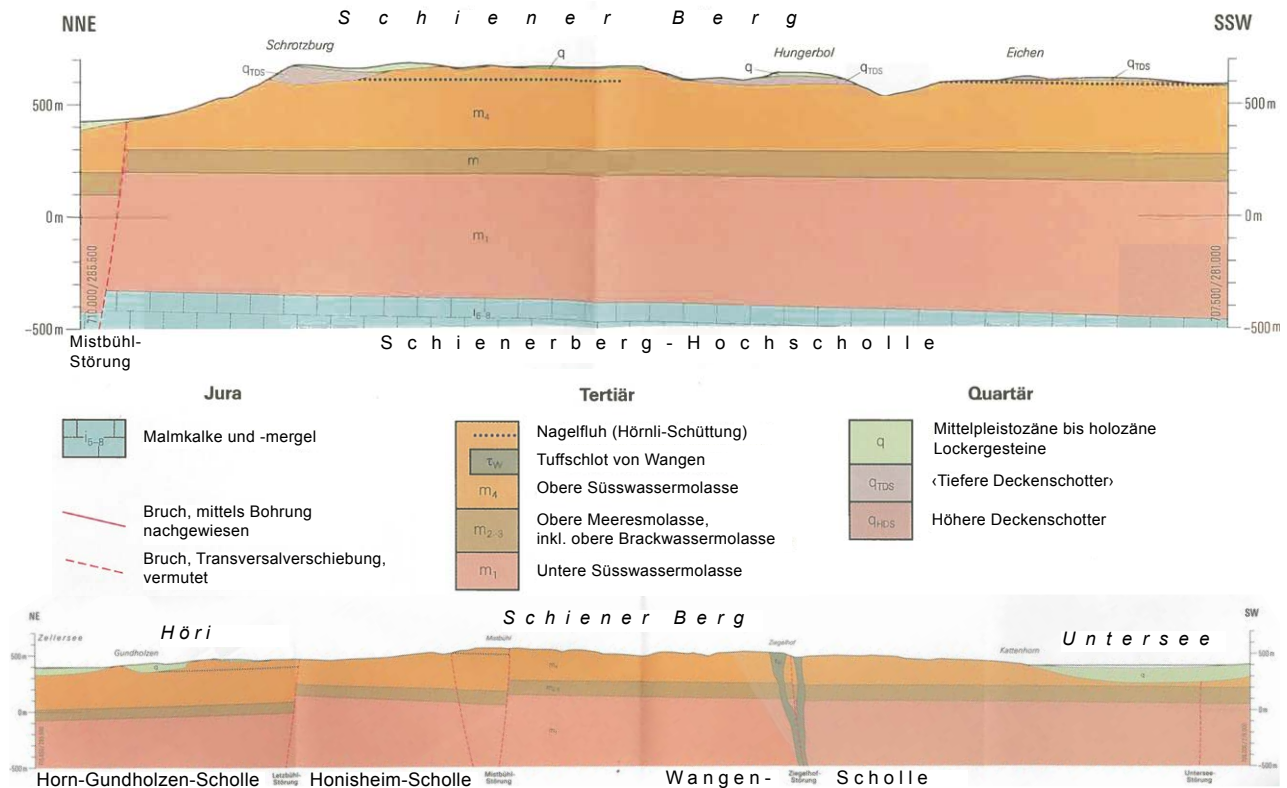


Abb. 35. Profile durch den Schiener Berg (Kt. Schaffhausen und Baden-Württemberg) 1: 50'000, mit den Pflanzenfundstellen Öhningen (Oberer und Unterer Steinbruch) und Schrotzburg, Profil 1 und 2, aus A. ZAUGG & R. BURKHALTER in ZAUGG et al. 2008.



Abb. 36. In einer Nagelfluhbank wirt durcheinander liegende Gerölle: Anzeichen für Ablagerung in einer Mure, Pfeil: Fließrichtung.



Abb. 37. In einer Nagelfluhbank dachziegelartig eingeregelter Gerölle: Anzeichen für Ablagerung in einem Fluss, Pfeil: Fließrichtung.

Durch C. BÖHNDEL (1914), SCHMIDLE (1926), STAUBER (1935, 1937), später durch RUTTE (1951, 1956a, b), SCHREINER (1973, 1992), SZENKLER (1997), FREY et al. (2004), HANTKE (2007) und ZAUGG & GEYER et al. (2008) wurde auch die Geologie um Öhningen den neuen Kenntnissen angepasst und die obermiozänen Fundstätten in mittelmiozäne umbenannt.

Die Öhninger Schichten liegen heute rund 300 m über der Oberen Meeresmolasse (ZAUGG et al. 2008). Wegen des nahen Hegau-Vulkanismus mit Schlot-Tuffen ist im Schiener Berg kaum mit einer nennenswerten Subsidenz, einem Absinken der Abfolge während der Sedimentation, zu rechnen. Dagegen dürfte ein sanfter Emporstau der Schichtabfolge erfolgt sein; wahrscheinlich fand ein solcher in der Vorland-Molasse bei letzten alpin-orogenen Vorgängen an der Miozän/

Pliozän-Wende statt. Zur Zeit der Ablagerung der Öhninger Schichten im mittleren Mittelmiozän dürfte die Gegend um die Öhninger Fundstätten somit um 300–350 m ü. M. gelegen haben.

7. Der Flusslauf, in dessen Altwasser die Schrotzburger Pflanzenreste eingeweht wurden

KUHLEMANN & RAHN (2013) haben versucht, die plio-pleistozäne Landschaftsentwicklung aufgrund der bisher erarbeiteten Fakten aufzuzeigen. Als ältesten Anhaltspunkt erwähnen sie die südbadischen Blumberg-Schotter. In der Zeit davor, vor 9 bis 4.2 Millionen Jahren, sind gesicherte Hinweise noch seltener.

Im mittleren Miozän floss der Palaeo-Alpenrhein, in dessen Altwasser-Bereichen die Schrotzburger Reste abgelagert wurden, aus dem Gebiet des westlichen Bodensees mit geringem Gefälle noch über Schaffhausen zum Klettgau und weiter gegen Westen, nördlich des Kalten Wangen zum Bözberg. Dann fand der Alpenrhein seinen Weg wohl zunächst im Bereich der Aufschiebungen des Faltenjura auf den Tafeljura über Läuelfingen – Vermes – Tramelan – La Chaux-de-Fonds zum Palaeo-See von Le Locle. Von dort wandte sich der Fluss über Morteau – Frasne ins Tal des Ain. Durch diese Talung verlief er dann bis zur Mündung in den Palaeo-Golfe du Lion der Tethys. Dieser Golf reichte damals noch Rhone-aufwärts bis etwas über Lyon (**Abb. 38**).

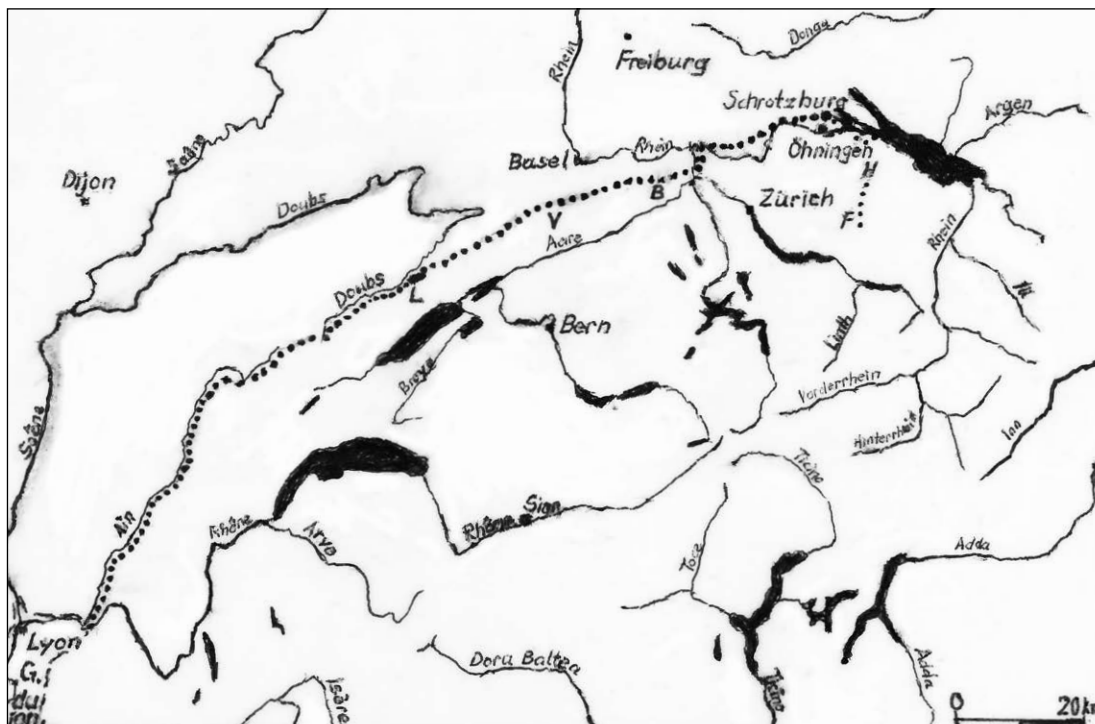


Abb. 38. Verlauf des mittelmiozänen Palaeo-Alpenrheins von der Bodensee-Gegend bis zur Mündung in die Tethys (punktiert).

Literatur und Karten (K)

- BELZ, G. & MOSBRUGGER, V. unter Mitarbeit von UTESCHER, T. 1994: Systematisch-paläoökologische und paläoklimatische Analyse von Blattfloren im Mio/Pliozän der Niederrheinischen Bucht. – *Palaeontogr. B*, 233/1–6: 19–156.
- BERGER, W. 1950: Die Pflanzenreste aus den unterpliozänen Congerenschichten von Brunn-Vösendorf bei Wien. (Vorl. Ber.) – *Sitzber. österr. Akad. Wiss.* 159. – Wien.
- BERGER, W. & ZABUSCH, F. 1953: Die obermiozäne (sarmatische) Flora der Türkenschanze in Wien. – *N. Jb. Geol., Paläont., Abh.* 92/2. Stuttgart.
- BÖHNDEL, C. 1914: Die obere Süßwassermolasse in der Umgebung des Untersees. – *Diss. Freiburg i. Br.*
- BOLLIGER, TH. (1994): Geologie und Paläontologie der Glimmersandgrube Helsinghausen (Kt. Thurgau). – *Mitt. thurg. natf. Ges.* 52: 63–79.
- BOLLIGER, TH., EBERHARD, M. (1989): Neue Floren- und Faunenfunde aus der Oberen Süßwassermolasse des Hörnligebietes (Ostschweiz). – *Vjschr. natf. Ges. Zürich* 134/1: 109–138.
- BRAUN, A. 1836: In BUCKLAND, W.: *Geology and Mineralogy considered with reference to Natural Theology*, 1. – London: 510–514.
- BRAUN, A. 1845: Die Tertiär-Flora von Oeningen. – *Neues Jb. Min., Geol. u. Petrefaktenkde.* 1845: 146–173, Stuttgart.
- BRONGNIART, A. 1822: *Sur la classification des végétaux fossiles.* – *Mémoires du Museum*, 8, Paris: 203–240, 6 pl.
- BRUCKMANN, A. E. 1850, 1852: *Flora oeningensis fossilis.* – *Jh. Ver. vaterl. Naturkde. Württemb.* 6 (1850): 215–236; Nachtrag: 8 (1852): 252–254.
- DEECKE, W. 1933: Die Fossilfundstelle Oehningen. – *Bad. geol. Abh.* 5/2.
- ETTINGSHAUSEN, C. v. 1853: Beiträge zur Kenntnis der fossilen Flora von Tokay. – *Sitz.-Ber. math.-natw. Cl. Akad. Wiss. Wien* 9: 779–816.
- ETTINGSHAUSEN, C. v. 1891: Die fossile Flora von Schönegg bei Wies in Steiermark, 2. Theil. – *Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math.-natw. Kl.* 58.
- ETTINGSHAUSEN, C. v. & KRAŠAN, F. 1890: Untersuchungen über Ontogenie und Phylogenie der Pflanzen auf paläontologischer Grundlage. – *Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math.-natw. Kl.* 57: 229–264.
- FREY, W., SZENKLER, C. & ELLWANGER, D. 2004K: Blatt 8319 Oehningen. – *Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25'000.* – Geol. L.-Amt Baden-Württemb. – Freiburg i. Br. 2. ergänzte Ausg.
- FRIEDRICH, P. 1883: Beiträge zur Kenntnis der Tertiärflora der Provinz Sachsen. – *Abh. Geol. Spezialkarte Preussen* 4/3: 1–305, Berlin.
- GIVULESCU, R. 1959: Einige Bemerkungen über die Taxonomie von *Ficus tiliacifolia* (A. BR.) HEER. – *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.* 437–442, Stuttgart.
- GIVULESCU, R. & RÜFFLE, L. 1971: Die altpliozäne (pannonische) Flora der Maramures (SR Rumänien) und ihre Beziehungen zur Flora an der Wende Miozän/Pliozän des nördlichen Tethys-Raumes (Teil II). – *Geologie* 20: 263–292, 4 Taf.; Berlin.
- GOEPPERT, H.R. 1852: Beiträge zur Tertiärflora Schlesiens. – *Palaeontographica* 2: 260–282, Cassel.
- GREGOR, H.-J. 1982: Die jungtertiären Floren Süddeutschlands – Paläokarpologie, Phytostratigraphie, Paläoökologie, Paläoklimatologie. – *Enke, Stuttgart*: 278 S.
- GREGOR, H.-J. 1983: Miozäne Flora von Steinheim am Albuch (Baden-Württemberg). – *Docum. naturae* 10: 1–45, 8 Abb., 4 Taf.; München.
- GREGOR, H.-J. & HANTKE, R. 1980: Revision der fossilen Leguminosengattung *Podogonium* HEER (= *Gleditsia* LINNÉ) aus dem europäischen Jungtertiär. – *Feddes Repert.* 91/3: 151–182, Berlin.
- HANTKE, R. 1949: Geologische Untersuchungen im Silbergebiet (Kantone Schwyz und Glarus). – *Dipl.-Arb. ETH, Zürich*, 88 S. – *Dep. Geol. Inst. ETH Zürich*.
- HANTKE, R. 1953: Die Blattreste fossiler *Crataegus*-Arten aus der Oberen Süßwassermolasse von Oehningen (Süd-Baden) und Le Locle (Neuchâtel). – *Ber. schweiz. bot. Ges.* 63: 390–396.
- HANTKE, R. 1954a: Die fossile Flora der obermiozänen Öhninger Fundstelle Schrotzburg (Schienberg, Süd-Baden). – *Denkschr. schweiz. natf. Ges.* 80/2: 26–118, Zürich.
- HANTKE, R. 1954b: Die fossilen Betulaceen-Reste aus der Oberen Süßwassermolasse von Oehningen (Süd-Baden). – *Ber. schweiz. bot. Ges.* 54: 210–218; *Verh. schweiz. natf. Ges., Altdorf*, 1954: 134–135.
- HANTKE, R. 1964: Die fossilen Eichen und Ahorne aus der Molasse der Schweiz und von Öhningen (Süd-Baden). – Eine Revision der von Oswald Heer diesen Gattungen zugeordneten Reste. – *Njbl. natf. Ges. Zürich* (1965) 167: 140 S., 17 Taf.
- HANTKE, R. 1966: Die fossilen *Liquidambar*-Reste (Amberbaum) aus der Molasse der Schweiz und von Oehningen (Südbaden). – *Eclogae geol. Helv.* 50/2: 981–988.
- HANTKE, R. 1973: *Apeibopsis laharpei* Heer, eine Styracacee? – *Eclogae geol. Helv.* 66/3, 743–753.
- HANTKE, R. 1991, 1992: Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. – *Ott, Thun; ecomed, Landsberg/Lech*: 309 S.
- HANTKE, R. 2007: Zur jüngeren Erdgeschichte im östlichen Kanton Schaffhausen und seinen Nachbargebieten. – *Mitt. natf. Ges. Schaffhausen* 48: 69–82.
- HANTKE, R. 2019b: Wälder der östlichen Zentralschweiz vor 30–25 Millionen Jahren, rekonstruiert mit fossilen Pflanzenfunden vom Rossberg, Südfuss der Rigi, Gebiet um Rothenthurm, vom Rinderweidhorn und Höhrönen. – *Ber. schweiz. natf. Ges.* 18: 35–54
- HANTKE, R. & JÄGER, E. 1982: Protokoll der Exkursion nach Pedriate-Chiasso 14./25.4.1982. – *Abt. Isotopengeol. Univ. Bern*.
- HANTKE, R., OBERLI, U. & GREGOR, H.-J. 2006: Die mittelmiozäne Megaflora von Risi/Wattwil (Kanton St. Gallen, Schweiz) – Geologie, (Klima-) Stratigraphie und Paläoökologie. – Teil 3: Makrofloren der Molasse. – *Docum. naturae* 155/3: 1–35 – In memoriam Erwin Knobloch 1934–2004.
- HEER, O. 1847: Die Insektenfauna der Tertiärgebilde von Oeningen und von Radoboj in Croatien. – *N. Denkschr. schweiz. natf. Ges.* 8.
- HEER, O. 1853: Übersicht der Tertiärflora der Schweiz. – *Mitt. natf. Ges. Zürich* 7.
- HEER, O. 1855, 1856, 1859: *Flora tertiaria Helvetiae* 1, 2, 3 – Wurster, Winterthur. 1993: Nachdruck in: *Docum. naturae, Spez.-Bd. 2, Teile 1–5*, mit Vorwort von HANTKE, KNOBLOCH und GREGOR.
- HEER, O. 1865: *Die Urwelt der Schweiz.* – *Schulthess, Zürich* (2. Aufl. 1879, 1883).

- HEER, O. 1869: Miocene baltische Flora. – Beitr. Naturkde. Preussens, 2, 104 S., 30 Taf. – Königsberg.
- HEER, O. 1877: Flora fossilis arctica, 4: Beiträge zur fossilen Flora Spitzbergens. – Wurster, Zürich.
- HERENDEEN, W.S. 1992: Papilionoid flowers from the early Eocene of southeastern North America. – In: HERENDEEN, W.S. & DILCHER, D.L.: Advances in Legume Systematics, part 4. The Fossil Record. – Kew: Royal Botanic Gardens: 3–18.
- Hsü, K. 1975: Paleooceanography of the Mesozoic Alpine Tethys. – Geol. Soc. America, Spec. Pap. 170: 44 pp.
- Hsü, K. 1976: Als das Mittelmeer eine Wüste war. – Mannheimer Forum, Mannheim 75/76: 119–172.
- Hsü, K. 1982: Ein Schiff revolutioniert die Wissenschaft: die Forschungsreisen der Glomar Challenger. – Transl. W. HÄHNEL. – Hoffmann & Campe, Hamburg: 303 S., 67 Fig., 15 Taf.
- Hsü, K. 1983: The Mediterranean was a desert: a voyage of the Glomar Challenger. – Princeton, Univ. Press: XV+197 pp., 40 figs.
- Hsü, K. 1984: Das Mittelmeer war eine Wüste: auf Forschungsreisen mit der Glomar Challenger. – Harnack, München: 200 S.
- ILJINOSKAYA, I. A. 1953: Monographie der Gattung *Pterocarya* KUNTH. – Mitt. Bot. Inst. V.L. Komarov, Flore et Systematica Plantae vasculares 1, 10: 7–123.
- JÄGER, E. & HANTKE, R. 1983: Die Entwicklungsgeschichte der Alpen. – Naturwiss. 70/5: 209–215.
- JÄGER, E. & HANTKE, R. 1984: Evidenzen für die Vergletscherung eines alpinen Bergeller Hochgebirges an der Grenze Oligozän/Miozän. – Geol. Rdsch. 73/2: 567–575.
- KIRCHHEIMER, F. 1957: Die Laubgehölze der Braunkohlenzeit. – Halle (Saale).
- KNOBLOCH, E. 1969: Tertiäre Floren von Mähren. – Moravské Museum Brno: 201 S.
- KNOBLOCH, E. & KVAČEK, Z. 1965a: Einige neue Erkenntnisse über «*Ficus*» *tiliaefolia* (A. BRAUN) HEER. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 121: 201–208.
- KNOBLOCH, E. & KVAČEK, Z. 1965b: *Byttneriophyllum tiliaefolia* (A. Braun) Knobloch et Kvaček in den Tertiärfloren der Nordhalbkugel. – Sbornik geol. ved., Reihe P 5: 123–166, Praha.
- KNOBLOCH, E. & KVAČEK, Z. 1976: Miozäne Blätterfloren vom Westrand der Böhmisches Masse. – Rozpr. Ustr. Geol. Sv. 42: 131 S., 40 Taf., 52 Abb. – Praha.
- KOVAR-EDER, J. 1988: Obermiozäne (Pannone) Floren aus der Molassezone Österreichs. – Beitr. Paläont. Österr. 14: 19–121; Wien.
- KRÄUSEL, R. 1919: Die Pflanzen des schlesischen Tertiärs. – Jb. preuss. geol. L.-A. (1917) 38/2: 1–338.
- KRAMER, K. 1974: Fossile Pflanzen aus der Braunkohlenzeit. Die obermiozäne Flora des unteren Fischbachtone im Tagebau Frechen bei Köln. – Mitt. Dt. Dendrol. Ges., 67: 199–233.
- KRISHTOFOVITCH, A.N. 1957: Paleobotanika. – Leningrad, Gostoptech-izdat.: 650 pp.
- KRISHTOFOVITCH, A.N. & BORSUK, N.I. 1939: Contribution to the miocene flora from Western Siberia. – Probl. Paleontol. 5: 375–394, Moscow.
- KRÜSSMANN, G. 1962: Handbuch der Laubgehölze, Bd. 2. – Parey, Berlin, Hamburg.
- KUHLEMANN, J. & RAHN, M. 2013: Plio-Pleistocene Landscape evolution in Northern Switzerland. – Swiss J. Geosci. 106: 451–467.
- MASSALONGA, A. 1854: Monografia delle Dombeyacee fossili fino ad ora conosciute. – Antonelli, Verona: 25 pp.
- MEYER, FR. 1919: Salicaceen, Aceraceen und die übrigen nachgewiesenen Pflanzen. – In: KRÄUSEL, R. 1919.
- MORET, L. 1943: Manuel de Paléontologie végétale. – Masson et Cie, Paris VI: 216 pp.
- NÖTZOLD, T. 1957: Miozäne Pflanzenreste von der Schrotzburg am Bodensee. – Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. 47: 71–102.
- PFANNENSTIEL, M. 1950: Die paläontologischen Ausgrabungen der Universität Freiburg i. Br. am Schiener Berg 1947–1950. – Bad. Heimat 30/1-2: 25–30.
- PFANNENSTIEL, M. 1958: Fälscher und Fälschungen von Oehninger Fossilien. – Geologie, 3–6. Berlin.
- RUTTE, E. 1951: Die Geologie der Oehninger Fundstätten. – Mitt. bad. geol. L.-Amt, 1950: 66–71.
- RUTTE, E. 1956a: Die Geologie des Schienerberges (Bodensee) und die Öhninger Fundstätten. – N. Jb. Geol. u. Paläont., Abh. 102: 143–282.
- RUTTE, E. 1956b: Zur Geologie des westlichen Schienerberges zwischen Herrentisch und Stein am Rhein. – Eclogae geol. Helv. 49/1: 97–111.
- SAPORTA, G. DE 1862, 1867, 1888: Etudes sur la végétation du sud-est de la France à l'époque tertiaire I–III. – Ann. Sci. natur. Bot. IV/7, V/8, VII/7. – Masson, Paris.
- SCHUECHZER, J.J. 1709: Herbarium diluvianum. – Zürich; 2. Aufl. 1723, Leiden, 119 S., 14 Taf.
- SCHUECHZER, J.J. 1726: Homo diluvii testis – Bein-Gerüst eines in der Sündflut ertrunkenen Menschen. – Flugblatt mit Abbildung und Erklärung. – Zürich.
- SCHIMPER, PH. 1869–1874: Traité de Paléontologie végétale I–III + Atlas. – Paris.
- SCHMIDLE, W. 1926: Geologie des Untersees, – Bad. Heimat, Sonderheft: Der Untersee.
- SCHREINER, A. 1973K: Blatt 8219 Singen – Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 25'000. – Geol. L.-Amt Baden-Württemb., Freiburg i. Br.
- SCHREINER, A. 1992: Erläuterungen zu Blatt Hegau und westlicher Bodensee. – Geol. Karte Baden-Württemberg 1: 50'000, 3. Aufl. – Geol. L.-Amt Baden-Württemb., Freiburg i. Br.
- STAUBER, H. 1935: Beitrag zur Geologie und Stratigraphie des Schienerberges am Untersee. – Unveröff. Dipl.-Arb. ETH Zürich.
- STAUBER, H. 1937: Neue geologische Untersuchungen am Schienerberg. – Mein Heimatland 24/3: 321–347, Freiburg i. Br.
- STÜRM, B. 1973: Die Rigi-Schüttung: Sedimentpetrographie, Sedimentologie, Paläogeographie, Tektonik. – Diss. Univ. Zürich, 96 S.
- STIZENBERGER, E. 1851: Übersicht der Versteinerungen des Grossherzogthums Baden. – Diss. Freiburg i. Br., 144 S.
- SZENKLER, C. 1997: Beiheft zu Blatt 8319 Öhningen, Geol. Landeskart. Baden-Württemb. 1:25'000 – Geol. L.-Amt Baden-Württemb. (1. Verkäuf. Aufl.).
- UNGER, F. 1847: Chloris protogaea – Beiträge zur Flora der Vorwelt. – Leipzig.

- UNGER, F. 1850: Genera et species plantarum fossilium. – Vindobonae, 627 p.
- UNGER, F. 1851: Die fossile Flora von Sotzka. – Denkschr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., 2, Wien.
- WANG, Q. 2006: On the identity of *Podogonium* HEER 1857, nom. illeg. (Leguminosae) from the Miocene Shanwang flora of Shandong. – Acta Phytotaxon. Sinica (2006) 44/2: 197–203.
- WEYLAND, H. 1934: Beiträge zur Kenntnis der Rheinischen Tertiärflora I – Abh. preuss. geol. L.-A., N. F., 161.
- WEYLAND, H. 1938: III. Ergänzungen und Berichtigungen zur Flora der Blätterkohle und des Polierschiefers von Rott im Siebengebirge. – Palaeontographica 83: 123–171.
- WEYLAND, H. 1944: VII. Ergänzungen und Berichtigungen zur Flora der Blätterkohle und des Polierschiefers von Rott im Siebengebirge. – Palaeontographica 88: 113–188.
- WILDE, V. 1989: Untersuchungen der Blattreste aus dem Miocene der Grube Messel bei Darmstadt (Hessen, Bundesrepublik Deutschland). – Cour. Forsch. Inst. Senckenberg 115: 1–213, Frankfurt a. M.
- WINTERSCHIED, H. 2006: Die oligozänen und miozänen Floren in der Umgebung des Siebengebirges (südliche Niederrheinische Bucht). – Diss. Univ. Regensburg. – Docum. naturae 158: 485 pp.
- WÜRTENBERGER, TH. in: WÜRTENBERGER, O. 1906: Die Tertiärflora des Kantons Thurgau. – Mitt. thurg. natf. Ges. 17: 3–44, 4 Taf.
- ZAUGG, A. & GEYER, M. 2008K: Blatt 1033 Steckborn (Südteil) mit SW-Anteil von 1034 Kreuzlingen. – Geol. Atlas Schweiz 1: 25'000, Karte 112 – swisstopo, Wabern.
- ZAUGG, A., GEYER, M., RAHN, M., WESSELS, M., SCHLICHTERLE, H., HASENFRATZ, A. & BURKHALTER, R. (2008): Erläuterungen zu Blatt 1033/1034 Steckborn-Kreuzlingen. – Geol. Atlas Schweiz 1: 25'000, Karte 112 – swisstopo, Wabern.

Wälder der östlichen Zentralschweiz vor 30–25 Millionen Jahren, rekonstruiert mit fossilen Pflanzenfunden vom Rossberg, Südfuss der Rigi, Gebiet um Rothenthurm, vom Rinderweidhorn und Höhronen

RENÉ HANTKE, Stäfa

1. Einleitung

Mit der Neuaufnahme der Geologischen Atlasblätter 1151 Rigi mit Nordteil von Blatt 1171 Beckenried, 1132 Einsiedeln und 1152 Ibergeregge sowie mit der Landschaftsgeschichte der Schweiz (HANTKE 1991) wurden auch die fossilen Floren neu untersucht. Da diese in den Erläuterungen zu Blatt Rigi (HANTKE 2006) und zu Blatt Einsiedeln (HANTKE, WYSSLING & SCHLANKE, 2009) nur sehr summarisch zur Dar-

Mit Hilfe fossiler Pflanzenreste, die mit heutigen Arten verglichen werden, lässt sich das Klima früherer Zeiten rekonstruieren.

So änderten sich im Laufe der Zeit mit einem Klimawandel auch die Pflanzengesellschaften. Im Goldauer Bergsturzgebiet (Rossberg) und an weiteren Stellen in der Umgebung wurden zahlreiche fossile Pflanzenreste aus der Zeit der Unteren Süsswassermolasse (vor 30 bis 25 Mio. Jahren) freigelegt. Eine reiche Farnflora und wärmeliebende Laubhölzer zeugen von den damals milden klimatischen Verhältnissen (Abb. 1).

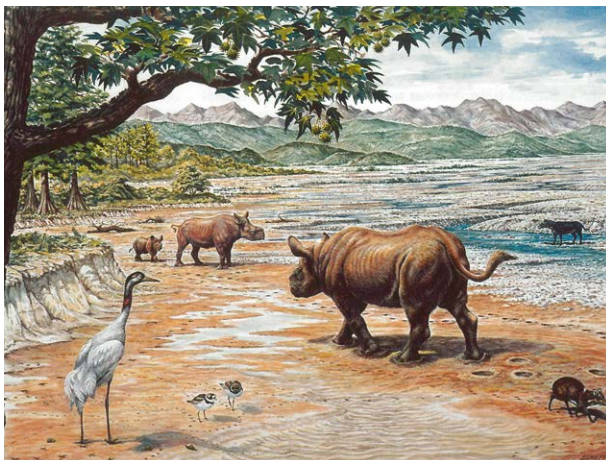


Abb. 1. Goldau zur Zeit der Unteren Süsswassermolasse vor 25 Millionen Jahren. Rekonstruktion nach fossilen Tierspuren und Pflanzenresten aus dem Bergsturzgebiet von Goldau. Im Vordergrund ein Amberbaum (*Liquidambar*); im Mittelgrund links aussen Sumpfympressen (*Taxodium*), rechts davon Wasserfichten (*Glyptostrobus*). Zeichnung: B. Scheffold (aus FURRER et al. 2003).

stellung gelangen konnten, sei die Gelegenheit wahrgenommen, die gewonnenen Erkenntnisse hier etwas ausführlicher darzulegen. Zugleich wurden auch die Blattfloren von Gnipen–Gribsch im Abrissgebiet des Goldauer Bergsturzes von 1806 sowie jene am Zünggelibach – anhand der Darstellung von PAUL MENZEL (in BAUMBERGER & MENZEL 1914) – neu untersucht, wie dies von einem Geologen, *der zugleich Paläobotaniker ist*, erwartet wird. Auch die fossilen Floren auf Blatt 1132 Einsiedeln wurden durchgesehen und teils neu bearbeitet (HANTKE 1964, MÜLLER 1967, 1971); doch die Resultate wurden in den Erläuterungen zu den geologischen Karten ebenfalls nur zum Teil übernommen.

Schon die fossilen Floren von Öhningen und Schrotzburg aus der Oberen Süsswassermolasse (HEER 1855–59, HANTKE 1954, 1964, 1966, 2019a) weichen von der heutigen Flora ab. Jene aus der Unteren Süsswassermolasse (HEER 1847a, 1848, 1855–59, KAUFMANN 1860, 1872, BAUMBERGER & MENZEL 1914, M. Speck, Zug, Fritz Schneider, Wädenswil, HANTKE 1964, R. Pappa in der paläobotanischen Sammlung der ETH, MÜLLER 1967, 1971, RISSI 1968, HOCHULI 1973, 1978, in FURRER et al. 2002) sind 10–15 Mio. Jahre älter und divergieren daher eher noch etwas stärker. Der erdgeschichtliche «Wandel» ist bei Pflanzen extrem abhängig vom Klima, von der Höhenlage, vom Relief der näheren und weiteren Umgebung der Fundstelle und vom Boden. Dabei ist neben der Botanik für einen Vergleich mit Pflanzen aus der Gegenwart entsprechender Gegenden auch die Geologie von Bedeutung. Zu berücksichtigen sind: erdgeschichtliches Alter, Lagerung der Abfolge, Gesteinsinhalt, Herkunft der Gerölle in den Nagelfluhen, ihre Grösse und die Einregelung flacher Gerölle (Abb. 36 und 37 in HANTKE 2019a). So gelingt es, innerhalb des mittleren und jüngeren Tertiärs Klimaschwankungen, Höhenlage und Vorlandrelief wenigstens andeutungsweise zu skizzieren.

Wie bei den Niedergängen der Bergschlippe an der Beichlen (Kt. Luzern) und am Ruppen-Breitwasen NW von Altstätten (Kt. St. Gallen), bei denen ebenfalls Pflanzenreste in grosser Zahl ans Licht gekommen sind, erweckt es auch am Rossberg den Anschein,

Der Rossberg besteht hauptsächlich aus bunter Nagelfluh. Diese Nagelfluhgerölle stammen aus abgetragenen Gesteinen der höher gelegenen Alpen. Diese durch kühl- bis kaltzeitlich niedergelassene Bergstürze entstandenen Konglomerate bestehen einerseits aus kristallinen Gesteinen und andererseits aus Sedimentgesteinen. Zwischen den Nagelfluhbänken liegen fossilführende Mergelschichten.

als ob – neben einer markanten, praktisch S–N-verlaufenden Klüftung – auch die verminderte Kohäsion der Kohlefilme fossiler Blätter in den Mergellagen den Niedergang begünstigt hätte. Damit böte sich bei künftigen potentiellen Niedergängen von Bergschliffen nicht nur die Gelegenheit, pflanzliches Fossilgut quantitativ zu sammeln und auszuwerten, sondern zugleich auch vor weiteren Niedergängen rechtzeitig zu warnen.

2. Die Schichtabfolge am Rossberg

Nagelfluhbänke wurden früher meist als einstige Flussablagerungen gedeutet. Doch zeigen die flacheren Gerölle *nicht* die hierfür typische dachziegelartige Einregelung (Abb. 36 und 37 in HANTKE 2019a). Die Gerölle sind unsortiert, die Bänke grobgeröllig und oft fest zementiert, so vor allem die gegen 30 m mächtige Gipfelbank des Gnipen. Zudem lässt sich

diese dort über eine bedeutende Breite verfolgen. Die Beobachtungen sprechen weit eher für breite Kühl- bis kaltzeitliche Muren, entstanden durch den Ausbruch von zuvor durch Gletscher gestauten Seen (HANTKE 2019c), als für warmzeitliche Flussablagerungen.

Beim Hochstau der spät-oligozänen Alpen haben sich in Hochlagen *Firne* und *Gletscher* gebildet und bei der schon im späten Miozän einsetzenden Deckenbildung in den helvetischen Kalkalpen – vor allem an den Rändern der höheren, penninischen und ostalpinen Decken – vermehrt Bergstürze und Bergschliffe ereignet. In den alpinen Tälern bildeten sich Seen; in Hochlagen sowie bei Verschlechterung des Paläoklimas wurden die Flüsse durch Gletscherzungen gar zu Eisrandseen aufgestaut. Von Zeit zu Zeit brachen die Stauseen aus; Stauinhalt und Riegel ergossen sich als breitausladende nasse Muren ins flache Vorland. Der nach Ablagerung des grössten Schuttanteils schuttärmer gewordene Fluss nahm auf seinem weiteren Lauf Zuschüsse aus Schutfächern der Ostschweiz und den Bayerischen Alpen auf, folgte dem Schutfächerrand, wandte sich, an Gefälle weiter verlierend, als Ur-Donau, gegen *Osten* und mündete in die damals noch weit Donau-aufwärts nach Oberbayern hinein reichende Paratethys (Abb. 2).

Nach der Schüttung der Gnipen-Gipfel-nagelfluh im späten Chattien, vor knapp 25 Ma (Mio. Jahren), endete die Sedimentation im Rigi/Rossberg-Fächer; die heutige Gipfelregion bildete nahezu das jüngste Schüttungsniveau. Wie lange dieser Zustand andau-

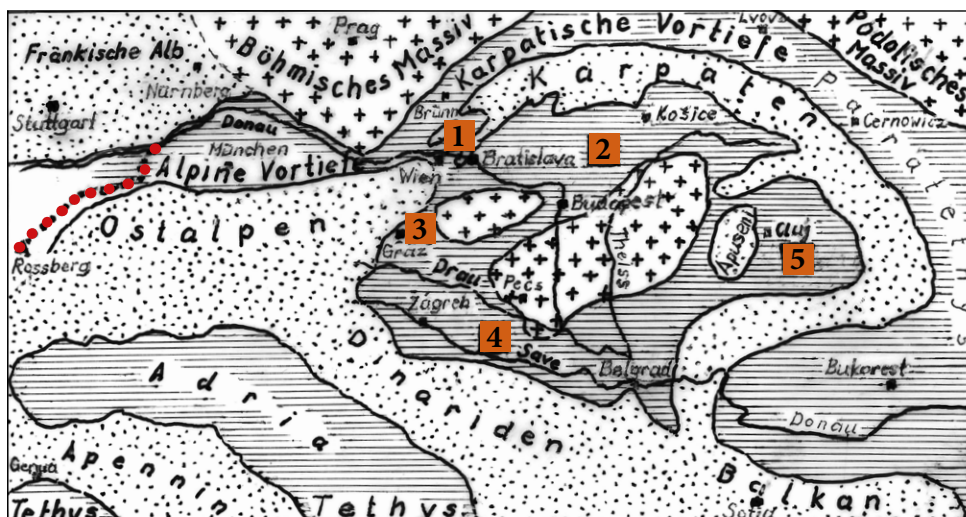


Abb. 2. Der oligo/miozäne Zufluss (rot punktiert), der vom Rossberg in die gegen Osten fließende Ur-Donau mündete. Dieser floss durch Oberbayern und ergoss sich in die alpine Vortiefe der westlichen Paratethys mit ihren Teilen: 1 Wiener Becken, 2 Innerkarpatisches Becken, 3 Steirisches Becken, 4 Drau/Save-Senke, 5 Transsylvanisches Becken, ca. 1: 500'000, ergänzt nach STEINGGER, RÖGL & MARTINI 1976.

erte, ist ungewiss. Doch liegt auf der SE-Seite des Rossberg bis zur Überschiebung durch das helvetische Alttertiär der Lauerzer Schuppenzone auf die Rigi-Scheidegg-Abfolge noch eine wenige hundert Meter mächtige Gesteinsserie von kühl- bis *kaltzeitlich* geschütteter, grobgerölliger Scheidegg-Nagelfluh. Zudem scheint sich die ausklingende Rigi/Rossberg-Schüttung etwas gegen die Rigi verschoben zu haben. Dies dürfte bei der Aufschiebung der seitlich abgescherten helvetischen Deckenteile, der Hochflue- und der Urmiberg-Abfolge, zur Durchscherung der beiden Schüttungen und damit zur Anlage der Zugersee-Talung geführt haben.

3. Die Schrägstellung der Rigi/Rossberg-Molasse

Zur Zeit der pflanzenführenden Ablagerungen der Rigi/Rossberg-Molasse fielen die von mächtigen, kühlzeitlich geschütteten Nagelfluhen getrennten Gesteinsabfolgen noch sanft gegen NNW ein. Erst in Spätphasen der alpinen Gebirgsbildung, vor 5 Ma, wurden diese von der alpinen Tektonik erfasst und alpeinwärts fallend schräggestellt. Heute reicht die subalpine Rigi/Rossberg-Molassescholle im Gnipen

Der Ortsname «Goldau» stammt wahrscheinlich von «Goletau», was Geschiebe, Schutt und Geröllhalde bedeutet und auf Bergstürze hinweist. Vom Gebiet sind zahlreiche Bergstürze bekannt. Dabei glitten jeweils Nagelfluhplatten über die aufgeweichten Mergelschichten in die Tiefe. Die grösste historische Naturkatastrophe der Schweiz war der Goldauer Bergsturz 1806: 40 Mio. m³ Nagelfluhgestein stürzten ins Tal und begruben das Dorf Goldau mit 457 Menschen unter sich.

bis auf 1568 m empor, bei der Schrägstellung ragte sie gar noch etwas höher hinauf, wohl gegen 1600 m. Nach der tektonischen Aufrichtung konnten sich – wegen der dabei erfolgten Klüftung bei angestiegenem Permafrost – Abbrüche und in niederschlagsreichen Zeiten Bergschliffe ereignen.

Solche Rutschungen in der schräggestellten Molasse ereignen sich bis heute. Dabei werden oftmals im Mergel eingelagerte Fossilien zugänglich. **Abb. 3** gibt einen Überblick über die in den folgenden Abschnitten behandelten Fundstellen fossiler Pflanzen.

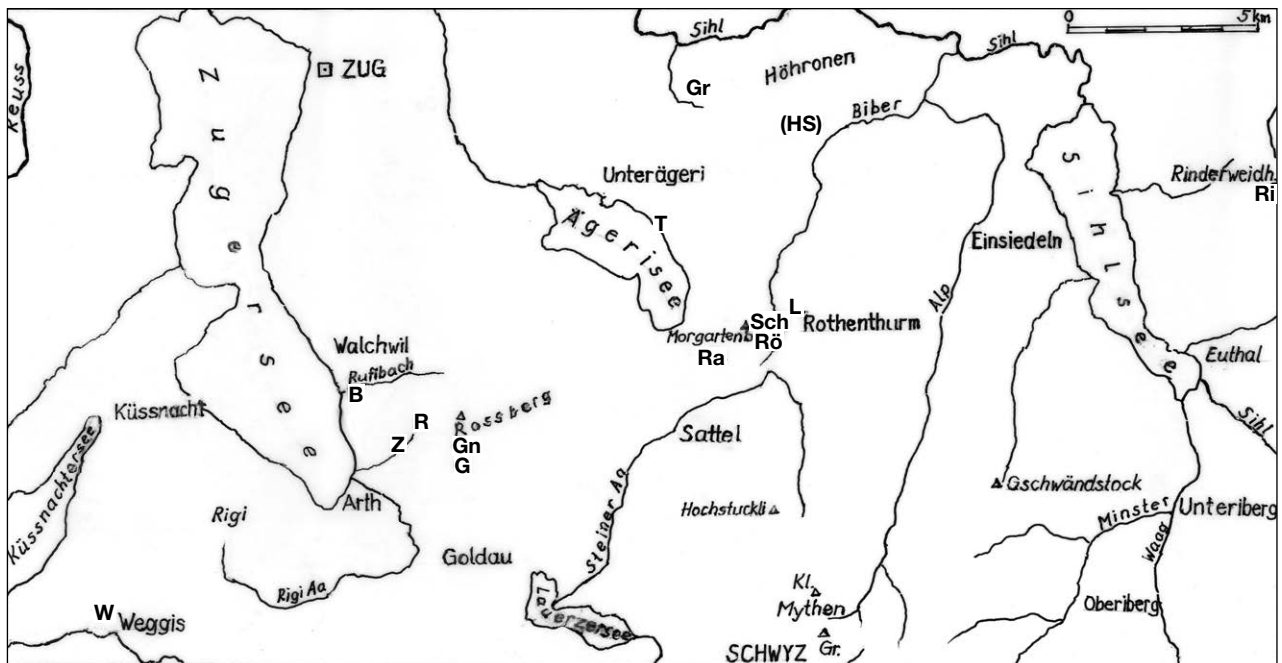


Abb. 3. Die Pflanzen-Fundstellen in der subalpinen Molasse der östlichen Zentralschweiz am Rossberg, um Rothenthurm, am Höhrönen und am Rinderweidhorn, 1:200'000.

B	Rufibach	Ra	Rapperen SW Morgartenberg
G	Gribsch	Ri	Rinderweidhorn
Gn	Gnipen	Rö	Rössliweidbach E Morgartenberg
Gr	Greit, Höhrönen	Sch	Schos SW Rothenthurm
(HS)	Höhrönen-S-Seite (genaue Stelle unbekannt)	T	Teufsetzi am Ägerisee
L	Rothenthurm SE Letziturm	W	Weggis
R	Rufiberg, Ochsenboden	Z	Züngelbach, Arth

4. Die Fundstellen fossiler Pflanzen am Rossberg (Gemeinde Arth)

An den Abrissstellen des Goldauer Bergsturzes wurden zahlreiche fossile Pflanzenreste zugänglich. Die Pflanzenteile wurden vor etwa 25 Millionen Jahren im Schlamm eines Gewässers abgelagert. Diese Einbettung verhinderte die Luftzufuhr und damit die Verwitterung, was eine wichtige Voraussetzung war für die darauffolgende Fossilbildung.

4.1. Gnipen–Gribsch (G)

Die Fundstellen in der höheren Unteren Süsswassermolasse am Rossberg erstrecken sich von oberhalb Gribsch von 1040 m bis über 1500 m ü. M. unter den Gipfel des Gnipen (BAUMBERGER & MENZEL 1914, HOCHULI in FURRER et al. 2002, HANTKE 2006). Diese wurden nach dem Niedergang des Goldauer Bergsturzes von 1806 zugänglich. Fundstücke finden sich auf der Mergel-Oberfläche der Abrissbasis sowie in Mergel-Abfolgen am östlichen Abrissrand. Im späten Chattien, vor rund 25 Ma, wurden dort aus offenen Wäldern zahlreiche Pflanzenreste in die siltigen Mergel eines Altwassernetzes eingeweht, die heute zwischen Nagelfluhbänken mit *nicht eingeregelt*en Geröllern liegen. 20 Ma später, in Spätphasen der alpinen Gebirgsbildung, also vor 5 Ma, wurde die Nagelfluh-Abfolge aufgerichtet und bis gegen 26° S-fallend schräggestellt.

4.2. Rufiberg–Ochsenboden (R)

A. RISSI (1968) hat im Goldauer Sturzgebiet und SE von Brand, am Strässchen vom Rufiberg zum Ochsenboden in 1080–1120 m ü. M., in Mergellagen des späten mittleren Chattien, vor rund 26 Ma, mehrfach fossile Pflanzen, *Taxodium* – Sumpfcypresse und *Glyptostrobus* – Wasserfichte, vor allem Blätter von *Cinnamomum polymorphum* – Campherbaum sowie *Populus balsamoides* – Balsam-Pappel, von *Quercus buchii* – Buch's Eiche und *Cornus* – Hornstrauch festgestellt, aber nur wenige Reste mitgenommen. Daneben fanden sich auch *Alnus* – Erle und Pinaceen – Föhren-Verwandte, welche HOCHULI (1978) durch Pollenfunde belegen konnte.

4.3. Zünggelibach (Z)

Während BAUMBERGERS Kartierungsarbeiten (in BUXTORF mit Beiträgen von BAUMBERGER 1913K, 1916 und BAUMBERGER & MENZEL 1914) ereignete sich 1910 am Zünggelibach nordöstlich von Arth auf gut 800 m ü. M. ein kleiner Bergsturz, der eine

weitere Fundstelle fossiler Pflanzen öffnete. Diese ist – aufgrund ihrer stratigrafisch tieferen Lage im Schichtprofil – etwa dem mittleren Chattien, vor rund 28 Ma, zuzuordnen. Heute ist die Fundstelle durch Nachstürze wieder überschüttet.

4.4. Rufibach (B)

Die stratigrafisch tiefste Fundstelle am nordwestlichen Rossberg ist jene am unteren Rufibach (Kt. Schwyz), südöstlich von Walchwil (Kt. Zug), um 500 m ü. M., mit *Zizyphus ungeri* HEER – Judendorn, ein Kreuzdorn-Gewächs, grossen Blättern von *Cinnamomum polymorphum* – Campherbaum, *Cornus* – Hornstrauch, *Comptonia* – Farnmyrte, und Cyperaceen – Riedgräsern. Diese Fundstelle in den Horwer Schichten an der Basis der Unteren Süsswassermolasse wird schon von F.-J. KAUFMANN (1860, 1872) erwähnt; sie wird heute ins älteste Chattien, vor rund 30 Ma, gestellt.

5. Zur Erforschungsgeschichte der fossilen Floren am Rossberg

Wie am Rufibach sammelte KAUFMANN bei seinen Aufnahmen für das Blatt VIII: Aarau–Luzern–Zug–Zürich der Geologischen Karte der Schweiz 1: 100'000 auch auf der Abrissfläche des Goldauer Bergsturzes von 1806 fossile Pflanzenreste für HEER (1859: 212, KAUFMANN 1860: 81, 1872). Später, um 1910, hat E. BAUMBERGER bei der Kartierung für das geologische Kartenblatt Rigi-Hochfluh 1:25'000 (BUXTORF & BAUMBERGER 1913K, 1916) am Rossberg (in BAUMBERGER & MENZEL 1914) erneut Pflanzenreste gesammelt. Seither wurde in der spät-oligozänen Unteren Süsswassermolasse weiter gesammelt, so von Michael Speck, Zug. Ein Teil gelangte ins Bergsturz-Museum in Goldau; manche Reste blieben in Privatbesitz, waren doch die seit dem Bergsturz offenen Mergelhänge für Sammler sehr ertragreich. Intensiv sammelte F. Schneider, Wädenswil. Die Objekte vermachte er der paläobotanischen Sammlung der ETH Zürich. Von ihm und weiteren interessierten Sammlern wurden die häufigsten Typen oft als Doppelstücke weggegeben oder von den am Aufsammeln für die ETH beteiligten Studenten als Erinnerungsstücke mitgenommen. So liegen die häufigsten Arten, sowohl in der Zürcher Sammlung wie in der von M. Speck dem Museum in Zug überlassenen Objekte, in zufälliger Anzahl vor, sodass eine genaue Rekonstruktion des einstigen Auenwaldes mengenmässig nur bedingt möglich ist.

6. Der Floreninhalt der Auenwälder Rufibach (B), Züggelibach (Z), Rufiberg–Ochsenboden (R) und Gnipen–Gribsch (G)

6.1. Farne

Pronephrium (Goniopteris) stiriacum (UNGER)

A. BR. (Z)

Reste dieses Farns wurden von BAUMBERGER beim Züggelibach in Arth gesammelt (Abb. 4). Als lebende Vergleichsart hat MENZEL – wie schon zuvor A. BRAUN und O. HEER – *Phegopteris prolifera* METT. – einen mit dem Buchenfarn verwandten Farn aus Mexiko und dem subtropischen Nordamerika genannt.

Lastraea (Aspidium) fischeri HEER – Schildfarn (Z)

MENZEL erkannte diesen Farn in Arth, im Züggelibach (Abb. 5). Als analoge lebende Art gibt HEER *Aspidium adscendens* HORT. BEROL an.

Osmunda lignitum (GIEBEL) STUR – Königsfarn (Z)

MENZEL beschrieb einige Reste vom Züggelibach als *Osmunda lignitum* (Abb. 6). Als entsprechende lebende Arten werden genannt: *O. presliana* J. SM. var. *banksiaefolia* von Java und Luzon und *O. javanica* BL. von Kamtschatka, Java und Ceylon (Sri Lanka), Arten mit recht weiträumiger Verbreitung und daher kaum sehr temperaturspezifisch.



Abb. 4. *Pronephrium stiriacum* (UNGER) A. BR., aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 3 Fig. 1, 1/3 nat. Grösse.

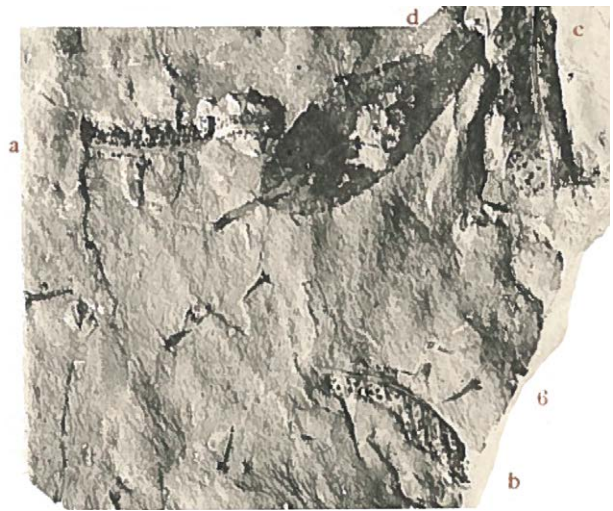


Abb. 5. *Lastraea fischeri* HEER – Schildfarn, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 3 Fig. 6a, b, c (6d: *Andromeda vacciniifolia*), nat. Grösse.



Abb. 6. *Osmunda lignitum* (GIEBEL) STUR – Königsfarn, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 3 Fig. 3, 4, 5a, nat. Grösse.



Abb. 7. *Taxodium dubium* (STERNBERG) HEER – Sumpfyzypresse, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 4 Fig. 4, nat. Grösse.

6.2. Nadelhölzer

Schon MENZEL hat in der Flora vom Gnipen zwei Nadelhölzer festgestellt: *Taxodium dubium* – Sumpfyzypresse (**Abb. 7**) und – viel seltener – *Glyptostrobus europaeus* – Wasserfichte (**Abb. 8**).

Taxodium dubium (STERNBERG) HEER – Sumpfyzypresse (G)

MENZEL hat sie noch als *T. distichum miocenicum* HEER beschrieben. *Taxodium* ist vor allem am Gnipen durch zahlreiche benadelte Zweig-Enden belegt (**Abb. 7**). Diese wurden schon von A. BRAUN mit *T. distichum* RICH. aus dem Süden der USA verglichen. Frau R. Pappa hat vor 25 Jahren im Abriss-

gebiet des Bergsturzes oberhalb Gribisch unter der Gipfel-Nagelfluh einen aufrecht stehenden Strunk mit Brettwurzeln entdeckt. 2001 fand Th. Reichlin, Goldau, im Abrissgebiet des Goldauer Bergsturzes – im Feinsediment eingebettet – ein Grüppchen aufrechtstehender Strünke, die ebenfalls von *Taxodium* stammen dürften, da sich die übrigen Bäume des Auwaldes nicht so weit wie *Taxodium* ins Altwasser vorwagten. FURRER (2003) hat von vier Strünken die Koordinaten genannt: 2685.400/1214.920/1443, 2685.400/1214.930/1448, 2684.400/1215.070/1510 und 2685.400/1215.100/1550.

Glyptostrobus europaeus (BRONGN.) UNG. – Europäische Wasserfichte (Z, G)

MENZEL erkannte die Europäische Wasserfichte im Zünggelibach in Arth (**Abb. 8**). Am Gnipen sind nur wenige von blattartigen Schuppen besetzte Zweige gefunden worden. Ihre nächste Verwandte ist *G. pensilis* (STAUNTON) K. KOCH von SW-China.

Sequoia langsdorfii (BRONGN.) HEER – Küsten-Sequoie (Z, G)

MENZEL fand *Sequoia langsdorfii* am Gnipen (**Abb. 9**). Die Art ist mit der heute an der Westküste von Kalifornien bis über 100m hohen Küsten-Sequoie zu vergleichen.

Sequoiadendron couttsiae HEER – eine dem Mammutbaum nahestehende Art (Z)

Die zwischen der rezenten *Sequoia sempervirens* ENDL. – Küsten-Sequoie und *Sequoiadendron giganteum* (LINDL.) BUCHHOLZ – Mammutbaum stehende Art vom Gnipen hat MENZEL (in BAUMBERGER & MENZEL 1914) erstmals in der schweizerischen Molasse nachgewiesen (**Abb. 10**).

Pinaceen – Föhren-Familie (R, G)

Zwischen Rufiberg und Ochsenboden und im Abrissgebiet des Goldauer Bergsturzes fand P. HOCH-

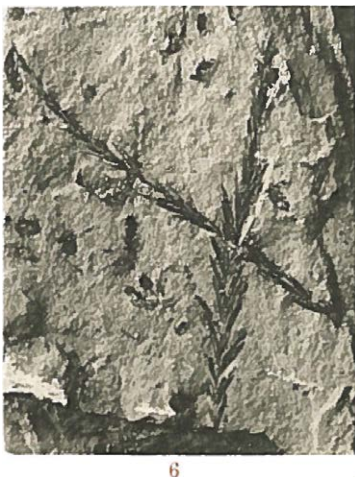


Abb. 8. *Glyptostrobus europaeus* (BRONGN.) UNG. – Europäische Wasserfichte, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 4 Fig. 6, 8, 10, nat. Grösse.





Abb. 9. *Sequoia langsdorffii* (BRONGN.) HEER – Küsten-Sequoie, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 4 Fig. 9, nat. Grösse.



Abb. 10. *Sequoiadendron couttsiae* HEER, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 4 Fig. 2, nat. Grösse.

ULI (1978, in FURRER et al. 2002) Pinaceen-Pollen in grosser Zahl. Da sich jedoch an den Fundstellen keine Grosseite – Nadeln, Zapfen und Samen – fanden, dürften Föhren und verwandte Nadelhölzer wohl weiter weg vom Altwasser, an eher trockeneren Standorten \pm waldbildend gewachsen sein.

6.3. Laubgehölze

Liquidambar europaea A. BRAUN – Europäischer Amberbaum (G)

Von *Liquidambar europaea* (Abb. 11) hat MENZEL vom Gnipen drei Exemplare von drei- und fünfflappigen Blättern abgebildet (Abb. 12). Ebenso ist das von ihm auf S. 67 in Taf. 4 Fig. 1 als *Araliophyllum denticulatum* n. sp. bezeichnete Blatt – trotz aufgeführter abweichender Merkmale – wohl ebenfalls zu *Liquidambar europaea* zu stellen. Schon ETTINGSHAUSEN & KRAŠAN (1890) erkannten, dass die nordamerikanische *L. styraciflua* L., je nach Stellung am Zweig und Entwicklung, verschiedene Blattformen ausbildet: an Frühjahrstrieben Blätter mit kurzem, bogenförmig begrenztem Mittellappen, an endständigen Sommertrieben tiefer eingeschnittene mit verlängertem, sich zuspitzendem, am Grunde etwas verschmälertem Mittellappen. Wipfelständige Blätter zeigen zuweilen eine Doppellappung. Auch die über



Abb. 11. *Liquidambar europaea* A. BRAUN – Europäischer Amberbaum, von Rothenthurm. Fossilsammlung des Geologischen Institutes der ETH Zürich, Foto M. Küchler, $\frac{1}{4}$ nat. Grösse.

3300 Exemplare in den mittelmiozänen Schrotzburger Mergeln (HANTKE 1954, 1966, 2019a) belegen die sehr variable Blattgestalt bei dieser Art.

A. BRAUN (1836, 1845) hat die Öhninger Amberbaum-Blätter als eigenständige, ausgestorbene Art, als *L. europaea*, beschrieben, denn die Öhninger Blätter stimmen in ihrer Form weder mit *L. styraciflua* L. noch mit der kleinasiatischen *L. orientalis* MILL. völlig überein. An den Öhninger Fundstellen im Schrotzburger Tobel überwiegen dreilappige Blattformen, wogegen am Rossberg fünfklappige Blät-

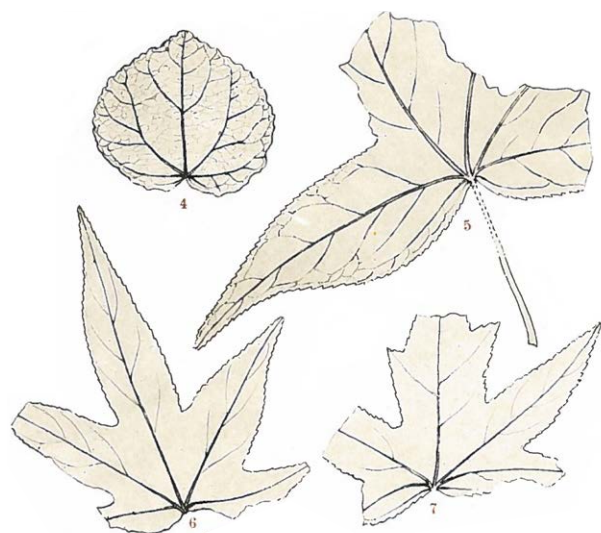


Abb. 12. *Liquidambar europaea* A. BRAUN – Europäischer Amberbaum, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 2 Fig. 5–7, $\frac{2}{3}$ nat. Grösse (Fig. 4 *Cercidiphyllum crenatum*).

ter häufig sind und dreilappige Blätter eher zurücktreten. Die Schrotzburger Blätter erinnern an jene von *L. formosa* HANCE von Mittelchina und an die Varietät *monticola* REHD. & WILS. von W-Hupeh und E-Setschuan. Die *Liquidambar*-Blätter vom Gnipen lassen sich dagegen bestens mit denen der rezenten *L. styraciflua* des atlantischen Nordamerika vergleichen, bei der dreilappige Blätter ebenfalls eher selten sind.

Am Gnipen wurden auch später wiederholt intensiv Amberbaum-Blätter gesammelt; ebenso fanden sich mehrere Exemplare in der Sammlung von F. Schneider. Amberbäume waren somit am Gnipen ziemlich verbreitet, was auch die von HOCHULI (in FURRER et al. 2002: 4) abgebildete Platte zeigt.



***Carya heeri* (ETT.) HEER – Heers Hickory (G)**

Den als *Araliophyllum speckii* n. sp. bezeichneten Blattrest vom Gnipen (Abb. 13) hat MENZEL als Teilblättchen einer Araliacee betrachtet und mit mehreren Gattungen Ostindiens, Mexikos und Chiles in Verbindung gebracht, wobei er aber bei keiner eine vollständige Übereinstimmung feststellen konnte. Weit eher ist der Rest als Fiederblättchen von *Carya heeri* (ETT.) HEER zu deuten, umso mehr als MENZEL in Taf. 4 Fig. 5 einen Blattrest als cf. *Pterocarya heerii* (ETT.) SCHIMP., ebenfalls eine Juglandacee, ein Walnuss-Gewächs, erwähnt hat. Mit *Carya heeri* zeigt auch der als *Araliophyllum speckii* n. sp. bezeichnete Rest eine gute Übereinstimmung. U. OBERLI (in HANTKE et al. 2006) hat von diesem Walnuss-Baum im früh-mittelmiozänen Mergel des Dorfbaches von Wattwil (Kt. St. Gallen) ein ganzes gefiedertes Blatt mit noch anhaftenden Fiederblättchen gefunden. Dieses stimmt in Form, Feinnerva-

Abb. 13. *Carya heeri* (ETT.) HEER – Heers Hickory, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 2 Fig. 1, von MENZEL noch als *Araliophyllum speckii* n. sp. bezeichnet, nat. Grösse.



Abb. 14. *Platycarya* – Zapfennuss, von Rothenthurm. Fossil-sammlung des Geologischen Institutes der ETH Zürich, Foto M. Küchler, ½ nat. Grösse.

tur und im Blattrand mit der rezenten *C. aquatica* (F. MICHX) NUTT. – Wasser-Hickory überein. *Carya heeri* tritt in der höheren Unteren Süsswassermolasse und in den der tieferen Oberen Meeresmolasse entsprechenden fluvial-terrestrischen Ablagerungen auf (HANTKE et al. 2006). Als rezente Vergleichsart drängt sich, wie schon HEER (1859, 93) erkannt hat, die bis 20 m hohe Wasser-Hickory auf; doch sind die Fiederchen eher noch etwas schmäler als bei dieser Vergleichsart. *C. aquatica* wächst im Süden des atlantischen Nordamerika an Flussläufen und in Sümpfen des Mississippi (HANTKE 2006).

***Platycarya* – Zapfennuss (G)**

Der von MENZEL als *Sapindophyllum denticulatum* n. sp., als Laubblatt vom Typ *Sapindus* – Seifenbaum bezeichnete Rest vom Gnipen ist wohl ein Fiederblättchen einer Juglandacee, eines Walnuss-Gewächses. HOCHULI (in FURRER et al. 2002) erwähnt Pollen einer solchen als *Platycarya* – Zapfennuss (Abb. 14 und 15), die als Strauch oder kleiner Baum heute mit einer einzigen Art, mit *P. strobilacea* S. & Z., in China vorkommt.



Abb. 15. *Platycarya* – Zapfennuss, Fiederblättchen aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 2 Fig. 16, als *Sapindophyllum denticulatum* n. sp. benannt, nat. Grösse.

Cercidiphyllum crenatum

(UNGER) R. BROWN – Katsurabaum (G)

Am Gnipen waren Blätter von *Cercidiphyllum crenatum* (Abb. 16), ein Baum, der dem heutigen *C. japonicum* S. & Z., dem Katsurabaum, nahesteht, relativ

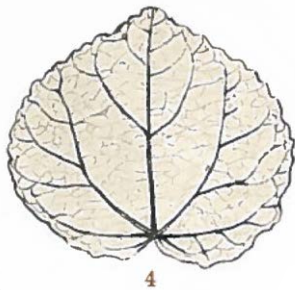


Abb. 16. *Cercidiphyllum crenatum* (UNGER) R. BROWN – Katsurabaum, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 2 Fig. 4, noch als *Grewia crenata* (UNG.) HEER bezeichnet, nat. Grösse.

häufig. HOCHULI (in FURRER et al. 2002) hat ein vergrössertes Blatt vom Gnipen als Titelbild abgebildet. MENZEL bezeichnete derartige Blätter noch als *Grewia crenata* (UNGER) HEER. HEER glaubte noch 1859, diese Blätter mit denen von *Grewia*, von *G. occidentalis* L. und *G. echinulata* DEL., afrikanischen Linden-Gewächsen, vergleichen zu können. Doch bei der Bearbeitung seiner fossilen arktischen Flora fand er (HEER 1877: 85) wie später auch MENZEL, dass «bei dem Blatte auch an *Cercidiphyllum japonicum* S. & Z. gedacht werden kann, mit dessen Blättern es viel Übereinstimmung aufweist». Die Übereinstimmung ist sehr gut, und auch das Vorkommensgebiet ist weit plausibler.

Ferner hat schon MENZEL (S. 64, Taf. 2 Fig. 17) vom Gnipen noch ein elliptisches, nach der Basis etwas verjüngtes Blatt als *Zizyphus tiliaefolius* (UNGER) HEER erwähnt, «das von der Mehrzahl der als *Z. tiliaefolius* beschriebenen Blätter darin abweicht, dass die unteren Seitennerven etwas oberhalb des Stielansatzes vom Mittelnerv ausgehen». Ausserdem zeigt das von MENZEL abgebildete Blatt nur wenige Sekundärnerven im vorderen Teil. Ob die Art gesichert ist oder ob der Rest allenfalls zu *Cercidiphyllum crenatum* zu stellen ist, kann nur mit reicheren Fundgut oder – wenn es die Lamina erlaubt – mit einer Kutikularanalyse entschieden werden.

***Persea princeps* (HEER) SCHIMPER – Avocado (G)**

Von diesem Lorbeergewächs fanden sich in den kalkig-siltigen Mergeln des Gnipen mehrere kleinere Blattreste. Die Blätter beginnen spitz und enden mit einer zuletzt etwas sanfter werdenden Spitze. Neben den regelmässig ansteigenden Seitennerven weisen die Blätter Seitennerven auf, die durch Queranastomosen verbunden sind. Am Rossberg fanden sich nur wenige, aber aufgrund der Seitennerven und des polygonalen Nervillen-Netzwerkes eindeutige Exemplare. Die heutige Vergleichsart ist *P. indica* (L.) K. SPRENG. – Avocado, die auf Madeira, den Azoren und auf den Kanaren heimisch ist. Diese steigt dort von rund 500 m bis auf 1700 m empor, was einem Vorkommen bei 15–9 °C mittlerer Jahrestemperatur entspricht.

***Cinnamomum polymorphum* (A. BRAUN) HEER – Campherbaum (B, Z, R, G)**

Der sowohl in der Unteren wie in der Oberen Süsswassermolasse der Schweiz ausserordentlich verbreitete Campherbaum (Abb. 17) findet sich am Rossberg besonders in den durch Nagelfluhbänke getrennten Mergellagen am Strässchen Rufiberg–Ochsenboden mit relativ grossen Blättern recht häufig. RISSI (1968) hat dort solche in mehreren Exemplaren aufgefunden, während Reste von anderen Arten dort eher zurücktreten.

Neben den drei in Abb. 17 wiedergegebenen Blättern wies MENZEL ein kleines Blättchen (Taf. 1 Fig. 7) zu *C. scheuchzeri*, eine Art, die auch KAUFMANN (1872) vom Gnipen angeführt hat; ein weiteres Blättchen, bei dem die Blattspitze nicht erhalten ist (Taf. 2 Fig. 11), beschrieb MENZEL als *Laurophyllum* sp. Angesichts der Vielzahl an Blattformen bei den Funden in den Schrotzburger Mergeln dürften diese beiden Reste ebenfalls zu *C. polymorphum* zu stellen sein; doch sind die chattischen Blattreste im Durchschnitt etwas grösser als jene von den Öhninger Fundstellen.

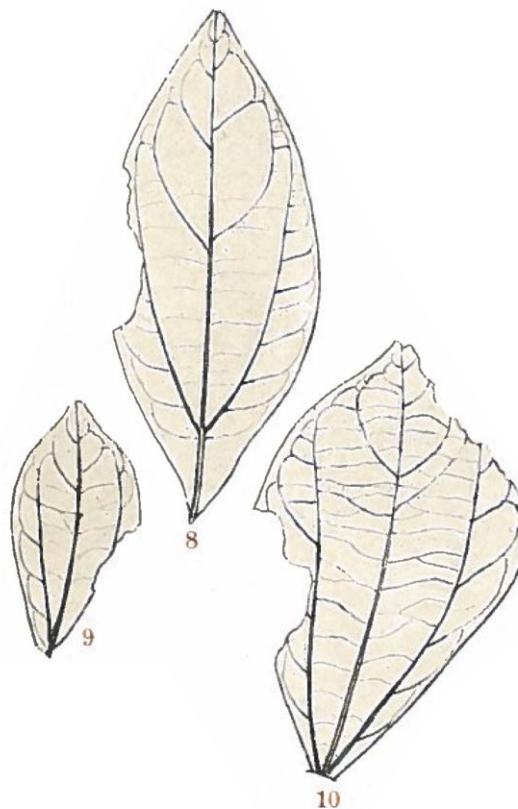


Abb. 17. *Cinnamomum polymorphum* (A. BRAUN) HEER – Campherbaum, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 2 Fig. 8, 9, 10, nat. Grösse.



Abb. 18. *Alnus gaudini* (HEER) KNOBLOCH & KVAČEK – Gaudins Erle, von Rothenthurm. Fossilsammlung des Geologischen Institutes der ETH Zürich, Foto M. Küchler, $\frac{2}{3}$ nat. Grösse.

***Alnus gaudini* (HEER) KNOBLOCH & KVAČEK – Gaudins Erle (R, G)**

Die von MENZEL vom Gnipen als *Rhamnus gaudini* HEER bezeichneten Blätter – wie auch die von HEER (1859: 79, Taf. 125, Fig. 1, 7, 13) noch als *Rh. gaudini* bezeichneten Exemplare – stammen nicht von *Rhamnus*, einem Kreuzdorn, sondern von *Alnus*, einer relativ schmalblättrigen Erle (**Abb. 18 und 19**), was schon KNOBLOCH & KVAČEK in ihren Floren bemerkt haben. Da am Gnipen auch eindeutige Fruchtzapfen einer Erle auftreten, Früchte von *Rhamnus* dagegen nicht nachgewiesen sind, ist die Zuordnung dieser Blätter zu *Alnus* höchst wahrscheinlich.

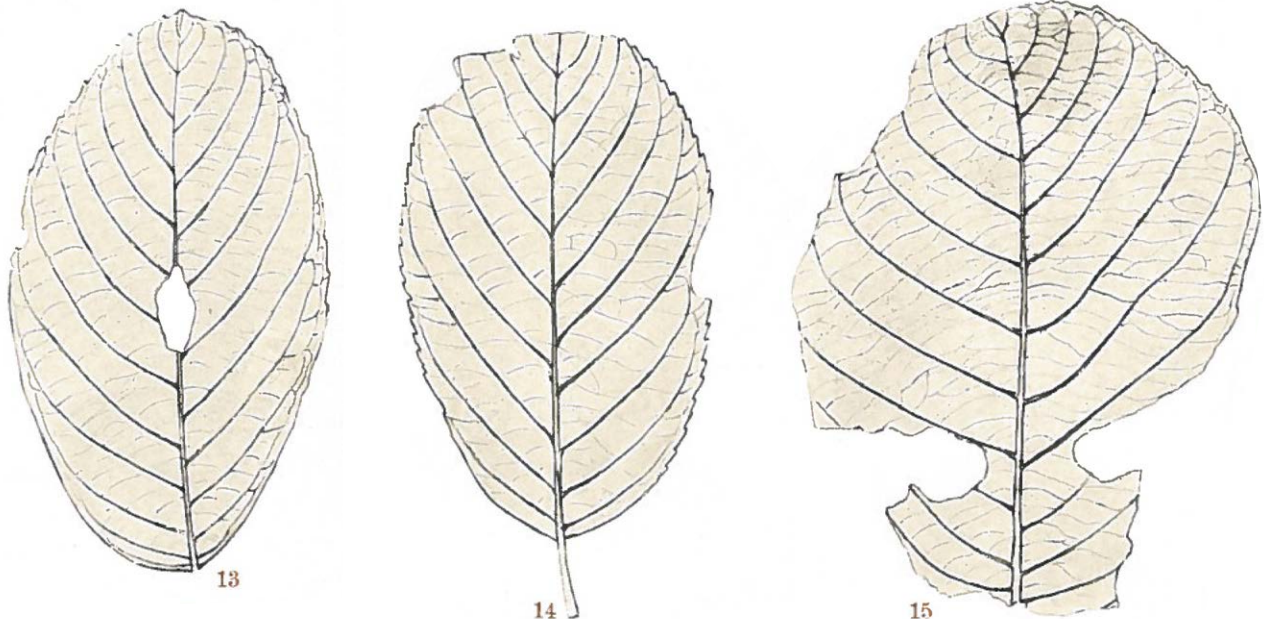


Abb. 19. *Alnus gaudini* (HEER) KNOBLOCH & KVAČEK – Gaudins Erle, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 2 Fig. 13–15, nat. Grösse.

***Populus balsamoides* GOEPP. – Balsamartige Pappel (G)**

Von *Populus balsamoides* fanden sich am Gnipen nur wenige Exemplare. HEER (1856: 18 f., 1859: 173) hat ausserdem Blätter von *P. balsamoides* sowie zwei Früchtchen aus der Molasse d'eau douce inférieure, «Aquitanien» aus dem Tunnel de Lausanne erhalten, ebenso Blätter von Oberägeri, wohl jüngstes Chattien. Vor allem aber ist *P. balsamoides* in der Oberen Süsswassermolasse weit verbreitet: in Neftenbach, oberhalb Rorbas, am Irchel, am Albis, in Le Locle, Wangen am Untersee, Berlingen TG und besonders im Tobel unter der Schrotzburg (HANTKE 1954). Mit den Blättern am Gnipen und in Rufiberg–Ochsenboden trat diese Pappel bereits im jüngeren Chattien auf.

***Zizyphus ungeri* HEER – Judendorn (B)**

Die Blätter von *Zizyphus ungeri* stimmen gut mit HEERS (1859) Blatt auf seiner Taf. 122 Fig. 25 und 25b aus dem früh-chattischen Sandstein von Ralligen am Thunersee und von Ennethorw überein. HEER hat diese mit dem rezenten *Z. sinensis* LAM. aus dem östlichen China und von Japan verglichen. *Z. ungeri* ist an Lagen in geringer Meereshöhe für das oberste Mittel- und das unterste Ober-Oligozän charakteristisch.

***Zizyphus tiliaefolius* (UNG.) HEER – Judendorn (G)**

Ein Blattrest (**Abb. 20**) hat MENZEL zu *Zizyphus tiliaefolius* (UNG.) HEER gestellt, während ein ähnlicher Rest vom Höhrönen (HANTKE in SUTER 1956) noch als *Celtis tiliaefolia* UNG. bezeichnet worden ist. Doch bei *Celtis* – Zürgelbaum – gehen die bei-



Abb. 20. *Zizyphus tiliaefolius* (UNG.) HEER – Judendorn, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 2 Fig. 17, nat. Grösse.

den basalen Seitennerven nicht von einer herzförmig eingebuchteten Blattbasis weg. Zudem zeigen die Seitennerven bei *Zizyphus* zahlreiche bogenförmig ansteigende Aussenäste, die sich in Randnähe mit dem nächst höheren verbinden. Auch vom Mittelnerv steigen einige feinere Seitennerven leicht bogenförmig an. Von diesen gehen bogenförmig Aussenäste ab, die sich ebenfalls in Randnähe mit dem nächst höheren Seitennerv verbinden.

***Acer dasycarpoides* HEER – dreilappiger Rot-Ahorn (Z)**

Die Ahorn-Blätter aus der Unteren Süsswassermolasse, die denen von *Acer tricuspidatum* A. BR. aus der Oberen Süsswassermolasse (HANTKE 2019a) recht ähnlich sind, sich aber von diesen in der Zähnung etwas unterscheiden, werden als *A. dasycarpoides* HEER bezeichnet. MENZEL lagen mehrere unvollständig erhaltene Blätter vom Zünggelibach (Arth) vor (**Abb. 21**).

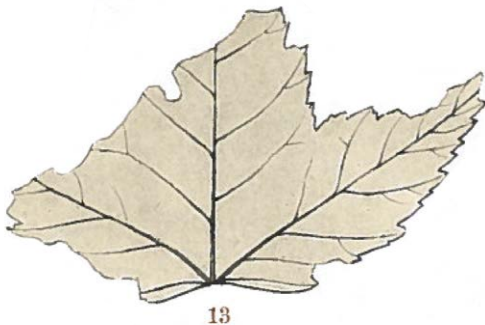


Abb. 21. *Acer dasycarpoides* HEER – dreilappiger Rot-Ahorn, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 1 Fig. 13, von MENZEL noch als *A. trilobatum* (STBG.) A. BR. bezeichnet, nat. Grösse.



Abb. 22. *Berchemia multinervis* (A. BRAUN) HEER, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 1 Fig. 15, nat. Grösse.

***Berchemia multinervis* (A. BRAUN) HEER (Z)**

Ein kleines, zarthütiges ovales Blättchen mit bogenförmigen Seitennerven und zahlreichen gegen den Rand leicht ansteigenden Queranastomosen vom Zünggelibach, Arth, weist MENZEL (**Abb. 22**) zu *Berchemia*. Diese Rhamnacee – Kreuzdorn-Gewächs – ist sowohl in der Unteren wie in der Oberen Süsswassermolasse verbreitet. Schon HEER (1859) hat *Berchemia multinervis* mit *B. volubilis* (L. f.) DC = *B. scandens* (HILL) K. KOCH, einem würgenden Schlingstrauch, verglichen. Dieser ist im atlantischen Nordamerika, in Carolina, Virginia und Florida, heimisch.

***Zelkova zelkovaefolia* (UNGER) BUZEK & KOTLABA in KOTLABA – Wasserulme (G)**

Blätter von *Zelkova* – Wasserulme sind im Bergsturzgebiet selten. Der Name *Zelkova zelkovaefolia* (UNGER 1843) BUZEK & KOTLABA in KOTLABA (1963) hat gegenüber dem oft als *Zelkova ungeri* KOVATS 1856 verwendeten Namen Priorität. Synonymie-Listen haben KOVAR-EDER (1988) und BELZ & MOSBRUGGER (1994) geliefert. Die relativ grossen Blätter sind – aufgrund der Randzähne und der Nervatur mit einem in eine Zahnbucht verlaufenden Aussenast – mit der kaukasischen *Z. carpinifolia* (PALL.) K. KOCH zu vergleichen. Die gut entwickelte Blattspreite weist auf reichliche Wasserführung im Rossberg-Altwasser hin.

***Platanus aceroides* GOEPPERT – Ahornartige Platane (G)**

Platanen-Blätter sind am Gnipen eher selten, doch aufgrund der Randzähne und des markanten Nervillennetzwerkes eindeutig belegt. Auch HOCHULI (in FURRER et al. 2002) erwägt einen abgebildeten Blattrest als zu *Platanus* gehörig. Eine sichere Artzuweisung ist – aufgrund der wenigen Reste von Gnipen-Gribsch – aber kaum möglich.

Ein Vergleich mit Funden in den mittelmiozänen Ablagerungen von Schrotzburg (HANTKE 1954) lässt die Zugehörigkeit zu *P. aceroides* GOEPP. als wahrscheinlich erscheinen. Die Unterschiede der gegen 2400 Schrotzburger Platanen-Blätter sind gleitend, selbst über eine Mergelabfolge von 1,5 m hinweg, was ohne Schichtlücken einem Zeitraum von mindestens 1000 Jahren entsprechen dürfte. Deshalb wurden schon die Schrotzburger Platanenblätter einer einzigen Art, *P. aceroides* GOEPP., zugeordnet.

***Quercus buchii* O. WEBER –
von Buch's Eiche (G)**

Im Abrissgebiet des Goldauer Bergsturzes ebenfalls selten ist *Quercus buchii* – eine Eiche mit spärlich und nur wenig tief gelappten Blattformen (HANTKE 1964, vgl. Abb. 32). Als rezente Vergleichsarten zog WEYLAND (1938: 136, 1944: 122) die beiden nordamerikanischen Eichen *Q. obtusiloba* MICHX. (= *Q. stellata* WANGH.) und *Q. alba* L. heran. Eine nähere Verwandtschaft möchte er damit aber nicht belegen.

***Parrotia* – Eisenholzbaum (G)**

Die wenigen am Gnipen und am Morgartenberg aufgefundenen Blätter von *Parrotia* stehen in Umriss, gewellt-gelapptem Blattrand, Nerven und Nervillen, denen der nordpersischen *P. persica* (DC.) C. A. MEY., einem breitausladenden Strauch aus der Familie der Hamamelidaceen – Zaubernuss-Gewächse – nahe.

***Ilex* – Stechlaub (G)**

HOCHULI (1978, in FURRER et al. 2002) hat ein Blatt abgebildet (Abb. 23), das er zu *Ilex* – Stechlaub – stellen möchte, was auch die von ihm in den Mergeln festgestellten Pollen rechtfertigen.



Abb. 23. *Ilex* – Stechlaub, aus P. HOCHULI in FURRER et al. 2002.



5

***Myrica hakeaefolia* (UNGER) DE SAPORTA – Wachsbeer-Strauch (Z)**

Als *Myrica hakeaefolia* hat MENZEL einen derb-lederigen, schmallanzettlichen Blattrest abgebildet (Abb. 24), dessen linker Blattrand umgerollt ist, während der rechte vereinzelt, entfernt stehende Randzähne zeigt. UNGER (1847) hat derartige Blätter noch als *Dryandroides hakeaefolia* mit *Hakea ceratophylla* R. BR. verglichen. DE SAPORTA (1863) dagegen – und ihm folgend auch HEER (1869) – stellten solche Blätter zur Gattung *Myrica* L. Beide Autoren verglichen sie mit der südamerikanischen *M. macrocarpa* H. & B. Daneben führt MENZEL noch einige weitere *Myrica*-Arten mit vergleichbaren Blättern an.

Abb. 24. *Myrica hakeaefolia* (UNGER) DE SAPORTA – Wachsbeer-Strauch, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 1 Fig. 5, ¼ nat. Grösse.



17

Abb. 25. cf. *Andromeda protogaea* UNGER – Vorwelt-Rosmarinheide, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 1 Fig. 17, ¼ nat. Grösse.



12

Abb. 26. *Andromeda vacciniifolia* UNGER – Moorbeerblättrige Rosmarinheide, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 2 Fig. 12, nat. Grösse.

**cf. *Andromeda protogaea* UNGER –
Vorwelt-Rosmarinheide (Z)**

Ein derbes Blattfragment von Arth, Zünggelibach, dessen Form, Textur und Nervation gut mit den als *Andromeda protogaea* (UNGER 1850) und von weiteren Autoren beschriebenen Blättern übereinstimmt, hat MENZEL als cf. *A. protogaea* (Abb. 25) aufgeführt und als rezente Vergleichsarten neben zwei südamerikanischen Arten, die europäische *A. polifolia* L. – Rosmarinheide genannt. HEER hat auch *A. eucalyptoides* DEC. des subtropischen Amerika genannt.

***Andromeda vacciniifolia* UNGER –
Moorbeerblättrige Rosmarinheide (Z, G)**

Ausser in Arth, im Zünggelibach, (BAUMBERGER & MENZEL 1914: 42 Taf. 3 Fig. 6d) fand sich ein Blatt dieser Art auch im Abrissgebiet des Goldauer Bergsturzes (Abb. 26). Das Blatt stimmt gut mit den von HEER (1869) aus der baltischen Miozänflora von Rixhöft abgebildeten Blättern überein. UNGER verglich seine als *A. vacciniifolia* bezeichneten Blätter mit der rezenten nordamerikanischen *A. calyculata* L.

ETTINGHAUSEN (1891: 21) vertrat die Ansicht, dass *Andromeda vacciniifolia* UNG. von *A. protogaea* UNG. nicht zu trennen wäre und dass mit dieser noch eine ganze Reihe fossiler *Andromeda*-Formen HEERS und DE SAPORTAS zu vereinigen wären.

**cf. *Echitonium cuspidatum* HEER –
Klammerstrauch (G)**

Der von MENZEL (Taf. 2 Fig. 2) wiedergegebene Blattrest, den er als cf. *Echitonium cuspidatum* mit den von HEER (1859: S. 192, Taf. 154 Fig. 4–6) aus der Oberen Süsswassermolasse von Le Locle abgebildeten Blättern verglichen hat, zeigt aber kaum Einzelheiten. Ohne Nennung einer heutigen Vergleichsart hat HEER *E. cuspidatum* zu den Contortae,

einer verwachsen-kronigen Blütenpflanzen-Ordnung, gestellt. Nach MENZEL unterscheidet sich sein Rest vom Gnipen in der ziemlich derben Konsistenz. Da zudem weder Blattbasis noch Blattspitze erhalten sind und auch von der Feinnervatur nichts zu erkennen ist, muss die Deutung fraglich bleiben.

6.4. Monocotyledonen

Typha latissima A. BRAUN – Rohrkolben (G)

An Monocotyledonen erkannte schon MENZEL Blattreste vom Gnipen als *Typha latissima* A. BR., welche der lebenden *T. latifolia* L., dem Breitblättrigen Rohrkolben, an Ufern unserer Gewässer nahesteht.

Poacites sp. – Rispengras (G)

Ebenso lagen MENZEL mehrere nicht näher bestimmbare Blattfragmente einer schmalblättrigen, monocotylen Rispengras-artigen Pflanze vor.

Zingiberites multinervis HEER – Ingwer ? (G)

Vom Rossberg hat schon HEER (1859: 172, Taf. 148 Fig. 13–15) *Zingiberites*-Reste erwähnt; doch hat MENZEL unter dem ihm vorliegenden Material keine weitere derartige Reste gefunden.

Cyperus chavannesi HEER – Cypergras (Z, G)

Bei den von MENZEL (Taf. 4 Fig. 3a, 7; **Abb. 27**) als *Cyperus chavannesi* HEER (1855: 72, Taf. 22 Fig. 7, Taf. 28 Fig. 1, 1859: 167, Taf. 146 Fig. 22) bezeichneten breiten, monocotylen Blattresten mit kielartig vortretender Mittelrippe und beidseitig 10–15 deutlich ausgeprägten Parallelnerven, verlaufen dazwischen feinere Längsnerven. Diese sind durch zarte Quernerven untereinander verbunden, die bis zu den stärkeren Längsnerven durchhalten. Die Zugehörigkeit zur Gattung *Cyperus* L. kann aber nicht als gesichert gelten.

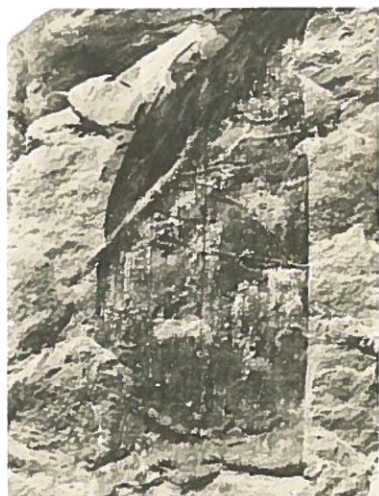


Abb. 27. *Cyperus chavannesi* HEER – Cypergras, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 4 Fig. 7, nat. Grösse.

cf. *Cyperites deucalionis* HEER – Cypergras ? (Z)

Ob es sich bei dem von MENZEL mit *Cyperites deucalionis* HEER verglichenen Rest wirklich um einen Cyperaceenrest handelt, kann MENZEL nicht sicher entscheiden, da die derbe Beschaffenheit auch an eine Restionacee oder einen Palmblattrest denken lässt.

Chamaerops helvetica HEER – Helvetische Zwergpalme (G)

Frau Ruth Pappa hat oberhalb Gribisch ein Blatt einer Fächerpalme, von *Chamaerops helvetica*, gefunden. HEER hat als heutige Vergleichsart *Ch. humilis* L. genannt. Da rezente Zwergpalmen schon bei einer mittleren Jahrestemperatur von 13 °C fruchten, ist sie – zusammen mit *Cinnamomum polymorphum* – für die Charakterisierung des Paläoklimas, insbesondere für die Paläotemperatur der Rossberg-Fundstellen Gnipen-Gribisch von Bedeutung.

Restionaceen (R, G)

Aufgrund von Pollen konnte HOCHULI (1978, in FURRER et al. 2002) eine grasartige Pflanze, eine Restionacee, belegen. Restionaceen kommen heute nur noch auf der Südhalbkugel und in Indien vor. Damals wuchsen sie aber offenbar auch in Mitteleuropa an etwas trockeneren Standorten, die heute von Grasfluren eingenommen werden.

6.5. Blattreste mit noch unsicherer Zuordnung (G)

Ein lanzettliches, in eine Spitze auslaufendes Blatt hat MENZEL (Taf. 1 Fig. 1b) zu *Cornus studeri* HEER – Studers Hartriegel, ein Hornstrauch – gestellt (**Abb. 28**). Diese in der Unteren Süsswassermolasse auftretende Art verglich HEER (1859) mit dem europäischen *Cornus sanguinea* L., dem Roten, und mit dem ostasiatischen *C. alba* L., dem Weissen Hornstrauch. Bei Blättern von *C. sanguinea* reichen jedoch die bogenförmig aufsteigenden Seitennerven nicht so weit hinauf wie bei *C. studeri*; doch finden sich bei *Cornus* noch weitere Arten, die sich mit *C. studeri* vergleichen lassen.

Unter dem zu *C. studeri* gestellten Blatt liegt in MENZELS Taf. 1 Fig. 1a (**Abb. 28**) ein Blatt vor, das MENZEL mit den in Fig. 2 und 3 wiedergegebenen Blättern als *Apeibopsis obliqua* n. sp. bezeichnet hat. Auch HEER (1859, Taf. 109 Fig. 9–11) hat ähnlich gestaltete, aber unvollständig erhaltene Blätter, welche GAUDIN (in GAUDIN & DELAHARPE 1856: 31) aus den Mergeln von Rivaz am Genfersee, einer Mergellage in den ins Chattien gestellten Poudingues du Mont Pèlerin (WEIDMANN 1988), als *Pterospermum deloesi* beschrieben hat, in die Nähe von *Apeibopsis* gestellt. Doch weichen MENZELS Blätter durch ihre

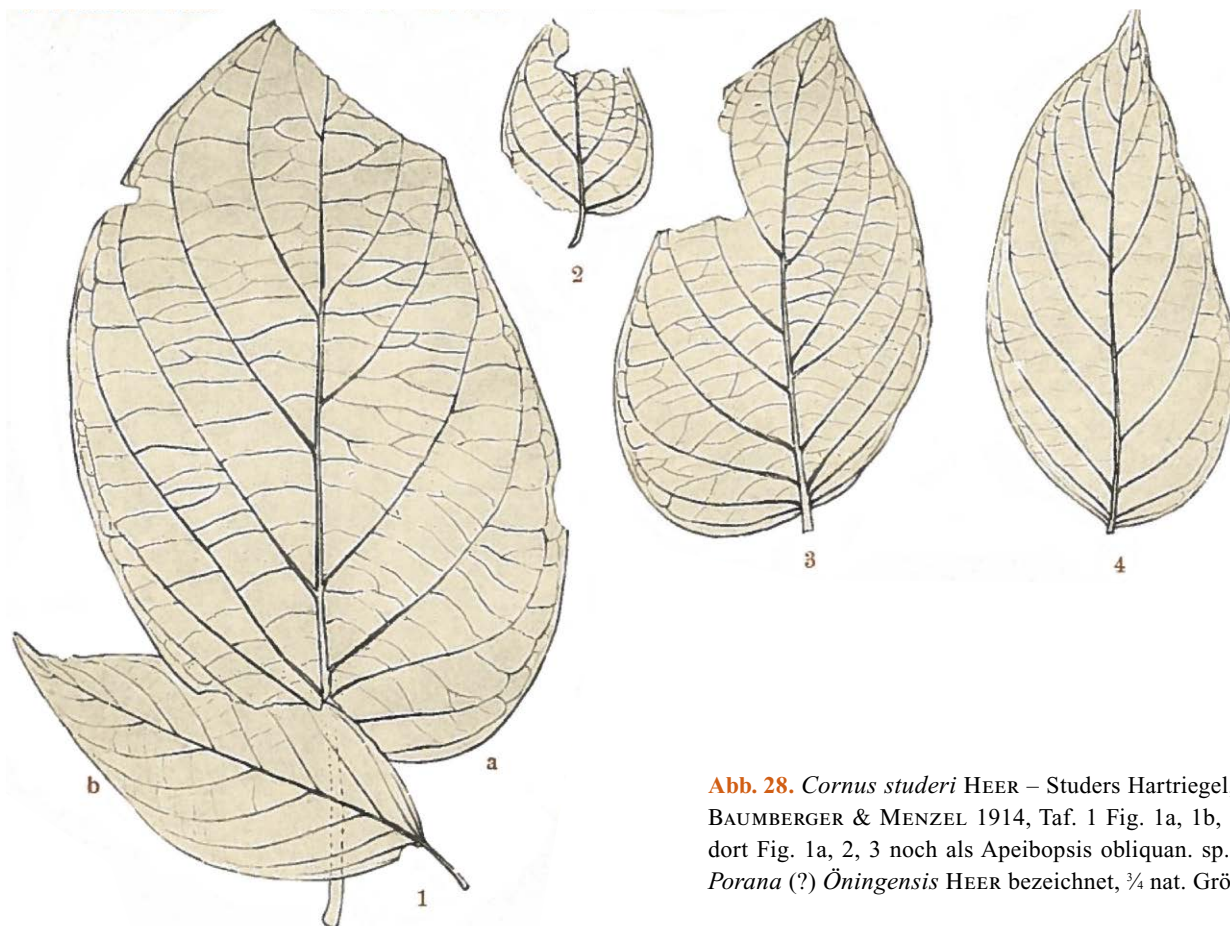


Abb. 28. *Cornus studeri* HEER – Studers Hartriegel, aus BAUMBERGER & MENZEL 1914, Taf. 1 Fig. 1a, 1b, 2, 3, dort Fig. 1a, 2, 3 noch als *Apeibopsis obliquan.* sp. und *Porana* (?) *Öningensis* HEER bezeichnet, $\frac{3}{4}$ nat. Grösse.

Asymmetrie und allmählichere Verjüngung zur Spitze davon ab. Die Zugehörigkeit von *Apeibopsis* zur heutigen Gattung *Apeiba* AUBL., zu einer Tiliacee – Linden-Gewächs, war schon für HEER nicht zweifelsfrei. Jedenfalls sind die Früchte von *Apeibopsis* zu den Styracaceen – Storax-Gewächsen zu stellen (HANTKE 1973).

Ein weiteres *Apeiba*-ähnliches Blatt hat MENZEL in Fig. 4 als *Porana* (?) *oeningensis* – Brautstrauß abgebildet. Dieses sieht jenem von HEER (1859, Taf. 103 Fig. 25) ähnlich. Hierher dürfte auch MENZELS *Adina helvetica* n. sp. (Taf. 1 Fig. 8, 9) zu stellen sein. MENZEL hat sie mit *A. racemosa* B. & H., einer chinesischen Rubiacee verglichen, aber noch mit weiteren Gattungen: *Premna*, *Clerodendron*, *Glossocarya* aus der Familie der Verbenaceen – Eisenkraut-Gewächse, *Pajanelia*, eine Bignoniacee, und Sterculiaceen genannt, alle mit ähnlich gestalteten und auch ähnlich innervierten Blättern. Auch die in Fig. 10 und 11 als *incertae sedis*, als *Phyllites styracinus* n. sp. wiedergegebenen Blattreste sehen ähnlich aus. Da jedoch eine wirkliche Übereinstimmung mit einer rezenten Art fehlt, können all diese Blätter ohne Kutikula-Untersuchung und allenfalls bestätigende Fruchtreste nicht sicher zugeordnet werden.

Weitere unbestimmbare Blattreste hat MENZEL als *incertae sedis* abgebildet, so vom Oberen Rossberg einen derben, lanzettlichen, vorn spitz zulaufenden Blattrest (Taf. 2 Fig. 3) mit welligem Rand, zartem Mittelnerv, von dem unter stumpfen Winkeln feine, entfernt stehende Seitennerven abgehen, als *Dryandroides undulata* HEER. Da selbst HEER die systematische Zugehörigkeit als zweifelhaft betrachtet hat, bleibt die Zuordnung offen.

7. Was fossile Pflanzenreste zu Paläoklima und Paläo-Orografie aussagen können

Da mehrere Pflanzenarten in der Unteren wie in der Oberen Süßwassermolasse auftreten, wird von den Leitfossil-Spezialisten stets ins Feld geführt, dass Pflanzenreste sich für die Stratigrafie nicht eignen würden. Doch der Aussagewert fossiler Pflanzen liegt oft in anderen Bereichen. Da sich bei Pflanzen im Laufe der Erdgeschichte weder die Ansprüche ans Klima noch an den Boden geändert haben, können sie präzise Aussagen zum Paläoklima und zum Boden liefern. Die evolutive Änderung in der Gestalt von Blättern, Früchten und Samen verlief oft *äusserst* langsam. Andererseits können Blätter, die an verschiedenen Stellen des Zweiges oder des

Baumes wachsen, in ihrer Form erheblich voneinander abweichen. Selten erhaltene fossile Zweige mit Blättern von verschiedenem Umriss sowie sehr zahlreiche Reste der gleichen Fundstelle geben Hinweise über die Variationsbreite der Blattform und erlauben allenfalls gewisse «Arten» zu einer einzigen Art zusammenzufassen.

Ferner gilt es, für die Fundstellen fossiler Pflanzen auch die Paläo-Orografie – wenigstens in Ansätzen – zu erarbeiten. Dabei ist schon das Ausmass der Subsidenz, die Absenkung der Abfolge während der Sedimentation unter ihrer Auflast, *unsicher*. Ebenso ist die ursprüngliche Höhenlage der einzelnen Molasseschollen, ihr Abtrag durch Lösung und durch den das Altwasser begleitenden Fluss vor und erst recht nach der tektonischen Verstellung oft nur schwer zu eruieren. Damit ist auch die Höhendifferenz des Flusses von der Fundstelle bis zur Mündung ins damalige Meer und die Rekonstruktion der Landschaft ein Problem mit vielen Unbekannten. Insbesondere ist die Höhenlage der Fundstelle zur Zeit der Ablagerung unsicher. Doch ist gerade die Kenntnis der Höhenlage der Floren wichtig, um Vergleiche über das Paläoklima der einzelnen Floren anstellen, und die Paläotemperatur ermitteln zu können. Diese gilt es auf ein vergleichbares Niveau, auf Meereshöhe, zu reduzieren, wobei 200 Höhenmeter etwa 1 °C entsprechen dürften.

8. Erdgeschichtliches Alter, Paläoklima, Paläo-Orografie und Floreninhalt der Fundstellen am Rossberg

Wie bei allen Fundstellen fossiler Reste – so bei den Öhninger Fundstellen (HANTKE 2019a) – gilt es auch am Rossberg das erdgeschichtliche Alter der Fundschichten möglichst genau zu ermitteln. Während HEER (1859) und BAUMBERGER (in BUXTORF 1913) Rigi- und Rossberg-Molasse noch der Aquitanischen Stufe zugewiesen haben, wird diese heute (SPECK 1953, HANTKE 2006) aufgrund leitender tierischer Reste ins späte Oligozän, ins Chattien, gestellt. Die Fundstelle am unteren Rufibach, ist dem frühesten, jene am Zünggelibach und am Fahrweg Rufiberg–Ochsenboden sind dem mittleren und jene im Abrissgebiet des Goldauer Bergsturzes dem späten Chattien zuzuweisen.

Von der Fundstelle Rufibach bis zu jener am Zünggelibach liegt eine 1350–1400 m mächtige Abfolge von Gesteinen der Unteren Süswassermolasse auf Unterer Meeressmolasse. Bei Annahme einer Subsidenz von $\frac{3}{4}$ – $\frac{4}{5}$ der geschütteten Mächtigkeit – leider ist schon dies eine Unbekannte – verbliebe für die Fundstelle zur Ablagerungszeit noch eine Höhenlage von 270–300 m ü. M. und ein Jahresmittel um

15 °C, sodass sich – umgerechnet auf Meereshöhe – eine um 1–1,5 °C höhere mittlere Jahrestemperatur ergäbe, also 16–16,5 °C. Die geringere Anzahl und Mächtigkeit der Nagelfluhbänke und die etwas kleinere Geröllgrösse deuten auf *eher etwas langsamer fliessende kühlzeitliche Muren* hin.

In den siltigen Mergeln einige hundert Meter darüber, sammelte A. RISSI (1968) zwischen Rufiberg und Ochsenboden Campherbaum-Blätter. Zur Ablagerungszeit dürfte das Jahresmittel dort aufgrund der Flora um 14–14,5 °C, auf Meereshöhe um 15,5–16 °C betragen haben.

In den Mergeln im Abrissgebiet des Goldauer Bergsturzes wurde *Glyptostrobus europaea* – Wasserfichte nur in geringer Anzahl gefunden, obwohl das Milieu ihren Ansprüchen entsprochen hätte. Ihre heutige Vergleichsart, *G. pensilis*, ist hierzulande nicht winterhart, was auf ein Jahresmittel zur Ablagerungszeit der Mergel von über 10 °C hinweist. Auch *Chamaerops helvetica* – Helvetische Zwergpalme, tritt im Abrissgebiet nur spärlich auf. Da diese Palme bei einem Jahresmittel unter 13 °C kaum fruchtet, dürfte im Abrissgebiet das Jahresmittel im Minimum 13 °C betragen haben. Auch *Cinnamomum camphora* – Campherbaum, die heutige Vergleichsart von *C. polymorphum*, fruchtet kaum unter 13 °C. Die Reste auf der basalen Abgleitfläche des Goldauer Bergsturzes stammen von einem Auenwald, der wahrscheinlich auf einer Höhenlage um 450–500 m bei einem Jahresmittel um 13,5–14 °C wuchs, in einem warm-gemässigten Cfa-Klima, einem Regenklima mit milden Wintern und nicht allzu heissen Sommern. In diesen Klimabereich passen auch die übrigen fossilen Pflanzen. Mehrere Arten ertrugen auch deutlich tiefere Mittelwerte, so *Liquidambar* – Amberbaum (HANTKE 2019a). Dies steht auch mit dem Temperaturmittelwert für die reiche fossile Flora des Siebengebirges bei Bonn in Einklang (WINTERSCHIED 2006).

Fruchtreste sind im Gebiet Gnipen–Gribsch recht spärlich vertreten und noch spärlicher aufgesammelt worden. Ob nicht gekeimte Samen allenfalls von Vögeln gefressen wurden, deren Existenz nachgewiesen ist (BRÄM 1954), oder Nagern als Nahrung dienen?

Wie bei den Öhninger Fundstellen der Oberen Süswassermolasse, so lassen sich auch aus den Pflanzenfundstellen in der Unteren Süswassermolasse am Rossberg Hinweise über die Landschaft und über die damaligen Wälder gewinnen. Da die häufigsten Reste oft liegen gelassen oder weitergegeben worden sind, kann der Floreninhalt der jetzigen Sammlungen die Mengenverhältnisse in den einstigen Wäldern nur bedingt darlegen. Aufgrund der nachgewiesenen, mit

rezenten Arten vergleichbaren Fossilresten existierte im Gebiet Gnipen–Gribsch im späten Oligozän eine Schwemmlandebene, bestockt von einem offenen, artenreichen mesophytischen Auenwald. Dieser säumte einen Zufluss zur damaligen Ur-Donau mit Einzugsgebiet in Ur-Mittelbünden, das in den Grundzügen wohl bereits damals ziemlich weit gestaltet war, aber noch einige hundert Meter höher lag. Die Mündung der Ur-Donau in die Paratethys, den nördlichen Teil des Mittelmeeres, lag im östlichen Oberbayern.

Zusammenfassend ergäben sich so für die chattischen Fundstellen als mittlere Jahrestemperaturen:

- Uferwald am unteren Rufibach, frühestes Chattien, praktisch auf Meereshöhe: 19–19,5 °C
- Fundstelle Züngelbach, frühes mittleres Chattien um 15 °C, auf Meereshöhe: 16,5 °C
- Fundstellen Rufiberg–Ochsenboden, mittleres Chattien um 14,5–15 °C, auf Meereshöhe: 16–16,5 °C
- Fundstellen am Gnipen–Gribsch, spätes Chattien um 13,5–14 °C, auf Meereshöhe: 15,5–16 °C

9. Fossile Floren am Südfuss der Rigi (W)

Für die spät-oligozänen Floren am Fuss der Rigi bei Weggis mit mehreren Resten von einer Fächerpalme ergibt sich – bei Annahme von $\frac{3}{4}$ – $\frac{4}{5}$ der Mächtigkeit der 900–1000 m mächtigen Sedimente bis zur Unteren Meeresmolasse – eine damalige Höhenlage um 200–250 m ü. M., um 17 °C, auf Meereshöhe reduziert gut 18 °C. Daneben erwähnt HEER noch weitere Pflanzenreste von Weggis. Doch dürfte hiervon ein Teil von einer noch tieferen, 50–100 m über der Unteren Meeresmolasse liegenden Fundstelle stammen, bei 18,5–19 °C, reduziert auf Meereshöhe bei 19–19,5 °C. O. WÜEST (1998) fand in einem neuen Aufschluss in diesen Ablagerungen Fächerpalm-Blätter, wohl von einer *Sabal*, einer wärme liebenderen Fächerpalme als *Chamaerops helvetica* HEER – Zwergpalme.

Diese deutlich weniger thermophile Zwergpalme konnte R. Butzmann noch in der Oberen Süßwassermolasse am Wannenberg bei Tengen (Baden-Württemberg) über der kühlzeitlich geschütteten Jüngeren Jura-Nagelfluh finden. Dass die Schüttung der Jura-Nagelfluhen, die Ältere in Kaltphasen, die Jüngere mindestens in Kühlphasen erfolgt waren, wurde schon in HANTKE (1986) erwogen.

10. Die chattischen Gesteinsabfolgen, fossile Floren um Rothenthurm und am Rinderweidhorn

Nach der Schüttung der gegen 30 m mächtigen Gnipen-Gipfel Nagelfluh und an der Rigi jener der Scheidegg-Nagelfluh endete die Sedimentation im Rigi/Rossberg-Fächer. Die beiden Nagelfluhabfolgen wurden erst in einer Spätphase der alpinen Gebirgsbildung durch eine Scherzone voneinander getrennt. Das Gebiet des Gnipen ragte wohl einige Zeit über das Schüttungsniveau empor; wie lange, ist ungewiss. Doch liegen auf der Südseite des Rossberg noch gut hundert Meter kühl- bis kaltzeitlich geschüttete, grobgeröllige Scheidegg-Nagelfluh bis zur Überschiebung durch helvetisches Alttertiär.

Da an den einzelnen Fundstellen zwischen Gnipen und Rothenthurm sowie weiter gegen Nordosten zum Rinderweidhorn meist nur wenige Reste gesammelt worden sind, ist auch bei diesen eine gesicherte Rekonstruktion des Waldes kaum möglich; doch geben die Reste immerhin einen Einblick in die Floren und erlauben das Paläoklima zu skizzieren.

Auf *Rapperen (Ra)* an der SW-Seite des Morgartenberg (Blatt Ibergereg), heute auf 1000 m, fand sich eine bescheidene Flora mit *Glyptostrobus* – Wasserfichte, *Taxodium* – Sumpfyzypresse, *Parrotia* – Eisenholzbaum, ein nord-persisches *Hamamelis* (Zaubernuss)-Gewächs, *Ulmus* – Ulme, *Alnus* – Erle und *Cinnamomum polymorphum* – Campherbaum.

Am *Rössliweidbach* an der Ostseite des Morgartenberg (**Rö**) fanden sich in 940 m Höhe: *Taxodium*, Erle und *Equisetum* – Schachtelhalm. Ergiebig war eine etwas höher gelegene Fundstelle auf 1010 m mit *Cinnamomum polymorphum*, *Taxodium dubium*, auch Holz, *Glyptostrobus*, *Liquidambar* – Amberbaum, Erle, *Carpinus* – Hagebuche, zudem ein Walnuss-Gewächs mit Fruchttrest, *Daphnogene* – ein ausgestorbener Lorbeer-Gewächs, *Myrica* – Wachsbeer-Strauch, *Parrotia* – Eisenholzbaum, *Berberis* – Berberitze, *Salix* – Weide und *Typha* – Rohrkolben.

Im *Schos* SW von Rothenthurm (**Sch**) fand R. Pappa: Sumpfyzypresse, Wasserfichte, Campherbaum, *Daphnogene ungeri*, Erle, *Vaccinium* – Moorbeere und *Myrica*. Eine weitere kleine Flora mit Wasserfichte, Sumpfyzypresse, Eisenholzbaum, Ulme und Campherbaum lieferte dort eine Fundstelle auf 1000 m ü. M.

An der Fundstelle *Rothenthurm* NE des *Letziturms (L)* barg Pappa in einer gelblichen Mergellage: Sumpfyzypresse, Wasserfichte, Campherbaum, *Daphnogene*, Erle mit einem Zäpfchen, *Vaccinium* – Moorbeere, *Pronephrium* – Schildfarn, *Typha* – Rohrkolben und Cyperaceen – Riedgräser. Die heute

überbaute Fundstelle wies in Fazies, Floreninhalt und überlagernder Nagelfluh eine auffällige Übereinstimmung mit der ebenfalls überbauten *Fundstelle Schos* auf. Damit scheint sich die Blattverschiebung in der Talung von Rothenthurm auch lithologisch und paläo-ökologisch zu bestätigen. Eine identische Flora lieferte eine Stelle in der Steiner Aa südlich Rothenthurm, die 1989 bei einem Unwetter überschüttet wurde (HANTKE 1991).

Aus der *St. Jost-Schuppe* sind von Teufsetzi (T) einige wenige Reste bekannt geworden (HEER 1859): Blätter von *Liquidambar europaea* A. BR. f. *protensa* mit stärker gelappter Spreite, *Populus balsamoides* GOEPP. – Balsam-Pappel, *Alnus gaudini* (HEER) – Gaudins Erle und Zapfen von *Pinus hampeana* (UNG.) – einer Föhre. Die eher arktotertiären Elemente deuten auf eine mittlere Jahrestemperatur von 11–12 °C hin. Bei Annahme einer bescheidenen Absenkung während der Ablagerung und einer abschätzbaren Verformung der Gesteinsabfolgen ergibt sich eine Meereshöhe um 400 m. Altersmässig ist die St. Jost-Abfolge jünger als die Karbonatreiche, aber älter als die Granitische Molasse, wohl spätes Chattien. Reduziert auf Meeresebene ergeben sich 13–14 °C.

Am *Rinderweidhorn* (Ri) nördlich der Sattellegg entdeckte H.-P. MÜLLER (1971) in der altersgleichen Stöcklichrüz–Speer-Schüttung eine Fundstelle mit *Taxodium*, reichlich Blätter von *Comptonia schranki*, einer Myricacee – Familie des Wachsbeer-Strauches, *Cinnamomum polymorphum* – Campherbaum, *Alnus gaudini* – Erle, *Ulmus*, *Acer ruemianum* – ein extrem schmallappiger Ahorn (Abb. 29), *Salix* – Weide und *Cladium* – Sägeried – sowie von einem jung-oligozänen Rüsselkäfer angefressene derbe Laubblätter. Dagegen ist das von HEER (1859:59) als *A. ruemianum* HEER von Wangen bei Oeningen eher ein Blatt von *A. angustilobum* HEER.

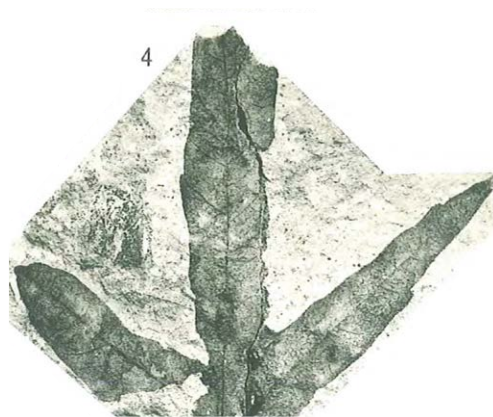


Abb. 29. *Acer ruemianum* HEER – ein extrem schmallappiger Ahorn, aus HANTKE 1964, Taf. 15 Fig. 4 aus den chattischen Mergelkalken vom Rinderweidhorn (Kt. Schwyz), $\frac{1}{5}$ nat. Grösse.

All diese fossilen Reste deuten auf ein warm-gemässigttes Regenklima mit einem Jahresmittel um 13–14 °C, auf Meereshöhe auf 15–16 °C.

11. Die Gesteinsabfolgen am Höhronen

Wenig später als die in Kapitel 10 dargelegten spät-chattischen bis früh-aquitane (?) Molasse-Ablagerungen wurde die extrem bunte (= kristallreiche) Höhronen-Schüttung mit Geröllen aus dem Bernina-Gebiet (KLEIBER 1938) abgelagert. Dies war nur möglich bei einer mächtigen Eistransfluenz über einen Ur-Septimer und über einen Ur-Julier ins Oberhalbstein, was auf ein *deutlich kälteres* Klima, eine eigentliche *Kaltzeit*, hindeutet. Diese Interpretation wird gestützt durch das Auftreten von Bergeller Tonalit-Blöcken (HANTKE & JÄGER 1982) in der jüngst-oligozänen Comasker Molasse (JÄGER & HANTKE 1983, 1984, HANTKE (2019c).

In den Kühl- und Kaltzeiten lag die Waldgrenze deutlich tiefer und es erfolgten Nagelfluh-Schüttungen, d. h. Strähnen von Muren ausgebrochener alpiner Eisstauseen. Damals lag die mittlere Jahrestemperatur um mehrere °C tiefer, in der Höhronen-Kaltzeit bis rund 7–8 °C, sodass die wärmeliebenderen Arten des älteren Mitteltertiärs nach und nach ausgelöscht wurden. An moderatere Temperaturen angepasste Arten konnten über niedere Pässe und entlang einer Ur-Rhone in südliche Gebiete ausweichen und später, in wieder wärmer gewordenen Zeiten, von den Relikten im Süden an ihre angestammten Standorte zurückwandern. Zudem vermochten sich gewisse Arten im Auenwald länger zu halten, da dieser ihnen in der kalten Jahreszeit einen gewissen Schutz bot.

Im Laufe der Unteren Süsswassermolasse vom Rossberg über Rothenthurm zum Höhronen haben sich somit – neben Warmphasen mit unterschiedlichen, an ihre Höhenlage und ihr Umfeld angepassten Wäldern – schon damals markante Temperaturschwankungen ereignet. Doch nicht jede Nagelfluhbank belegt eine eigene Kühlzeit, denn oft dürften sich in derselben Kaltzeit mehrere Stausee-Ausbrüche ereignet haben, sodass mehrere, nur durch mergelige Schichtfugen getrennte Nagelfluhbänke in einer einzigen Kaltzeit geschüttet wurden. Warmphasen dagegen sind nur durch fossile Floren – Pollen und Grossreste – sowie tierische Fossilreste zu belegen.

12. Die spät-oligozänen Floren von Greit und südlich des Höhronen

Zur Zeit der spät-oligozänen (?)–früh-miozänen Floren von Greit auf der Nordseite des Höhronen und von südlich dieser Gebirgskette ist das Klima wie-

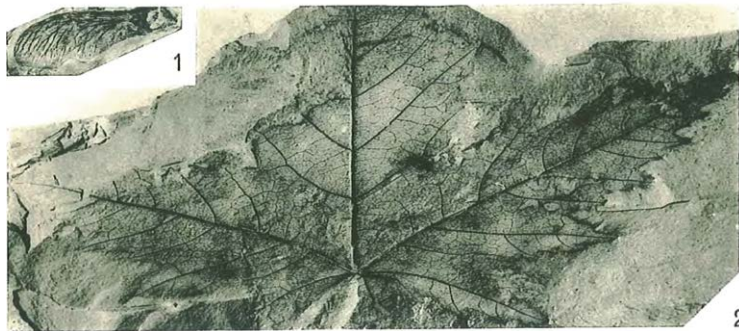


Abb. 30. *Acer dasycarpoides* HEER, aus HANTKE 1964, Taf. 14 Fig. 2 aus den spät-oligozänen (?)–früh-miozänen Mergeln von Greit am Höhrnen. Orig. O. HEER 1859, Taf. 155 Fig. 8. Lectotyp, $\frac{3}{4}$ nat. Grösse.

der deutlich wärmer geworden, zeigt doch jene vom Greit in den die Kohlen begleitenden Mergeln säugetier-paläontologisch Egérien (SCHLANKE 1974), ein warm-gemässigt Klima. Beim Aufsammeln der Pflanzenreste durch ESCHER und HEER (1847, 1848 sowie 1855–59) wurde die Flora noch der aquitanischen Stufe zugewiesen. Durch HOCHULI (1973, 1978) sind die begleitenden Schichten palynologisch untersucht worden.

In der Flora von Greit (**Gr**) sind vorherrschend *Cercidiphyllum crenatum* (UNG.) R. BR. – verwandt mit dem ostasiatischen Kadsurabaum und *Zizyphus tiliifolius* – Brustbaum. Ferner sind häufig: *Acer dasycarpoides* HEER – Silber-Ahorn (**Abb. 21 und 30**), *Diospyros brachysepala* A. BR. – Dattelpflaume mit 4-zipfligen Fruchtkelchen, *Liquidambar* – Amberbaum, *Carya denticulata*, die mit der in Sümpfen des atlantischen Nordamerika wachsenden Hickory – *C. amara* NUTT. zu vergleichen ist (**Abb. 31**), *Quercus buchii* (**Abb. 32**) und *Quercus ilicoides* (**Abb. 33**) – von Buchs und Stechlaub-blättrige Eiche, *Corylus insignis* HEER (**Abb. 34**) – Hasel, *Carpinus grandis* UNG. – Hagebuche, *Zelkova zelkovaefolia* (UNGER 1843) BUZEK & KOTLABA in KOTLABA (1963) – Wasser-



Abb. 31. *Carya denticulata* (O. WEB.) – gezähnte Hickory, aus HANTKE 1964, Taf. 6 aus den früh-miozänen Mergeln von Greit am Höhrnen, $\frac{2}{3}$ nat. Grösse. Orig. O. HEER 1859, Taf. 131 Fig. 6, beschrieben als *Pterocarya denticulata* O. WEB.



Abb. 32. *Quercus buchii* O. WEB. – von Buchs Eiche, aus HANTKE 1964, Taf. 3 Fig. 2 aus den spät-oligozänen (?)–früh-miozänen Mergeln von Greit am Höhrnen, $\frac{2}{3}$ nat. Grösse. Orig. O. HEER 1856, Taf. 77 Fig. 2. Naturhistorisches Museum Bern.

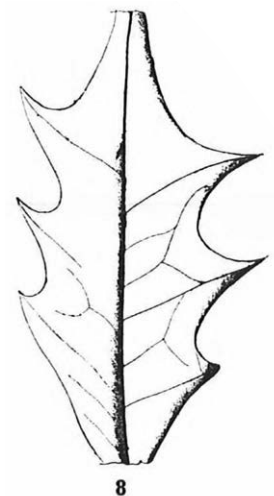


Abb. 33. *Quercus ilicoides* HEER – Stechlaub-blättrige Eiche, aus HANTKE 1964, Taf. 1 Fig. 8 aus den spät-oligozänen (?)–früh-miozänen Mergeln von Greit am Höhrnen, nat. Grösse. Orig. O. HEER 1859, Taf. 151 Fig. 25.



Abb. 34. *Corylus insignis* HEER – Hasel, vom Höhronen aus HANTKE et al. 2009, Fig. 5a.

ulme, *Salix* – Weide, *Myrica* – Wachsbeer-Strauch, *Alnus* – Erle, *Ailanthus microsperma* HEER – Götterbaum, *Rhus meriani* HEER – Sumach, *Pinus* – Föhre, *Glyptostrobus* – Wasserfichte, *Taxodium* – Sumpfpypresse. Am Ufer wuchsen *Luzula* – Simse, *Juncus* – Binse, *Carex* – Segge, *Cyperus* – Cypergras, *Typha* – Rohrkolben, *Phragmites* – Schilf, *Arundo goepperti* – Rohr, *Iris* – Schwertlilie; im Wasser: *Ceratophyllum* – Hornblatt und *Sparganium* – Igelkolben.

An wärmeliebenden Arten sind Lorbeer-Gewächse und Palmen belegt: *Sabal* – eine Fächerpalme und, etwas tiefer, *Phoenicites spectabilis* UNG. Zusammen mit *Diospyros* – Dattelpflaume – bekunden sie eine mittlere Jahrestemperatur um 15 °C auf 350 m ü. M., reduziert auf Meereshöhe von 16,5 °C. Im Bereich der fossilen Floren stellen sich in der Granitischen Molasse, wo die Kohle nicht durchhält, kohlige Mergel mit verschwemmten Aststücken – Altläufe – ein.

Unter und über der Kohle von Greit konnten mit prozentualen Pollen- und Sporen-Anteilen die Floren-Assoziationen ermittelt werden; sie zeigen eine Veränderung der Umweltbedingungen während der Bildung des Kohlesumpfes; zuerst stockte ein Laubmischwald mit *Cercidiphyllum* und Juglandaceen – Walnussgewächsen: *Engelhardtia*, *Platyca-*



Abb. 35. *Woodwardia roessneriana* (UNG.). Fossilsammlung des Geologischen Institutes der ETH Zürich, Foto: M. Kuchler, 1/3 nat. Grösse.

rya, *Pterocarya* und *Carya*, in der Kohle vor allem *Glyptostrobus* – Wasserfichte, danach deutlich mehr Nadelhölzer, vor allem Pinaceen und *Cedrus*, beides Trockenheit ertragende Arten (HOCHULI 1973, 1978).

In den Mergeln der *Südseite des Höhronen (HS)* fand Eduard Graeffe (1833–1916), als Student der Medizin und der Naturwissenschaften und Hörer HEERS um 1857 (in HEER 1859) fossile Reste: *Sequoia langsdorfii* (BRONGT.) – Redwood, *Carpinus* – Hagebuche, *Acer ruemianum* – extrem schmallappiger Ahorn, *Zelkova zelkovaefolia* – Wasserulme, *Diospyros* – Dattelpflaume, *Cinnamomum polymorphum* – Campherbaum, *Rubiocites verticillata* HEER, eine dem Waldmeister nahestehende Rubiacee – Röte-Gewächs, und den Riesenfarn *Woodwardia roessneriana* (UNG.) (**Abb. 35**). Seine heutige Verwandte, *W. radicans* L., wächst auf den Kanaren um 700–1000 m und auf Madeira um 300–600 m. Damit ergibt sich für diese allenfalls früh-aquitane Flora ein Jahresmittel um 15 °C bei einer Höhenlage von 350–400 m, reduziert auf Meereshöhe knapp 17 °C.

Literatur und Karten (K):

- BAUMBERGER, E. & MENZEL, P. 1914: Beitrag zur Kenntnis der Tertiärflora aus dem Gebiet des Vierwaldstättersees. – Abh. schweiz. Paläontol. Ges. 40: 84 S., 4 Taf.
- BRÄM, H. 1954: Fährten von Wirbeltieren aus der subalpinen Molasse des Bergsturzgebietes von Goldau. – Eclogae geol. Helv. 47/2: 406–417.
- BRAUN, A. 1836: In BUCKLAND, W.: Geology and Mineralogy considered with reference to Natural Theology, 1 – London 510–514.

- BRAUN, A. 1845: Die Tertiär-Flora von Oehningen. – Neues Jb. Min. Geol. u. Petrefaktenkde. 1845: 146–173, Stuttgart.
- BUXTORF, A. 1913: Geologische Karte der Rigi-Hochflurkette 1:25'000, mit Beiträgen von E. BAUMBERGER, G. NIETHAMMER & P. ARBENZ. – Geol. Spezialkarte 29a – Schweiz. Geol. Komm.
- ETTINGHAUSEN, C. v. & KRAŠAN, F. 1890: Untersuchungen über Ontologie und Phylogenie der Pflanzen auf paläontologischer Grundlage. – Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math.-natw. Kl. 57: 229–264.

- FURRER, H. 2003: Angaben zu Goldau-Fundstellen. – Brief vom 4.2.2003.
- FURRER, H., GUBLER, TH., HOCHULI, P.A., STÖSSEL, I. 2002: Goldau vor 25 Millionen Jahren. – Schweizer Strahler 2002/3: 1–8.
- FURRER, H., REICHLIN, TH. & GRUNDMANN, A. 2003: Fossile Baumstrünke in der Unteren Süsswassermolasse (spätes Oligozän) im Bergsturzgebiet von Goldau. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 148/1: 27–34.
- GAUDIN, CH. & DELAHARPE, Ph. 1856: Flore fossile des environs de Lausanne. – Bull. Soc. vaud. sci. natur. 4.
- GIVULESCU, R. 1959: Einige Bemerkungen über die Taxonomie von *Ficus tiliaefolia* (A. BR.) HEER. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 437–442, Stuttgart.
- HANTKE, R. 1954: Die fossile Flora der obermiozänen Öhninger Fundstelle Schrotzburg (Schienerberg, Süd-Baden). – Denkschr. schweiz. natf. Ges. 80/2: 26–118, Zürich.
- HANTKE, R. 1964: Die fossilen Eichen und Ahorne aus der Molasse der Schweiz und von Öhningen (Süd-Baden). – Eine Revision der von Oswald Heer diesen Gattungen zugeordneten Reste. – Njbl. natf. Ges. Zürich (1965) 167: 140 S., 17 Taf.
- HANTKE, R. 1966: Die fossilen *Liquidambar*-Reste (Amberbaum) aus der Molasse der Schweiz und von Öhningen (Süd-Baden). – Eclogae geol. Helv. 50/2: 981–988.
- HANTKE, R. 1986: Die Schweizer Jura-Nagelfluh – mehrere Schüttungen in kühl- und kaltzeitlichen Klima-Einbrüchen im Mittelmiozän? – Mitt. aarg. natf. Ges. 31: 53–73, Aarau.
- HANTKE, R. 1991, 1992: Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. – Ott, Thun; ecomed, Landsberg/Lech: 309 S.
- HANTKE, R. 2006K: Blatt 1151 Rigi und Nordteil von Blatt 1171 Beckenried, mit Erläuterungen – Geol. Atlas Schweiz 1: 25'000. – swisstopo, Wabern.
- HANTKE, R. 2019a: Fossile Pflanzen aus den mittelmiozänen Fundstätten von Öhningen am Untersee (Baden-Württemberg) – Rekonstruktion von Klima und Umwelt vor gut 13 Millionen Jahren. – Ber. schwyz. natf. Ges. 18: 7–34.
- HANTKE, R., OBERLI, U. & GREGOR, H.-J. 2006: Die mittelmiozäne Megafloora von Risi/Wattwil (Kanton St. Gallen, Schweiz) – Geologie, (Klima-)Stratigraphie – Teil 3: Makrofloren der Molasse. – Docum. naturae 155/3: 1–35.
- HANTKE, R., WYSSLING, G. & SCHLANKE, S. mit einem Beitrag von MENKVELD-GFELLER, U. 2009: Erläuterungen zu Blatt 1132 Einsiedeln des Geol. Atlas Schweiz 1: 25'000, 129. – B.-Amt Landestopogr., swisstopo, Wabern.
- HEER, O. 1847: Über die fossilen Pflanzen an der hohen Rhonen. – Verh. schweiz. natf. Ges. (1846): 35–38.
- HEER, O. 1848: Über die von ihm an der hohen Rhonen entdeckten fossilen Pflanzen. – Verh. schweiz. natf. Ges.: 35–38. – N. Jb. Mineral., Geogn., Geol. Petrefkde.: 369–371.
- HEER, O. 1855, 1856, 1859: Flora tertiaria Helvetiae 1, 2, 3 – Wurster, Winterthur. 1993: Nachdruck in: Docum. naturae, Spez.-Bd. 2, Teile 1–5, mit Vorwort von HANTKE, KNOBLOCH und GREGOR.
- HEER, O. 1865: Die Urwelt der Schweiz. – Schulthess, Zürich (2. Aufl. 1879, 1883).
- HEER, O. 1869: Miocene baltische Flora. – Beitr. Naturkde. Preussens, 2, 104 S., 30 Taf. – Königsberg.
- HEER, O. 1877: Flora fossilis arctica, 4: Beiträge zur fossilen Flora Spitzbergens. – Wurster, Zürich.
- HOCHULI, P.A. 1973: Pollenanalytische Untersuchungen der Fundstelle Greit am Höhronen. – Dipl.-Arb. Univ. Zürich. Dep.: Erdwiss. Bibl. Geol. Inst. ETH Zürich. 60 S., 6 Taf.
- HOCHULI, P.A. 1978: Palynologische Untersuchungen im Oligozän und Untermiozän der Zentralen und Westlichen Paratethys. – Beitr. Paläontol. Österr. 4: 1–132.
- KAUFMANN, F.-J. 1860: Untersuchungen über die mittel- und ostschweizerische subalpine Molasse. – Neue Denkschr. schweiz. natf. Ges. 17.
- KAUFMANN, F.-J. 1872: Rigi und Molassegebiet der Mittelschweiz (Gebiete der Kantone Bern, Luzern, Schwyz und Zug, enthalten auf Blatt VIII.) – Beitr. Geol. Karte Schweiz 11.
- KLEIBER, K. 1938: Geologische Untersuchungen im Gebiet der Hohen Rone. – Eclogae geol. Helv. 30/2 (1937): 419–430.
- KOTLABA, F. 1963: Tertiary plants from three new localities in southern Slovakia. – Acta Musei Nationalia Pragae 19B: 53–72, 4 Taf.; Praha.
- KRÜSSMANN, G. 1962: Handbuch der Laubgehölze, Bd. 2. – Parey, Berlin, Hamburg.
- MOESCH, C. & KAUFMANN, F.-J. 1871K: Blatt VIII (Aarau–Luzern–Zug–Zürich), Geologische Karte der Schweiz 1:100 000. – Schweiz. Geol. Komm.
- MÜLLER, H.-P. 1967: Die subalpine Molasse zwischen Alptal und Sattellegg. – Unveröff. Dipl.-Arb. Geol. Inst. ETH und Univ. Zürich.
- MÜLLER, H.-P. 1971: Geologische Untersuchungen in der subalpinen Molasse zwischen Einsiedeln und oberem Zürichsee (Kt. Schwyz). – Vjschr. natf. Ges. Zürich 116/1, 1–153.
- RISSI, A. 1968: Geologische Untersuchungen in der Unteren Süsswassermolasse des Rossberggebietes. – Dipl.-Arb. Geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich.
- SCHLANKE, S. 1974: Geologie der Subalpinen Molasse zwischen Biberbrugg SZ, Hütten ZH und Ägerisee ZG, Schweiz. – Eclogae geol. Helv. 67/2: 243–331.
- SPECK, J. 1953: Geröllstudien in der subalpinen Molasse am Zugersee und Versuch einer paläogeographischen Auswertung. – Kalt-Zehnder, Zug.
- STEININGER, F., RÖGL, F. & MARTINI, E. 1976: Current Oligocene/Miocene biostratigraphic concept of the Central Paratethys (Middle Europe). – Newsl. Stratigr. 4 (3): 171–202.
- STÜRM, B. 1973: Die Rigi-Schüttung: Sedimentpetrographie, Sedimentologie, Paläogeographie, Tektonik. – Diss. Univ. Zürich, 96 S.
- SUTER, H. 1956: Geologie des Sihltales. – Blätter Vereinigung Pro Sihltal, 6. März 1956, 29 S.
- WEIDMANN, M. 1988: Flle. 1243 Lausanne. – Atlas géologique de la Suisse 1: 25'000, avec Notice explicative. – Serv. hydrol. et géol. nation.
- WÜEST, O. 1998: Die älteste Palme von Weggis. – Wochen-Z. 30.1.98, Vitznau.

Die kleinen schwarzen Flechten am Roggenstöckli (Muotathal, Kanton Schwyz)

URS GRONER und MATTHIAS SCHULTZ

Zusammenfassung

Die «kleinen Schwarzen» sind mehrheitlich winzige, oft schwer bestimmbare Cyanoflechten («Blaualgenflechten») hauptsächlich aus der Familie der *Lichinaceae*. In der Schweiz sind diese vorwiegend gesteinsbewohnenden Arten allgemein nur schlecht bekannt, relativ viele Angaben zu Vorkommen und Verbreitung stammen aus dem 19. Jahrhundert. Das Roggenstöckli ist eine kleine, steile Erhebung im Karstgebiet Bödmerenwald-Silberer im Muotatal in der Zentralschweiz. Hier wurden auf Kalk und Kieselkalk bisher 33 kleine schwarze Flechten identifiziert, die mit Beschreibungen und Bildern präsentiert werden. In Ergänzung dazu werden 20 weitere, am Roggenstöckli nicht beobachtete Arten aus dem Bödmerenwaldgebiet vorgestellt. Die ermittelten Artenzahlen sind verglichen mit den im Land nur spärlichen Fundmeldungen aus neuerer Zeit erstaunlich gross. Die Ernährung der kleinen Flechten, die ökologischen Verhältnisse am Roggenstöckli und der zurzeit einzigartige Artenreichtum werden diskutiert. *Anema nodulosum*, *Gonohymenia myriospora*, *G. octosporella*, *Metamelanea caesiella*, *Placynthium flabelliforme*, *P. pulvinatum*, *Psorotichia frustulosa*, *Pterygiopsis affinis*, *Pyrenopsis sanguinea* und *Scytinium fragile* sind Arten, die neu für die Schweiz nachgewiesen werden. Ebenso landesweit zum ersten Mal wird die Krustenflechte *Polyblastia efflorescens* erwähnt, sie siedelt auf mergeligem Kalk am Roggenstöckli.

Abstract

The «small black ones» are mostly tiny cyanolichens predominantly belonging to the *Lichinaceae* and notoriously difficult to identify. These mainly saxicolous lichens are poorly known in Switzerland, in many cases, information about occurrence and distribution dates back to the 19th century. Roggenstöckli is a small rocky elevation, a little more than a steep hill in the Bödmeren Forest karst area in the Muota Valley of central Switzerland. The 33 small black lichen species found here on limestone and siliceous limestone are presented with descriptions and illustrations. In addition, 20 other small-sized cyanolichens of the surrounding Bödmeren Forest area, not recorded on the Roggenstöckli, are mentioned

and illustrated. The number of species observed is remarkable with respect to the rather sparse modern records in the country. Lichen nutrition, ecological conditions of the Roggenstöckli and the so far unique species diversity are discussed. *Anema nodulosum*, *Gonohymenia myriospora*, *G. octosporella*, *Metamelanea caesiella*, *Placynthium flabelliforme*, *P. pulvinatum*, *Psorotichia frustulosa*, *Pterygiopsis affinis*, *Pyrenopsis sanguinea* and *Scytinium fragile* are small black species new to Switzerland. Moreover, this is the first report in the country of *Polyblastia efflorescens*, a crustose lichen collected on marly limestone of the Roggenstöckli.

1. Einführung – Eine besondere Gruppe von Flechten

Das Bödmerenwaldgebiet im Muotatal besitzt vom montanen Bereich des Bol bis in die alpine Stufe auf Silberer und Twärenen einen grossen Flechtenreichtum. Hier sind auf Bäumen, auf Holz, am Boden und auf Gestein fast 800 Arten nachgewiesen worden, immerhin rund 43 Prozent der in der Schweiz bekannten Flechten (GRONER 2016a). Dazu gehören sowohl häufige und weit verbreitete, als auch viele seltene Spezies. Neben den Raritäten und den spektakulären Arten, etwa dem Engelshaar (*Usnea longissima*) mit meterlangen Lagerfäden oder der grossblättrigen Lungenflechte (*Lobaria pulmonaria*), sind im Gebiet einige leicht zu übersehende kleine und kleinste Arten vorhanden.

Eine besondere Gruppe bilden die «kleinen Schwarzen». Das sind nur ein paar Millimeter bis ein oder zwei Zentimeter grosse, dunkle bis schwarze Flechten. In Mitteleuropa lebt die Mehrheit von ihnen auf Gestein (saxicole Arten), eine grössere Zahl bewohnt Kalk, eine kleinere bevorzugt silikatische Gesteine. Etwa zwei Dutzend Arten haben ihren Lebensraum am Boden und weniger als ein Dutzend wächst gewöhnlich auf Baumrinde. Die Flechtensymbiose besteht aus Pilzen und Cyanobakterien (früher: Blaualgen) – nicht Grünalgen wie bei vielen anderen Flechten. Die kleinen Cyanobakterienflechten (Blaualgenflechten) oder kürzer: Cyanoflechten sind schwarz, dunkelbraun, oliv- oder rotbraun; dafür ist in erster Linie die Färbung der Algengallerte verantwortlich. Die Flechten können zudem weissgrau bis

bläulich bereift sein, gelegentlich sind sie mit Gesteinspartikeln bestäubt oder durch Kalkablagerungen verkrustet. Dank der Gallerthüllen der Cyanobakterien quillt der Thallus (das Flechtenlager) bei Benetzung schnell auf und kann eine grössere Menge Wasser speichern. Eine weitere Besonderheit ist, dass im Gegensatz zu den grünen Flechtenalgen die Cyanobakterien Stickstoff aus der Luft aufnehmen können. Bei den kleinen Arten trifft man auf die üblichen Wuchsformen, auf Strauch-, Blatt- und Krustenflechten, mit dem Unterschied, dass die Form fast nur mit der Lupe zu erkennen ist (**Abb. 1.1**). Dabei wird das Aussehen (der Habitus) zahlreicher Arten vom Algenpartner und nicht vom Flechtenpilz bestimmt.

Die Bezeichnung «kleine Schwarze» («small black ones» z.B. in JØRGENSEN 2012a) stammt aus der Praxis im Gelände und ist kein Begriff aus der Flechtensystematik, sondern flechtenkundlicher Jargon. Die Gruppe ist nicht eindeutig abgegrenzt, etwa gegen schwärzliche Cyanoflechten mit grösserem Lager. Jedoch können praktisch alle Arten aus der Familie der *Lichinaceae* dazugezählt werden, ausserdem kleinwüchsige Leim- und Gallertflechten (frühere Gattungen *Collema* und *Leptogium*) sowie mehrere Arten aus anderen, verwandten und nicht näher verwandten Familien (z.B. *Placynthiaceae*).

Für die Schweiz sind bis heute, je nach Definition, ungefähr 80 kleine schwarze Flechtenarten publiziert worden (CLERC & TRUONG 2012). Alle haben einige offensichtliche, aber nicht streng wissenschaftliche Merkmale gemeinsam: Sie sind klein, schwarz oder zumindest dunkel getönt und sie besitzen Cyanobakterien als photosynthetisch aktiven Symbiosepartner – vor allem aber sind sie oft schwer zu bestimmen.

In den letzten Jahrzehnten wurden die kleinen Cyanoflechten auch in der Schweiz von den Lichenologen nur wenig beachtet. Die Mehrzahl der Arten ist vermutlich selten oder sogar sehr selten, dementsprechend ist über ihre ökologischen Ansprüche noch nicht viel bekannt. Im Bödmerenwaldgebiet spielen die kleinen Schwarzen auf Gestein eine wichtige Rolle, sie gehören zur natürlichen Flechtenflora auf Kalk und können den Aspekt grösserer Felsflächen bestimmen. Ein etwas genauer untersuchter Bereich mit mehreren kleinen schwarzen Flechten ist das Roggenstöckli (**Abb. 1.2**): An den Felswänden und an abgestürzten Blöcken kommen beinahe zwei Drittel der im Gebiet nachgewiesenen Arten vor. Am Beispiel Roggenstöckli soll diese ungewöhnliche, aber interessante gesteinsbewohnende Gruppe vorgestellt und diskutiert werden. Dazu werden auch die anderen kleinen Cyanobakterienflechten des Bödmerenwaldgebiets beschrieben und illustriert.



Abb. 1.1. Die kleinen schwarzen Flechten (Mitte) sind neben blättrigen Arten (*Collema* s.l.) kaum erkennbar. *Dermatocarpon minutum* (rechts, braun), *Toninia* sp. (weiss) und Verrucariaceen (Punkte) sind Grünalgenflechten. Bildbreite ca. 26 cm.



Abb. 1.2. Das Roggenstöckli im Böldmerenwaldgebiet besitzt eine beeindruckende Vielfalt gesteinbewohnender kleiner Cyanobakterienflechten. Mieserenstock im Hintergrund.

2. Das Roggenstöckli – Lage, Klima, Geologie, Vegetation

In den Voralpen der Zentralschweiz liegt zwischen dem Vierwaldstättersee und dem Glarner Linthal ein ausgedehntes Karstgebiet; dazu gehört auch der östlich vom Dorf Muotathal aufsteigende Karstrücken mit Böldmerenwald, Böldmeren und Silberer-Twärenen (**Abb. 2.1, 2.3**). Die auffälligste Erhebung im Bereich des Böldmerenwaldes ist das am Nordostrand den Wald überragende Roggenstöckli (**Abb. 2.2**). Der mehrheitlich bewachsene Felsrücken mit ziemlich steilen Flanken ist von West nach Ost rund 600 m lang, aber nur etwa 300 m breit. Beim Unter Roggenloch steigt er nahezu 180 m über die Pragelpasstrasse auf, der höchste Punkt liegt auf 1707 m über Meer. Die bearbeiteten Felsen am Roggenstöckli befinden sich zwischen ca. 1620 und 1705 m über Meer in der subalpinen Stufe. Abgestürzte Felsblöcke wurden auf der Nord- und auf der Südseite in Höhenlagen von 1550 bis 1660 m untersucht.

Das Klima im Bereich des Roggenstöcklis ist durch grosse Niederschlagsmengen über das ganze Jahr mit einer geschätzten Jahressumme von 2500–2700 mm und relativ langer Schneebedeckung cha-

rakterisiert. Ebenso kennzeichnend sind die niedrige durchschnittliche Jahrestemperatur von ca. 3–5 °C und grosse Temperaturschwankungen im Tages- und Jahresgang. Am Roggenstöckli treten aufgrund der Lage und der Exposition grössere Temperaturunterschiede auf als im nur wenig tiefer gelegenen Wald- und Weidegebiet; auf den Felsflächen der Südseite sind tägliche Schwankungen von 40–50 °C nicht selten. BERTRAM (1994) hat anhand eigener Messungen die Klimaverhältnisse in der Umgebung des Roggenstöcklis detaillierter beschrieben. Zusammenfassend kann das Klima im Gebiet als ozeanisch mit kontinentalem Einschlag bezeichnet werden (GRONER 2016a).

Geologisch unterscheidet sich die kleine Bergkuppe wenig von ihrer Umgebung, jedoch hat die prominente Lage eine tektonische Ursache: Das Roggenstöckli ist ein liegen gebliebener Block (eine tektonische Klippe) der Druesberg-Decke, welche nördlich der Starzlenbach-Einkerbung die Kette des First mit Forstberg und Druesberg bildet (**Abb. 2.3**; HANTKE 1982, 1995, HANTKE & KURIGER 2003). Die Gesteine aus der Unteren Kreidezeit stammen deshalb von einem ursprünglich weiter südlich gelegenen Meeresteil als jene der unter dem Roggenstöckli be-

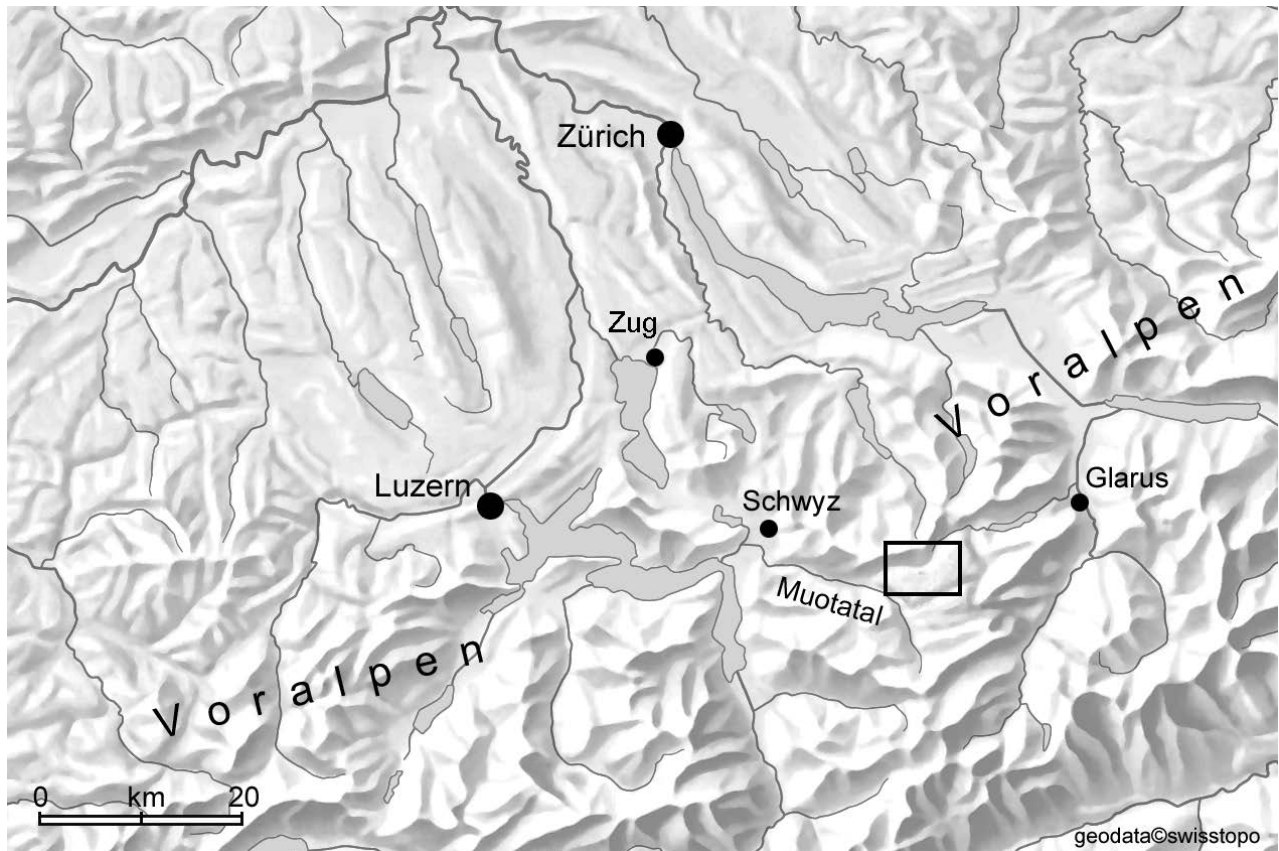


Abb. 2.1. Lokalisierung des Kartenausschnitts in der Zentralschweiz.



Abb. 2.2. Auffällig, aber kaum dominierend, ragt das Roggenstöckli über den Bödmerenwald. Blick von Osten über die Alp Bödmeren.

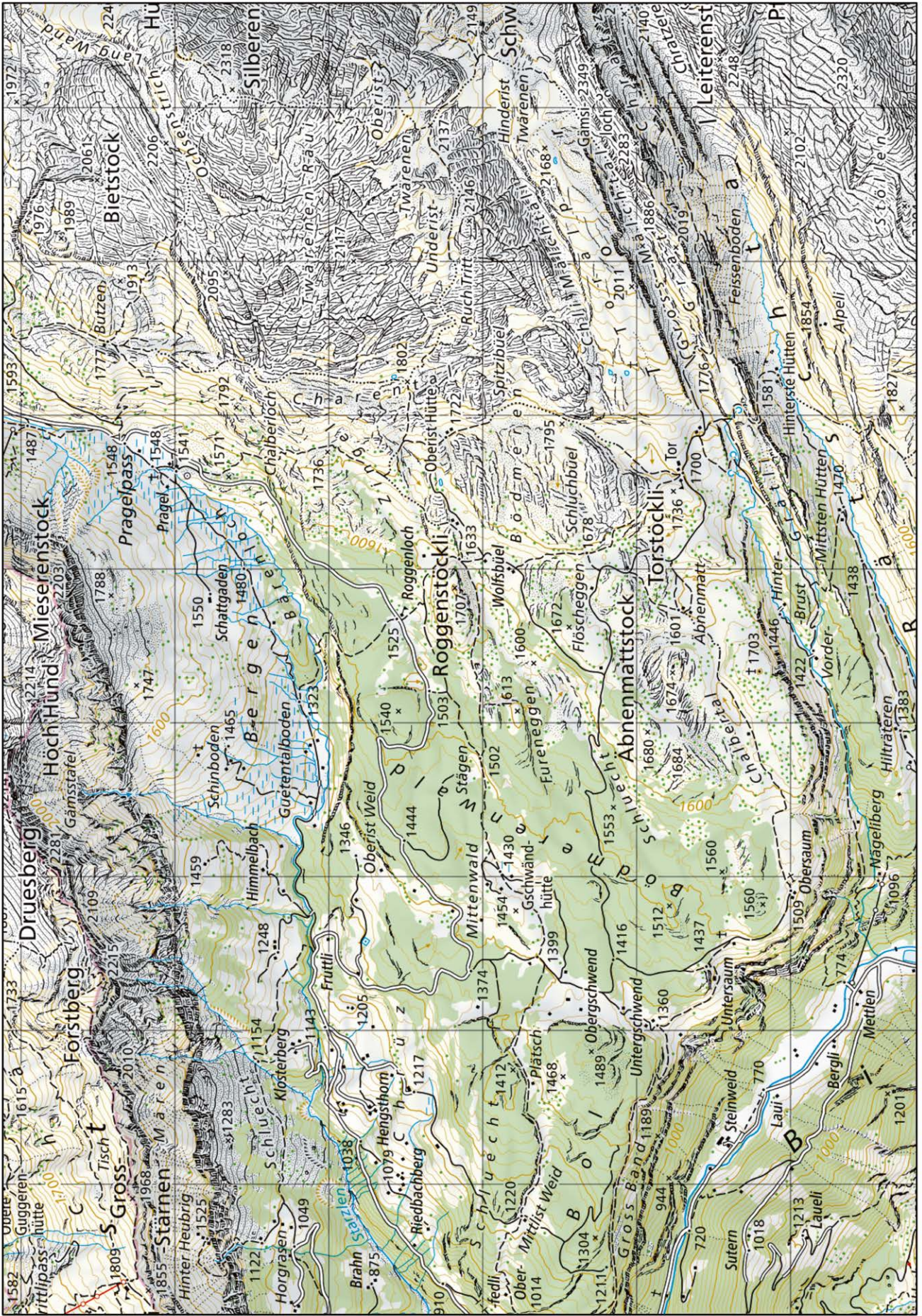


Abb. 2.3. Die Landeskarte zeigt das Bödmerenwald-Silberengebiet mit dem Roggenstöckli (Kilometernetz). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100118).



Abb. 2.4. Die Grenze zwischen Kieselkalk und dem darunter liegenden helleren, gebankten Diphyoides-Kalk ist gut erkennbar. Roggenstöckli-Südseite.

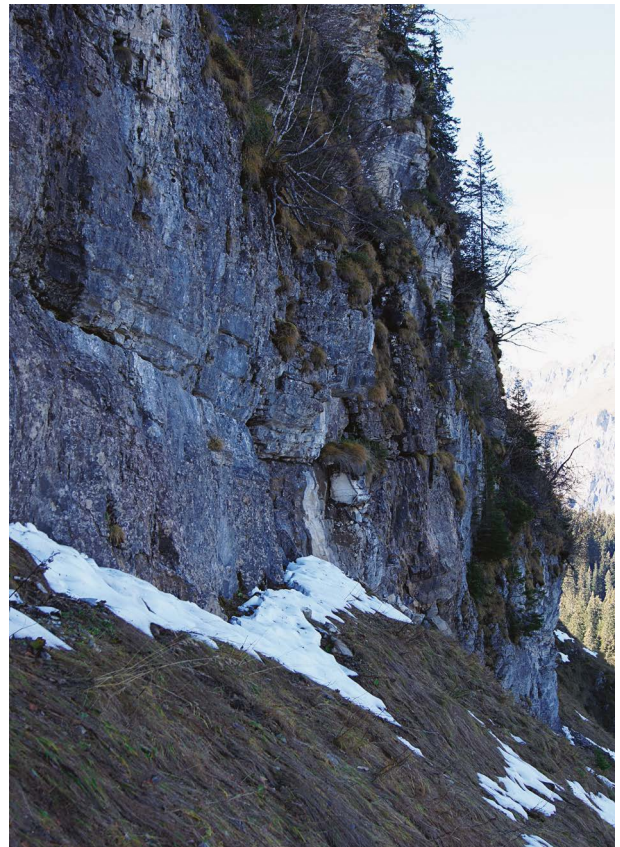


Abb. 2.6. Diphyoides-Kalk auf der Nordseite. Der Fels ist nicht einfach grau, sondern durch Kalkausblühungen, Algen, Flechten und Moose gefleckt.

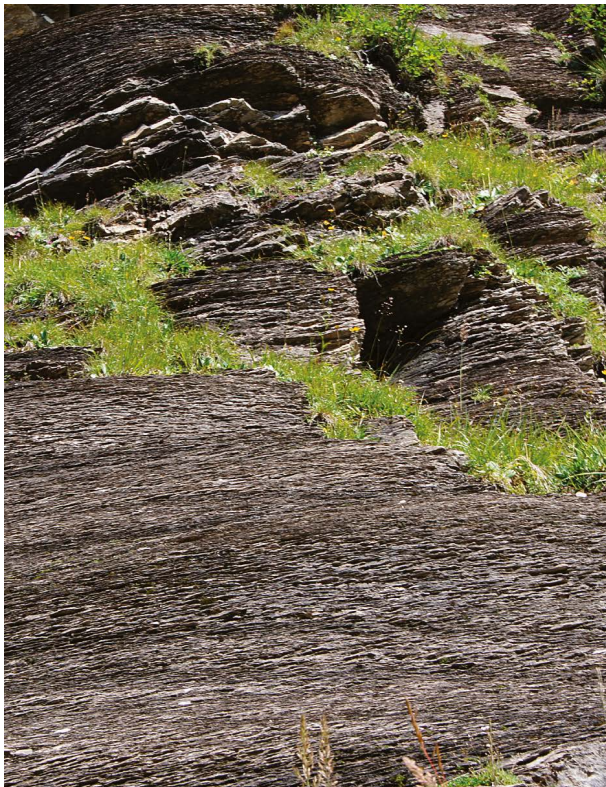


Abb. 2.5. Kieselkalk von unten, Blick in die Schieferung. Von oben wirkt die Gesteinsoberfläche eher glatt.

findlichen Silberer-Decken. Die Kalke und Mergel weisen nicht genau dieselben Eigenschaften auf wie die entsprechenden (gleichaltrigen) Gesteine in der Umgebung. Besonders der Kieselkalk als oberste geologische Einheit des Roggenstöcklis ist nicht so hart und kompakt wie an anderen Stellen im Bödmerenwaldgebiet, sondern deutlich plattig-schiefrig (**Abb. 2.4, 2.5**). Der darunter anstehende Diphyoides-Kalk (benannt nach einem fossilen Brachiopoden; früher «Valanginiankalk») ist mehrheitlich grobbankig und stellenweise etwas mergelig, er bildet fast senkrechte Felswände vor allem auf der Süd- und der Nordostseite (**Abb. 2.6**). Die schiefrigen Vitznau-Mergel als unteres, ältestes Element liegen weitgehend verdeckt unter dem bewachsenen Hangschutt der Roggenstöckli-Klippe.

Der Bergrücken ist locker mit Fichten bestockt, auf der Nordseite wächst am Hang Grün-Erlengebüsch. Oben, auf dem nicht verkarsteten, kaum durchlässigen Kieselkalk, befinden sich ausser einigen Fichten, Grün-Erlen und kleinen Zwergstrauchbeständen vor allem flachmoorartige Sumpfwiesen (**Abb. 2.7**). Das Roggenstöckli ist Teil des vor wenigen Jahren geschaffenen Naturwaldreservats, die nähere Umgebung wurde als Sonderwaldreservat ausgeschieden.



Abb. 2.7. Das Ried auf dem Roggenstöckli wird ab und zu gemäht. Grün-Erlengebüsch reicht hier beinahe bis zum Kamm (Bildmitte rechts).

3. Methoden

3.1. Sammeln, Bestimmen, Illustrieren

Die meisten kleinen Cyanflechten müssen mit Hammer und Meißel auf einem Gesteinsstück aus dem Fels geschlagen werden, nur wenige Arten sind mit dem Taschenmesser von der Unterlage ablösbar. Die wichtigsten Instrumente bei der Bestimmungsarbeit sind das Stereomikroskop (Binokularlupe) und das Lichtmikroskop; für die Untersuchung wurden zahlreiche Schnitte von Lagerteilen und Fruchtkörpern hergestellt. Flechtenstoffe sind bei diesen Arten nicht bekannt, deshalb werden die sonst gebräuchlichen Reagenzien nicht verwendet. Dagegen sind Chemikalien zum Anfärben der Algengallerte oder der vom Pilz gebildeten Strukturen für Detailstudien insbesondere in Mikrotom-Präparaten unentbehrlich (z. B. Iod, Lactophenol-Baumwollblau). Verdünnte Salzsäure kann Verkrustungen vor der Untersuchung auflösen (Abb. 3.1.1, 3.1.2), verändert oder zersetzt aber auch die Zell- und Gallertfarbe. Als Bestimmungsliteratur sind ältere Publikationen nicht zu empfehlen, da wichtige Erkenntnisse über die Entwicklung der Verbreitungsorgane, über die Verwandtschaften und die systematische Zuordnung der Cyanobakterienflechten erst seit einigen Jahren vor-

liegen. Für diese Arbeit waren die Beschreibungen und Schlüssel in CZEIKA & CZEIKA (2007), NORDIC LICHEN SOCIETY (2012), SCHULTZ & BÜDEL (2002), SMITH et al. (2009) und WIRTH et al. (2013) hilfreich. Zahlreiche Arten sind allerdings nur schlecht erforscht und warten auf eine moderne Bearbeitung. Ein paar schwarze Roggenstöckli-Flechten, darunter kümmerlich entwickelte und junge Lager, konnten noch nicht definitiv bestimmt werden. Sämtliche Belege werden vorläufig im Herbarium U. Groner aufbewahrt.

Die wissenschaftliche Bezeichnung der Flechten richtet sich überwiegend nach CLERC & TRUONG (2012), bei einzelnen Arten nach WIRTH et al. (2013). Eine provisorische Zuordnung wird hier mit «cf.» (lat. *confer*) gekennzeichnet, eine Sippe mit ungeklärten Arten mit «s.l.» (lat. *sensu latiore*), unbestimmte oder unbekannte Arten mit «sp.» (lat. *species*). Die Gattungen *Collema* und *Leptogium* wurden kürzlich neu umschrieben und aufgeteilt (OTÁLORA et al. 2014), die bisherigen Bezeichnungen werden als Synonyme angegeben. CEZANNE et al. (2016) haben für die in Deutschland bekannten Flechten deutsche Namen eingeführt, darunter auch für fast alle in dieser Arbeit beschriebenen Arten. Für die Mehrheit dieser gesteinsbewohnenden Flechten wurden noch

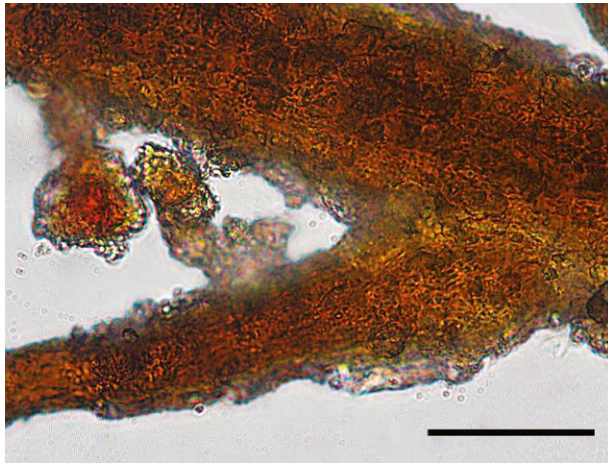


Abb. 3.1.1. Lageräste von *Zahlbruckerella calcarea* im Mikroskop; eine teils kalzitische Kruste behindert den Blick ins Flechteninnere. Massstab 50 µm.



Abb. 3.1.2. Nach Anwendung verdünnter Salzsäure: Im Seitenast liegen die Cyanobakterien eng hintereinander, am Zweigansatz und im dicken Ast in Knäueln.

nie deutsche Namen vorgeschlagen oder gebraucht und es bleibt abzuwarten, ob sich die Vorschläge einbürgern. Auf die wissenschaftlichen Namen kann jedoch auch in Zukunft nicht verzichtet werden.

Die Flechtenbilder wurden mit der Digitalkamera aufgenommen und bezüglich Kontrast, Farbton und Schärfe im üblichen Rahmen nachbearbeitet. Es sind Aufnahmen aus der Bestimmungspraxis mit Kameraadapter, aber ohne besondere Ausrüstung. Aufgrund ihrer geringen Grösse wurden die Flechten unter der Binokularlupe mit Blitzlicht fotografiert, bei mehreren Arten war dazu nur ein einziger Beleg verfügbar. Die Abbildungen zeigen trockene Flechten, meistens 13- bis 15-fach vergrössert; die mikroskopischen Aufnahmen stammen von handgefertigten, mehr oder weniger dünnen Schnitten in Wasser bei 100- bis 1000-facher Vergrösserung. Massstäbe in den Flechtenbildern oder Breite eines Bildausschnitts sind in den Legenden angegeben.

3.2. Die Cyanobakterien (Blaualgen)

Es ist grundsätzlich schwierig, den Algenpartner in einer Flechte zu identifizieren, weil sich die Algenzellen im Lager sehr oft in ihrer Form und Grösse unter dem Einfluss des Flechtenpilzes verändert haben. Bei Grünalgenflechten spielt dieser Umstand kaum eine Rolle, jedoch ist für die Bestimmung der kleinen Cyanobakterienflechten die Gattungszugehörigkeit des Algenpartners in vielen Fällen ausschlaggebend. Das gilt besonders für sterile, also ohne Fruchtkörper auftretende Flechten. Zur Verwirrung beitragen können besonders bei den krustigen Arten auch fremde, nicht mit dem Flechtenpilz verbundene Cyanobakterien auf der Oberfläche, im oder unter dem Lager, vorwiegend chroococcoide Arten (s. unten). JØRGENSEN (2012a) zählt die Identifizierung der Cyanobakterien zu den grössten Stolpersteinen beim Bestimmen der kleinen schwarzen Flechten.

Der Flechtenpilz wird als *Mycobiont* bezeichnet, bei den kleinen Cyanoflechten ist das immer ein Ascomycet (Schlauchpilz). Der Photosynthese betreibende Algenpartner ist der *Photobiont*; hier handelt es sich um Cyanobakterien (zu Flechtenalgen s. WIRTH et al. 2013, Kap. 5.2; für Abbildungen THÜS & SCHULTZ 2009; Bestimmungstabelle s. BÜDEL & KAUFF 2012 und NORDIC LICHEN SOCIETY 2012). Die Zellen der Photobionten sind typischerweise blaugrün, blau oder grün, manchmal auch rötlich oder violett getönt. Die Gallerthülle ist dick oder dünn, im Inneren der Flechte farblos, gegen aussen zunehmend und an der Oberfläche am intensivsten gefärbt. Je nach Gattung und Standortsbedingungen ist dort die Gallerte gelbbraun, rot, violett oder in entsprechend gemischten Tönen (**Abb. 3.2.1**). *Heterocyten* (bisweilen fachlich nicht korrekt «Heterocysten» genannt) sind farblose oder gelbliche Zellen zur Fixierung von Stickstoff (**Abb. 3.2.4, 4.25**). Einzelne Cyanoflechten (*Lem-*

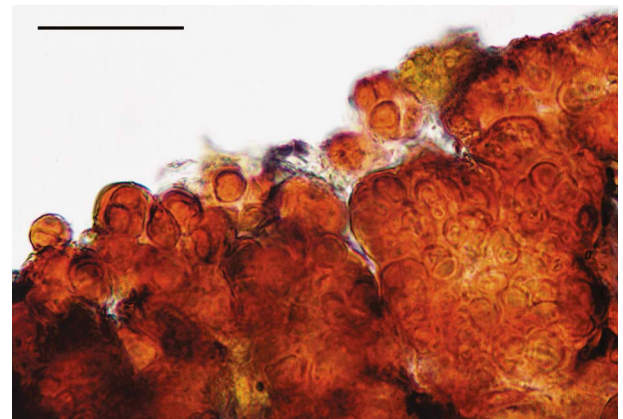


Abb. 3.2.1. Unter dem Mikroskop ist nicht alles schwarz: Das krustig-krümelige Lager von *Pyrenopsis grumulifera* s.l. in leuchtendem Rot. Massstab 30 µm.

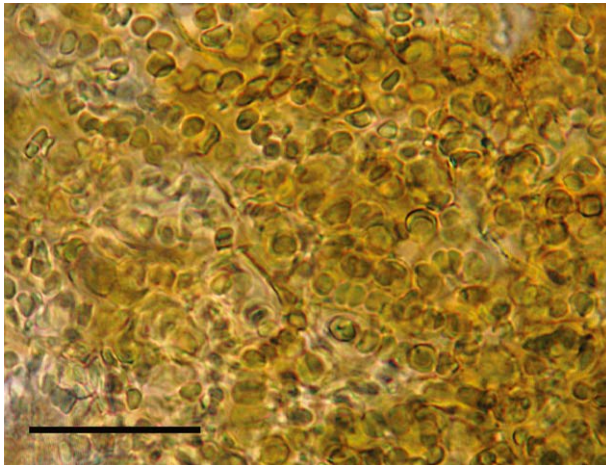


Abb. 3.2.2. Manchmal ist die Struktur der Cyanobakterien bereits in der Aufsicht feststellbar: Kettenförmige *Nostoc* von *Lempholemma intricatum*. Massstab 50 µm.

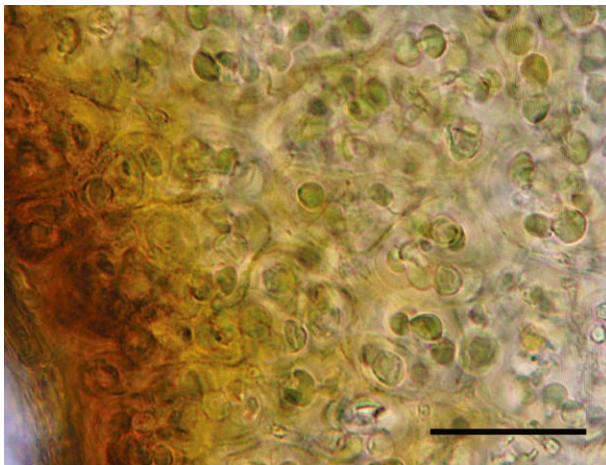


Abb. 3.2.3. Dagegen ist ein Querschnitt derselben Flechte nicht immer aufschlussreich, Ketten sind kaum zu erkennen. Massstab 30 µm.



Abb. 3.2.4. *Scytonema* aus einem Lagerfaden von *Thermutis velutina*. Die halb verdeckte gelbe Zelle ist eine Heterocyste, sie kann Stickstoff aus der Luft binden. Massstab 30 µm.

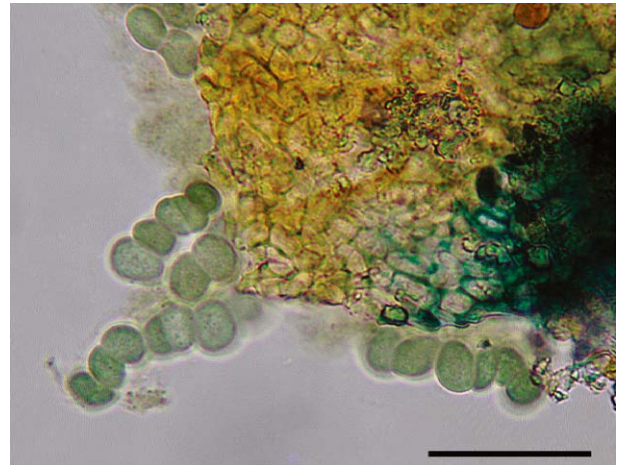


Abb. 3.2.5. Zu den scytonemoiden Cyanobakterien zählen etwa die Algenpartner der *Placynthium*-Arten, hier von *P. subradiatum* (gequetscht). Massstab 30 µm.

pholemma) bilden in kugeligen *Hormocystangien* sogenannte *Hormocysten* zur vegetativen Verbreitung; dabei handelt es sich um kleine dickwandige Körper mit Cyanobakterien und gewöhnlich auch mit eingewachsenen Fäden des Pilzpartners.

Die *Nostoc*-Arten oder *Nostoc*-ähnlichen Cyanobakterien bilden Zellfäden wie Perlenketten (**Abb. 3.2.2, 3.2.3**); sie sind in *Lempholemma*- und vielen *Scytinium*-Arten meistens gut sichtbar. Andere fädige, kettenförmige Photobionten gehören zu *Scytonema* (**Abb. 3.2.4**) oder scytonemoiden Arten (**Abb. 3.2.5**) mit weitgehend unverzweigten Fäden oder unechten Verzweigungen. *Calothrix* und *Dichothrix* (Rivulariaceen; rivularioide Photobionten) besitzen zugespitzte Fäden mit basaler Heterocyste. In verschiedenen *Placynthium*- oder *Porocyphus*-Arten ist der Einfluss des Mycobionten augenfällig: Die fadenartige Natur der Cyanobakterien ist öfters stark verändert und kaum mehr zu erkennen. In solchen Fällen wird der Photobiont hier als scytonemoid bezeichnet.

Einzellige Photobionten gehören zu den Chroococcales und Pleurocapsales, deren Zellen einzeln, in Paaren (aufgrund der binären Teilung) oder in kleinen Kolonien zu finden sind. Die Gattungen *Chroococcus*, *Chroococcidiopsis*, *Myxosarcina*, *Entophysalis* etc. sind in Flechtenlagern sehr schwer zu unterscheiden und werden als chroococcoid angegeben (**Abb. 3.2.6, 3.2.7**). Dagegen ist *Gloeocapsa* mit auffällig gefärbter, meist mehrschichtiger («geschachtelter») Algengallerte relativ leicht erkennbar (**Abb. 3.2.1, 3.2.8**). Manche einzelligen Photobionten von *Lichinaceae*-Arten können derzeit nicht zuverlässig eingeordnet werden (z. B. **Abb. 3.2.9**). – Bis heute sind keine anderen Cyanobakterien in den kleinen Flechten am Roggenstöckli und im Bödmerenwaldgebiet gefunden worden.

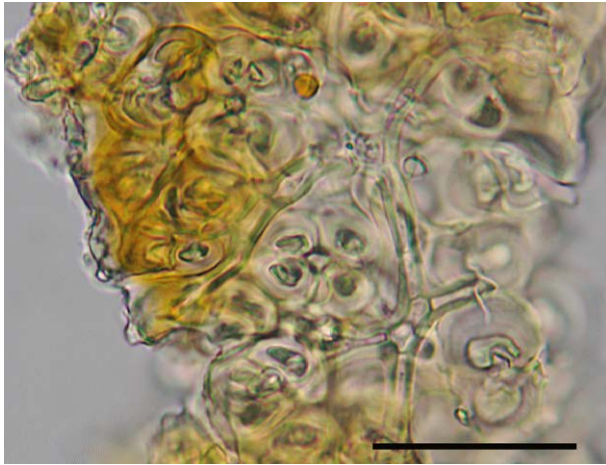


Abb. 3.2.6. Einzellige chroococcoide Cyanobakterien von *Anema nummularium* mit deformierten Zellen; die Algengallerte ist innen farblos, aussen gelbbraun. Auffällig sind die relativ breiten Pilzfäden. Massstab 30 µm.



Abb. 3.2.8. Die Gallerte der oft in Paaren auftretenden *Gloeocapsa* ist im Flechteninnern kaum sichtbar. Bei der Zellteilung des Cyanobakteriums teilt sich gleichzeitig der anhaftende Pilzfaden. *Synalissa ramulosa*; Massstab 30 µm.



Abb. 3.2.7. Eng gepackte, zwei- bis achtzellige Kolonien sind charakteristisch z. B. für *Chroococcidiopsis*-Arten wie der Photobiont in *Psorotichia murorum*. Massstab 20 µm.



Abb. 3.2.9. *Gloeocapsa*-ähnlicher Photobiont mit etwas grösseren Zellen und bräunlich gelber Gallerte. Die betreffende Flechte wurde noch nicht definitiv bestimmt. Massstab 30 µm.

4. Die kleinen Schwarzen am Roggenstöckli

Die Bemerkungen zu den Arten sind so kurz wie möglich gehalten. Beschreibungen stammen aus den zitierten Quellen (Kap. 3.1.), zum Teil kombiniert mit Beobachtungen an eigenen Belegen. Die Algengallerte ist bei den meisten aufgeführten Arten aussen gelbbraun und wird deshalb nicht erwähnt. Ob «Lagerteile» oder «Areolen» zu einem Flechtenindividuum gehören oder ob es sich um selbständige Lager handelt, ist in vielen Fällen unklar. Wir verwenden diese Begriffe, müssen aber die Frage derzeit unbeantwortet lassen. Grössere Bestände, die aus mehreren, von Auge nicht unterscheidbaren Einzellagern bestehen, werden als Aggregate bezeichnet. Verbreitung einer Art in der Schweiz (CH:) wie in CLERC & TRUONG (2012), wenige nach STOFER et al. (2008) oder VUST et al. (2015); für neue Arten wird die euro-

päische Verbreitung angegeben. Kantonsnamen sind abgekürzt, Halbkantone wurden nicht separat erfasst; falls die Art für mehr als 4 Kantone registriert wurde, ist die entsprechende Anzahl vermerkt.

Anema decipiens (A. Massal.) Forssell – Täuschendes Gallertschüppchen

Flechtenlager areoliert (deutlich getrennte Teile), in unregelmässigen Flecken, auch in Rosettenform; meist kleiner als 2 cm. Areolen (die Lagerteile) 0,5–2 mm, aus gewölbten, lappigen bis keuligen Elementen, schwarz, dick; Oberfläche feinkörnig, häufig bläulich oder grau bereift. Selten mit Apothecien: üblicherweise flache Fruchtkörper mit offener Fruchtschicht (Hymenium), erst punktförmig, dann weit geöffnet mit brauner Scheibe (**Abb. 4.1**). Photobiont chroococcoid; im Schnitt gegen den Rand dichter gruppiert, aber ohne eng gepackte Kolonien. – Auf

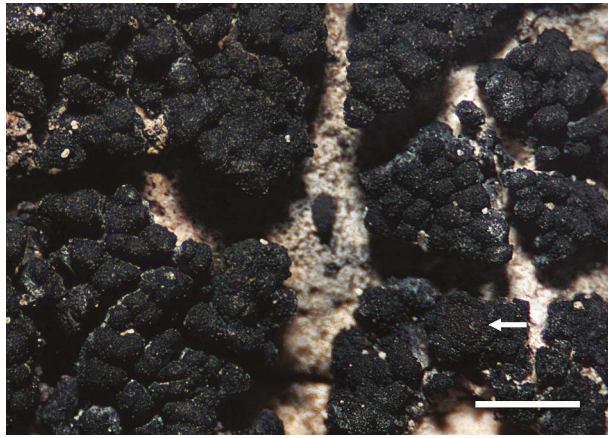


Abb. 4.1. *Anema decipiens* besitzt ein grob strukturiertes, meist dickes Lager; rechts ein Apothecium (Pfeil). Massstab 1 mm.

Kalkfels der Roggenstöckli-Südseite, bei Mittlist Weid und oberhalb Gross Band (montan-hochmontan), stellenweise häufig. Unterschiedliche Formen, vielleicht ein Komplex mit mehreren Arten. CH: GE, GR, VS; neu für SZ.

Anema nummularium (Durieu & Mont.) Forssell – Kurzklappiges Gallertschüppchen

Lager schwarz, bis 1,5 cm Durchmesser; aus eckigen bis rundlichen, getrennten, schildförmigen, üblicherweise zentral befestigten (genabelten) Schollen oder kleinen, ab und zu unregelmässigen Rosetten. Schollen relativ dick, Rand gelegentlich gelappt, bis 2,5 mm gross, Oberfläche mehr oder weniger glatt. Normalerweise mit mehreren Apothecien besetzt; diese etwas eingesenkt, öfters mit wulstigem Rand. Photobiont chroococcoid (**Abb. 3.2.6**). – Auf Kalk am Roggenstöckli-Südhang und oberhalb Gross Band (**Abb. 4.2**); Apothecien teils überaltert und dann mehrheitlich ohne Sporen. CH: SZ; als *A. notarisi* (A. Massal.) Forssell: VD, VS.

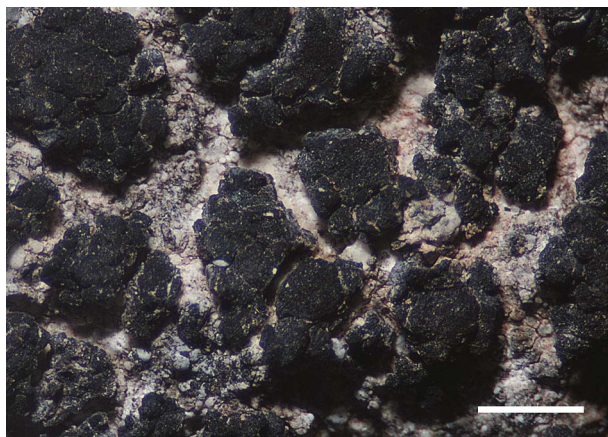


Abb. 4.2. Die Areolen von *Anema nummularium* sind schildförmig, schollig oder rosettenförmig mit kurz gelapptem Rand; hier sind nur einzelne Fruchtkörper zu finden. Massstab 1 mm.

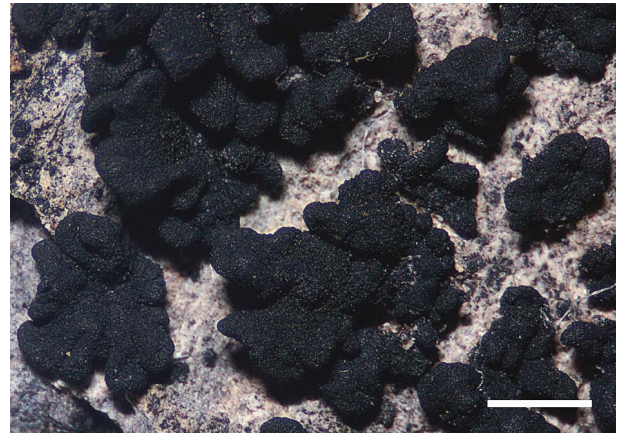


Abb. 4.3. Vermutlich junges, gelapptes Lager von *Gonohymenia nigritella*. Eine sichere Ansprache ist derzeit nicht möglich. Massstab 1 mm.

Gonohymenia* cf. *nigritella (Lettau) Henssen (Syn. *Lichinella* n. (Lettau) P.P. Moreno & Egea) – Schwärzliche Nabelgallertflechte

Lager anfangs als rundliche Schuppen, später zunehmend geteilt, mit unterschiedlich langen Loben (Lagerlappen), rosetten- oder etwas kissenförmig, zentral befestigt; schwarz, bis ca. 4 mm gross (Beleg). Lappen flach bis gewölbt, ausgebreitet bis niederliegend, relativ dick, die Ränder nach unten eingebogen; Oberfläche matt, rau, mit glänzenden Körnchen bis ausgeprägten Warzen (**Abb. 4.3**). Lager unberindet; mit zentralem, lockerem Bündel dünner Hyphen. Photobiont chroococcoid. Innen spärlich verteilt, nach aussen dichter angeordnet, in kleinen, eng gepackten Kolonien am Rand sowie auf der Oberfläche (Körnchen). – Auf der Roggenstöckli-Südseite auf Kalk; steril. Lager offenbar jung, unvollständig entwickelt, Bestimmung deshalb unsicher. Im Kanton Wallis kommen neben bekannten Flechten wie *G. nigritella* auch noch ungeklärte oder unbeschriebene *Gonohymenia*-/*Lichinella*-Arten vor (M. Schultz, unpubl. Daten). *Gonohymenia*, *Lichinella*, *Rechingeria* und *Thallinocarpon* konnten bislang nicht befriedigend definiert und abgegrenzt werden (SCHULTZ 2005, WIRTH et al. 2013). CH: BE, OW (BÜRGI-MEYER & KELLER in Vorbereitung), GE, VS; neu für SZ.

Gonohymenia octosporella Lettau – Achtsporige Nabelgallertflechte

Lager krustig, körnig bis kleinfelderig areoliert, dünn, schwärzlich oder schwarz, in unscharf begrenzten Flecken, wenige Millimeter bis 1–2 cm gross. Areolen unregelmässig begrenzt, Oberfläche rau bis feinkörnig. Apothecien sehr klein, bis 0,2 mm, wie das Lager gefärbt; erst gewölbt und Scheibe punktförmig, dann flach, Fruchtkörper sitzend, Rand deutlich (**Abb. 4.4**), ohne Eigenrand. Thallinocarp, auf dem Hymenium einige verstreute Kolonien von Cyanobakterien. Sporen breit ellipsoid oder fast kugelig, 7–10,5 × 5–6,7 µm (Beleg). Photo-

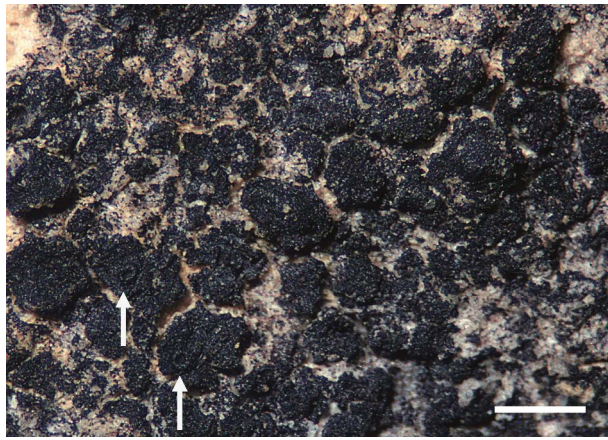


Abb. 4.4. *Gonohymenia octosporella* ist leicht zu übersehen und extrem selten. Stärker vergrößert sind Apothecien zu erkennen. Massstab 0,5 mm.

biont chroococcoid. – Auf abgestürztem schiefbrigem Kieselkalkblock am Roggenstöckli-Südhang. Sehr wahrscheinlich nicht näher mit *G. nigrifella* und anderen lappig-blättrigen *Gonohymenia*-Arten verwandt. Mit Sicherheit nur von der Typuslokalität im Allgäu, Deutschland, nachgewiesen (WIRTH et al. 2013); andere Fundmeldungen bzw. Belege sollten überprüft werden. Neu für die Schweiz.

Lempholemma botryosum (A. Massal.) Zahlbr. – Trauben-Schleimflechte

Lager kissen- oder rosettenförmig bis flach buschig, schwarz, zentral befestigt, 1–4 mm breit; äussere Loben geteilt, ausgebreitet, oft überlappend; innen knotig und/oder mit leicht verzweigten zylindrischen bis flachen Ästchen. Photobiont *Nostoc* in kurzen Ketten. – Auf Kalk und kieseligem Kalk am Roggenstöckli, Nord- und Südseite (**Abb. 4.5**), auch auf Kalk am Pragelpass. Selten mit Apothecien (**Abb. 4.6**, **4.7**), sehr selten mit Hormocystangien an den Spitzen der Ästchen; ausnahmsweise über 5 mm gross. CH: BE, GE, SO, SZ.



Abb. 4.5. *Lempholemma botryosum* bildet kleine Rosetten und knopfförmige Pölsterchen. Sie wird gern mit anderen *Lempholemma*-Arten verwechselt. Massstab 1 mm.

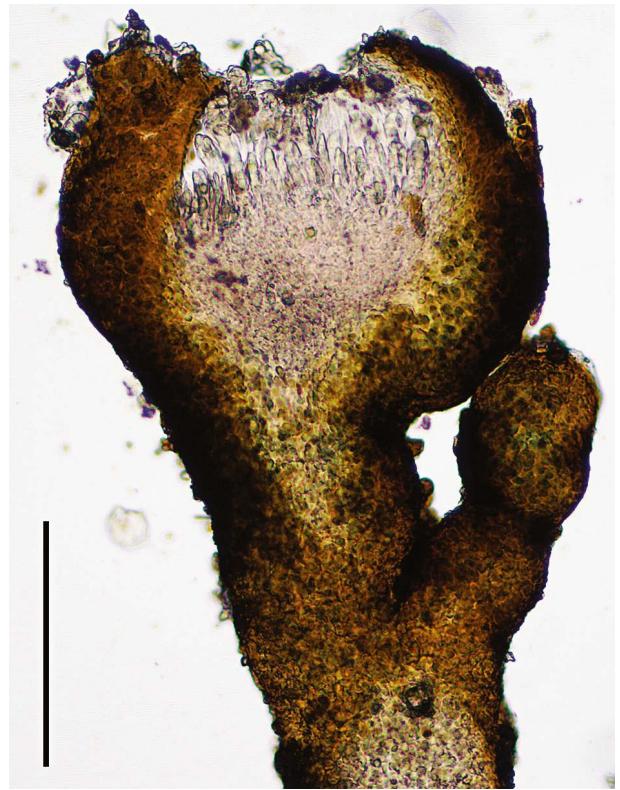


Abb. 4.6. Angeschnittener Ast von *L. botryosum*, am Ende ein Apothecium mit deutlichen, aber unreifen Schläuchen. Massstab 200 µm.

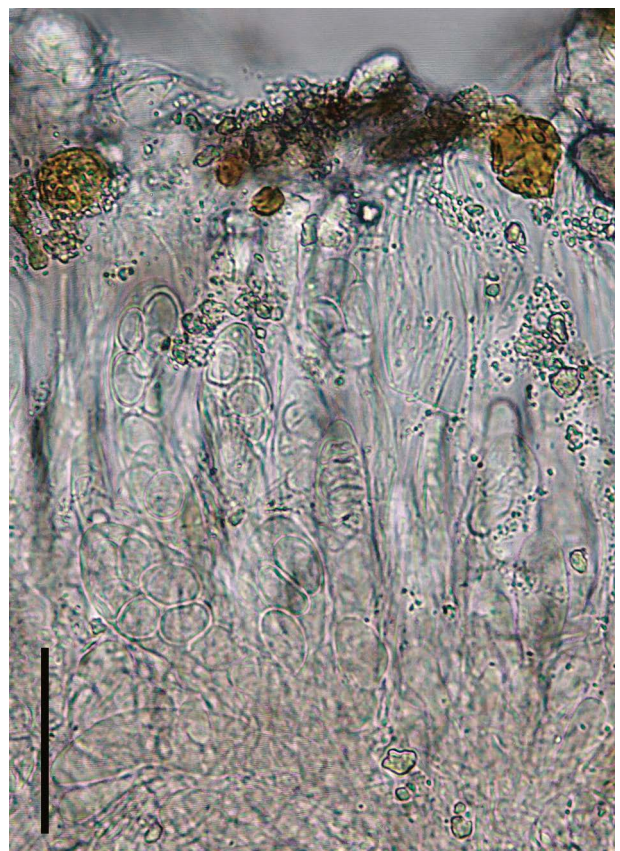


Abb. 4.7. Hymenium (Fruchtschicht) mit Schläuchen, darin farblose, einzellige Sporen. *L. botryosum*; Massstab 30 µm.

Lempholemma cladodes (Tuck.) Zahlbr. –
Keulen-Schleimflechte

Lager jung mit angedeuteten Rosetten aus kleinen Lappen, später mit schwach verzweigten, gedrunge- nen Ästchen, schwarz, teils bereift, 1–3 mm gross; in lockeren Beständen bis über 1 cm; mit kugeli- gen Hormocystangien bzw. mit deren gut erkenn- baren Trennstellen. Photobiont *Nostoc* in Ketten. – An Kalkfelswänden der Roggenstöckli-Südseite, am Pragelpass und am Bol (hochmontan). Im Ge- biet bisher mit eher schlecht entwickelten Lagern (Abb. 4.8). CH: SZ.

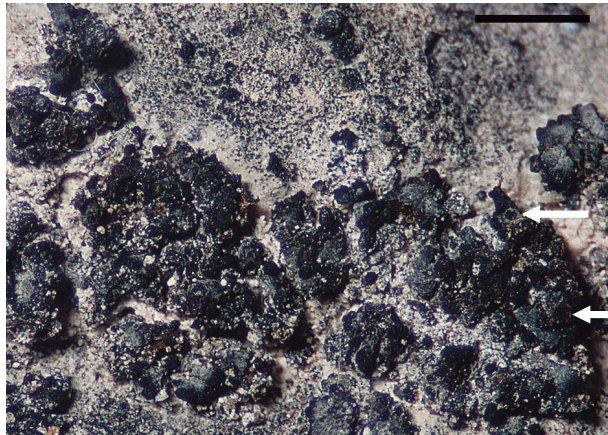


Abb. 4.8. Junge, undeutlich rosettenförmige *Lempholemma cladodes*. Die Pfeile weisen auf Stellen, wo Hormocystan- gien abgetrennt worden sind. Massstab 1 mm.

Lempholemma condensatum (Arnold) Zahlbr. –
Dichtpolsterige Schleimflechte

Lager strauch- bis polsterförmig, zentral befestigt, bis 1,2 cm Durchmesser; Äste bis 3 mm lang, auf- recht, locker bis dicht gepackt, teilweise zylindrisch, Enden auch verbreitert und verzweigt; schwarz, sel- tener dunkelolivbraun; meistens bereift (Abb. 4.9). Photobiont *Nostoc*, mehrheitlich in Ketten. – Auf

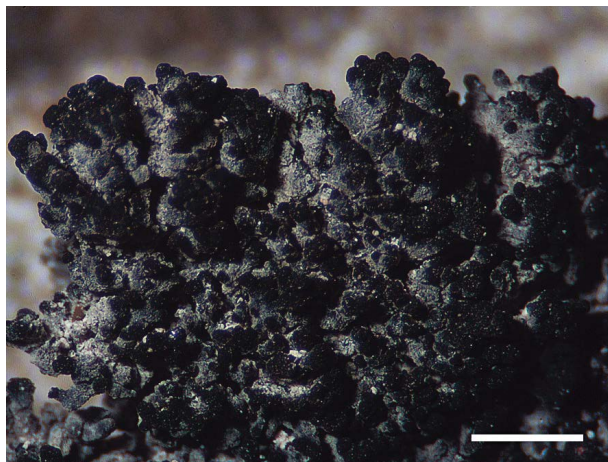


Abb. 4.9. *Lempholemma condensatum* ist aufgrund des auf- rechten, buschigen Wuchses mit der Lupe ansprechbar. Mass- stab 1 mm.

Kalk, am Roggenstöckli-Südhang relativ häufig, am Bol und oberhalb Gross Band; hier und da mit Apothecien (Abb. 4.10, 7.1.1). Im Habitus deutlich von *L. intricatum* verschieden. CH: Verbreitung un- bekannt, in CLERC & TRUONG (2012) Synonym von *L. intricatum*.

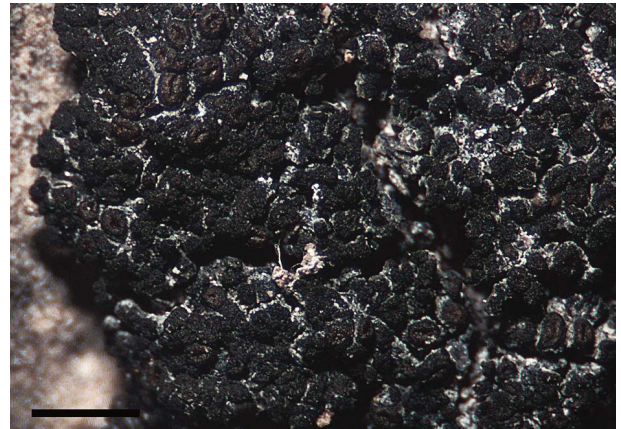


Abb. 4.10. Dichtes Polster von *L. condensatum* mit zahlrei- chen Apothecien. Massstab 1 mm.

Lempholemma intricatum (Arnold) Zahlbr. –
Verfilzte Schleimflechte

Lager deutlich strauchig, in locker aufliegenden bis dicht anliegenden Beständen bis ca. 2 cm, gewöhn- lich schwarz, vielfach glänzend, selten bereift; Äste zylindrisch, teils zugespitzt, dick bis fadenartig dünn, wenig verzweigt, viele herabgebogen, sich locker oder dicht überkreuzend, bis ca. 5 mm lang; sehr variabel (Abb. 4.11). Photobiont *Nostoc*, meist in Ketten (Abb. 3.2.2, 3.2.3). Ökologie ähnlich *L. con- densatum*, aber von dieser durch die unterschiedli- che Wuchsform klar getrennt; beide Sippen sind zur- zeit als eigenständige Arten anzusehen. – Auf Kalk am Nord- und am Südhang des Roggenstöcklis; auf Kalk oder Kieselkalk im Chrüz (montan), am Pragel-

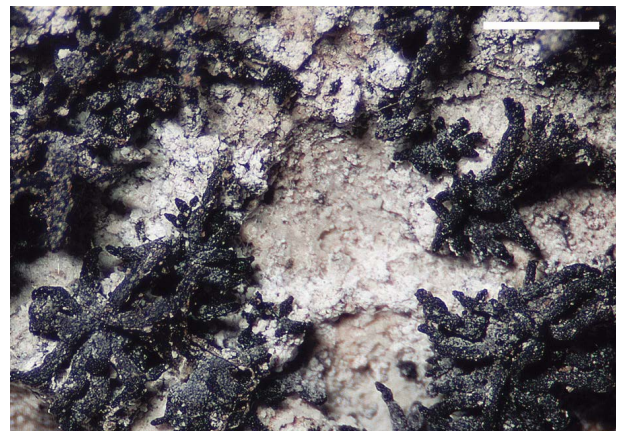


Abb. 4.11. Auch *Lempholemma intricatum* ist relativ gut zu erkennen: Äste zylindrisch-zugespitzt, wenig verzweigt; ne- ben aufrechten finden sich stets herabgebogene und liegende Äste. Massstab 1 mm.

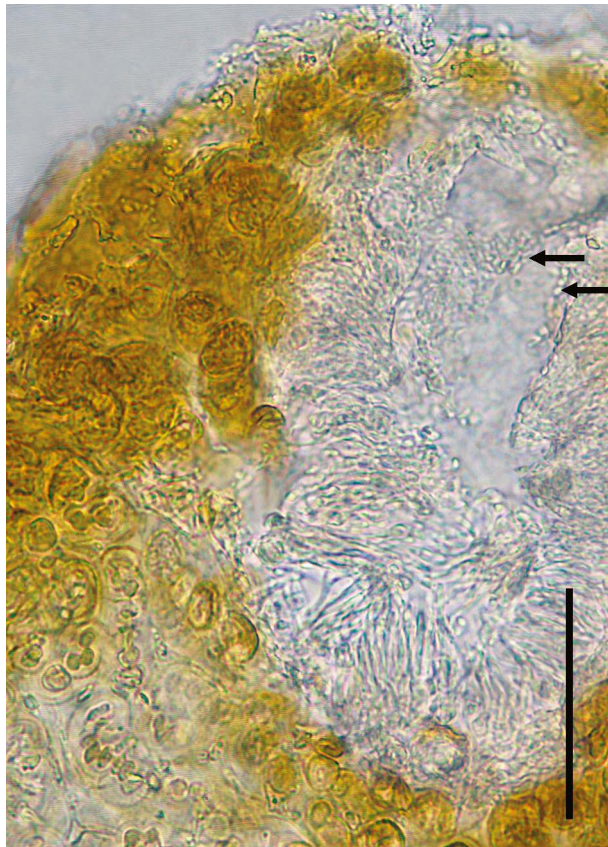


Abb. 4.12. Gequetschtes Pyknidium von *L. intricatum*. Das Organ produziert winzige Pyknosporen (Pfeile), welche zur vegetativen Verbreitung oder als Spermarien des Pilzpartners dienen. Massstab 50 μm .

pass und bei Ober Saum. Selten mit Pyknidien (**Abb. 4.12**). CH: SZ, VS.

Metamelanea umbonata Henssen –
Nabelige Schwarzflechte

Lager krustig, rissig areoliert, schwarz, seltener bereift, bis ca. 5 cm Grösse. Areolen 0,3–1 mm, mehrheitlich glatt, dünn bis relativ dick (**Abb. 4.13**).



Abb. 4.13. *Metamelanea umbonata* sieht aus wie eine rissige dünne Teersicht. Ring- oder nabelförmige Fruchtkörper (oben links) sind nicht immer vorhanden. Massstab 1 mm.

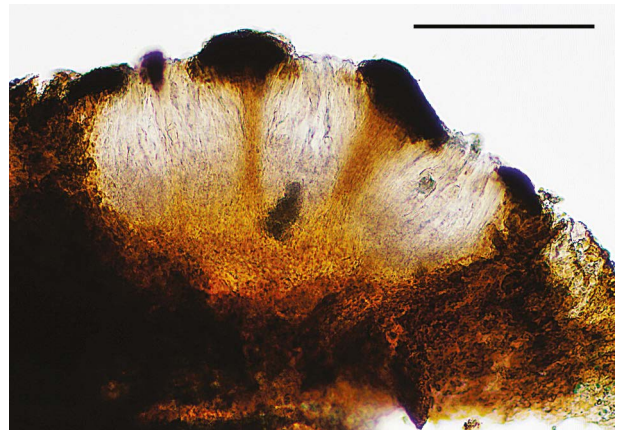


Abb. 4.14. Im Apothecienquerschnitt von *M. umbonata* zeigen sich Rippen oder Näbel als sterile Bereiche in der Fruchtschicht. Massstab 200 μm .

Apothecien mit Lagerrand, eingesenkt bis sitzend, Scheibe mit sterilen Rippen oder Näbeln (**Abb. 4.14**), Sporen einzellig, farblos, ellipsoid, bis $14 \times 10 \mu\text{m}$. Photobiont chroococcoid, in dichtgepackten vertikalen Reihen. – Auf Kalk am Roggenstöckli-Nordhang, an einer Felswand westlich vom Roggenstöckli und bei Mittlist Weid. CH: NW-OW, SZ.

Placynthium asperellum (Ach.) Trevis. –
Rauer Tintenfleck

Lager in meist unregelmässigen, selten über 2 cm grossen Flecken; als Rasen oder beinahe strauchförmig wachsend, zum Teil areoliert, braun bis schwarz. Am Rand länglich-schmale, ab und zu glänzende Lappen bzw. Ästchen, mit zentraler Rille, gabelig geteilt (**Abb. 4.15**); im Zentrum papillös oder mit fast zylindrischen aufsteigenden Ästen. Apothecien und Pyknidien häufig. Photobiont scytonemoid, Ketten mehr oder weniger geknäult. – Auf Kalkfelsen der Roggenstöckli-Südseite. CH: GR, SZ, VS.

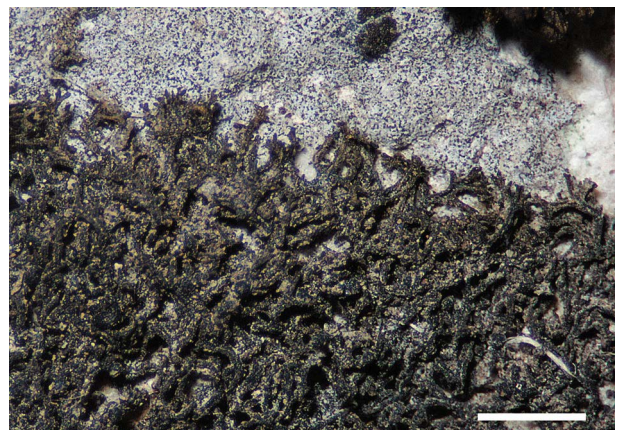


Abb. 4.15. *Placynthium asperellum* kommt am Roggenstöckli mit Apothecien und Pyknidien vor. Charakteristisch sind gerillte, gegabelte Randlappchen. Massstab 1 mm.

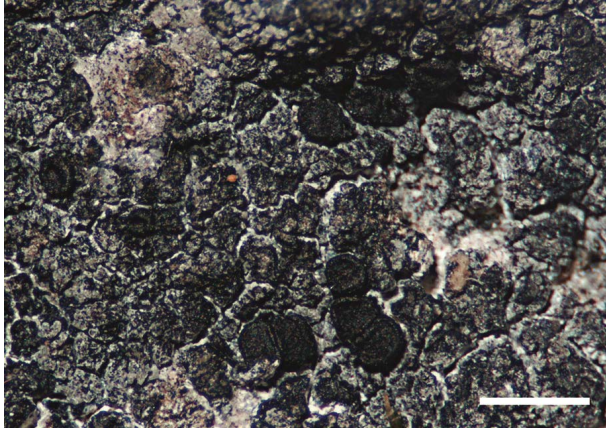


Abb. 4.16. Oft entscheidet erst das Mikroskop: *Placynthium dolichoterum* kann anhand der Sporen von ähnlichen Arten unterschieden werden. Massstab 1 mm.

***Placynthium dolichoterum* (Nyl.) Trevis. – Langsporiger Tintenfleck**

Lager in Flecken, dunkelbraun bis schwarz, matt oder etwas glänzend, selten bereift; bis 2 oder 3 cm gross (**Abb. 4.16**). Rissig areoliert, Areolen körnig-warzig, seltener glatt; ab und zu auch fein gelappt. Öfters fertil, Apothecien mit vergleichsweise langen, 3–5fach septierten Sporen (**Abb. 4.17**). Photobiont scytonemoid. – Am Roggenstöckli auf Kalk am Nord- und Südhang, selten im übrigen Bödmerenwaldgebiet. CH: BL, SZ, VS.

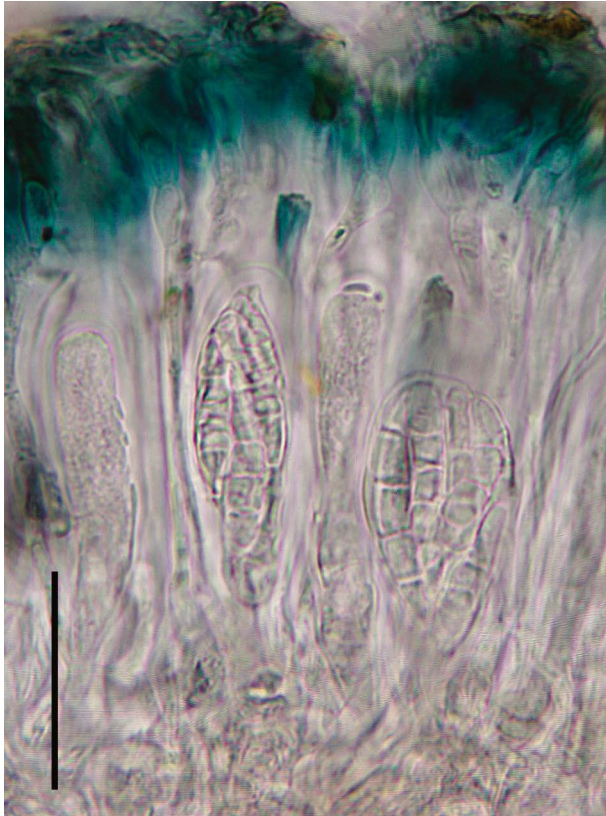


Abb. 4.17. *P. dolichoterum* hat gewöhnlich spindelförmige Sporen mit 4 bis 6 Zellen. Massstab 30 µm.

***Placynthium filiforme* (Garov.) M. Choisy – Faden-Tintenfleck**

Lager mit mehrheitlich radial wachsenden, langen schlanken, verzweigten, gewölbten bis abgeflachten Lappen, längs gerieft; oliv- oder braunschwarz bis schwarz, meistens glänzend, locker aufliegend (**Abb. 4.18**); Lagerdurchmesser bis über 2 cm; Zentrum manchmal fehlend. Photobiont scytonemoid. – Auf Kalk am Roggenstöckli-Südhang; auf Kieselkalk, Ober Saum. Leicht erkennbare Art; auch in unregelmässigen Aggregaten. CH: BE, NW-OW, SZ.

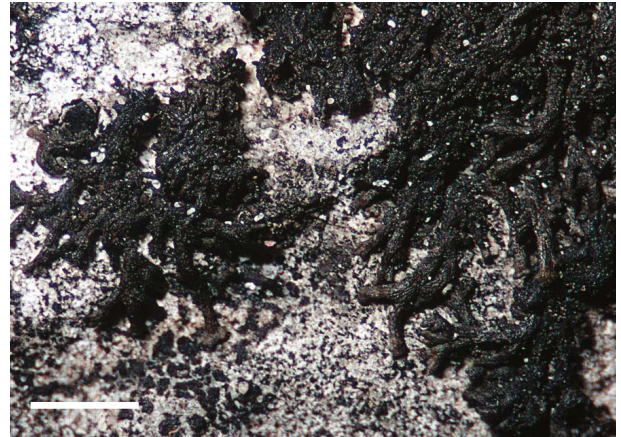


Abb. 4.18. Die Äste von *Placynthium filiforme* sind auffallend lang und schlank, dazu etwas verzweigt. Massstab 1 mm.

***Placynthium flabellusum* (Tuck.) Zahlbr. – Fächer-Tintenfleck**

Lager rosettenförmig, klein, 1–2 cm, selten grösser; graubraun, braun bis dunkeloliv. Randläppchen strahlig, langgestreckt, bis ca. 3 mm, verzweigt, etwas angepresst, flach, an den Spitzen verbreitert. Auf den Lappen wenige bis zahlreiche, dachziegelartige Schuppen (**Abb. 4.19**), später zu verzweigten Läppchen entwickelt (Sekundärlappen). Ohne Apothecien; Photobiont scytonemoid, in kurzen oder etwas geknäuelten Ketten. – Auf Kalk der Roggen-



Abb. 4.19. *Placynthium flabellusum* ist eine Flechte eher feucht-nasser Standorte. Die Art ist heute nur vom Roggenstöckli bekannt. Massstab 1 mm.

stöckli-Südseite. Gewöhnlich auf Silikatgestein sehr feuchter oder nasser Standorte, im Überflutungsbe- reich von Bergbächen und -seen sowie in langfristig feuchten Sickerwasserrinnen. In Nordeuropa, Gross- britannien, selten in den mitteleuropäischen Gebir- gen (JØRGENSEN 2012d, THÜS & SCHULTZ 2009). Neu für die Schweiz.

Placynthium hungaricum Gyeln. –
Ungarischer Tintenfleck

Lager in Rosetten oder Flecken, teppichförmig bis polsterig, dick, teilweise areoliert; braun, dunkel- braun, fast immer grau bereift; 4–15 mm gross, Aggregate auch über 2 cm. Selten mit blauschwar- zem Vorlager. Randläppchen wenig verzweigt, lo- cker anliegend; im Zentrum dicht gepackte, schwach verzweigte, relativ dicke, hauptsächlich zylindrische Ästchen. Gewisse Formen von *P. hungaricum*, *garo- vaglioi* und *nigrum* sind steril kaum zu unterschei- den. Photobiont scytonemoid, in lockeren oder geknäuelten Ketten. – Am Roggenstöckli-Nordhang auf Kalk und auf Kalk am Pragelpass (Abb. 4.20, 7.1.2). CH: BL-BS, GR, SZ.

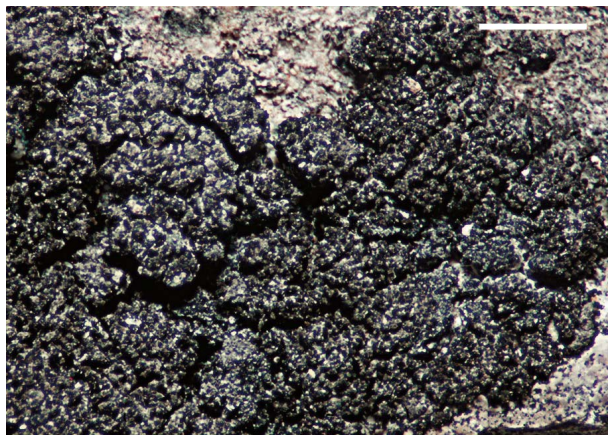


Abb. 4.20. In der Sippe von *Placynthium nigrum* zeichnet sich *P. hungaricum* durch das dickste Lager mit gro- ben, stets bereiften Ästchen aus, meist fehlt ein sichtbares Vorlager. Massstab 1 mm.

Placynthium lismoreense (Cromb.) Vain.

Lager in Flecken oder angedeuteten Rosetten, flach, anliegend, dunkelolivbraun bis braunschwarz, 1–3 cm. Randloben dicht anliegend, fingerartig eng geteilt, übrige Loben etwas strahlförmig, segmen- tiert; Oberfläche der zentralen Areolen mehr oder we- niger knotig (nodular), Lagermitte auch mal fehlend. Photobiont scytonemoid. – Bisher einziger Fundort am Roggenstöckli-Südhang auf Kalk (Abb. 4.21). CH: SZ.

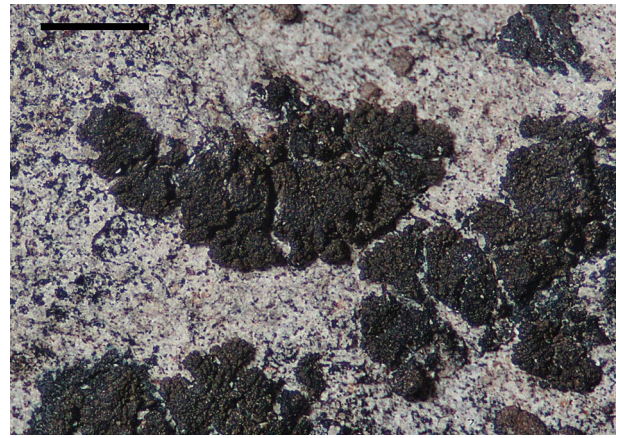


Abb. 4.21. Flacher, segmentierter Thallus, eng gefingerte Randläppchen sowie oliv- bis dunkelbraune Tönung sind Merkmale von *Placynthium lismoreense*. Massstab 1 mm.

Placynthium nigrum (Huds.) Gray –
Schwarzer Tintenfleck

Lager in Flecken, einige Millimeter bis mehrere Zen- timeter gross; braun bis braunschwarz, oft glänzend, seltener bereift, mit auffälligem blauschwarzem Vor- lager (Abb. 4.22, 7.2.1). Lager aus ästigen, warzigen bis koralloiden oder fast schuppigen, in der Regel aber schlanken Elementen; mitunter zentral gehäuft, auch areoliert; am Rand hin und wieder fingerförmig ausgebreitet. Sehr variabel in Ausbildung und Grös- se, Vorlager auch reduziert oder fehlend. Photobiont scytonemoid, geknäuel oder in Ketten. – Am Rog- genstöckli auf Kalk und Kieselkalk, auf der Nord-, häufiger auf der Südseite; im ganzen Bödmeren- wald-Silberengebiet, vorwiegend auf Kalk; mehr- mals mit Apothecien. CH: In 15 Kantonen.

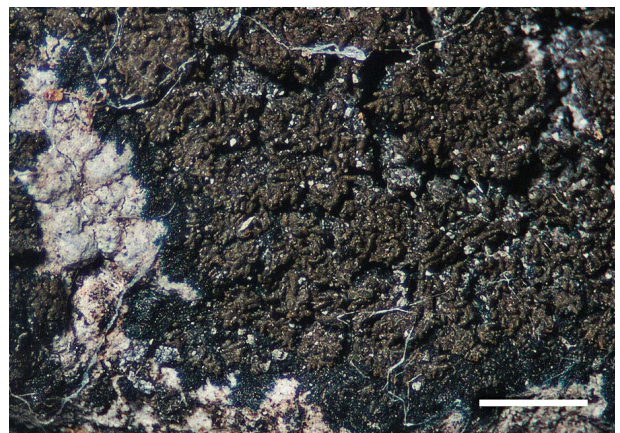


Abb. 4.22. *Placynthium nigrum* gleicht manchmal glänzen- dem SchokoladestreuSEL auf blauschwarzem Grund (das Vor- lager); eine sehr variable Art. Massstab 1 mm.

Placynthium pannariellum (Nyl.) H. Magn.

Lager meist in kleinen Rosetten, einzeln oder zusam- menfliessend, 1–3 cm, dunkelolivbraun; Randlappen strahlig-fächerförmig, schwach gewölbt, Oberfläche

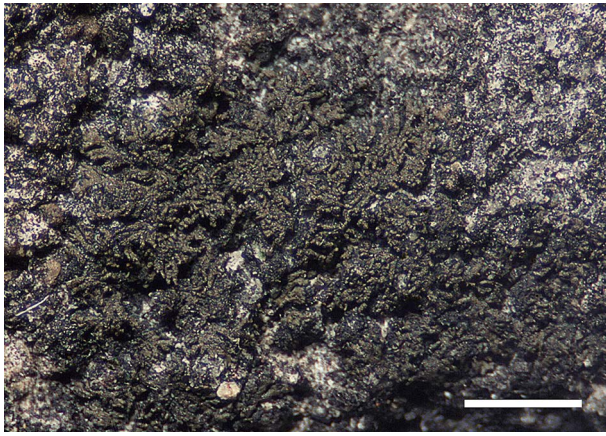


Abb. 4.23. Die für *Placynthium pannariellum* oft aspektbestimmenden fächerförmigen Randlappen sind hier kaum entwickelt. Massstab 1 mm.

in Längsrichtung etwas gerieft. Zentrale Areolen mitunter wie zerstückelt, mit fingerförmigen, isidienartigen (Isidien: vegetative Verbreitungseinheiten aus Pilz und Algen), später etwas verzweigten, ausgebreiteten bis aufsteigenden Lappchen (**Abb. 4.23**). Mit schwarzem, filzartigem Hypothallus (Unterlager), selten mit sichtbarem, blauschwarzem Vorlager; ohne Apothecien. Rinde oben bisweilen undeutlich, unten ausgeprägt; das Innere auffallend zellig. Photobiont scytonemoid, in Knäueln und Ketten. – Auf Kalk, Roggenstöckli-Südseite und Mittlist Weid (GRONER 2016b), auf Kieselkalk im Chrüz. CH: SZ.

Placynthium posterulum (Nyl.) Henssen – Zarter Tintenfleck

Lager mehr oder weniger rosettenförmig, seltener in Flecken, olivbraun bis braunschwarz, auch etwas bereift, Durchmesser 3–15 mm, selten bis 2 cm (**Abb. 4.24**); kleinste Art dieser Gattung. Ästchen am Rand zylindrisch, locker anliegend und ausgebreitet, in der Mitte körnig bis fingerartig, verzweigt; Zen-

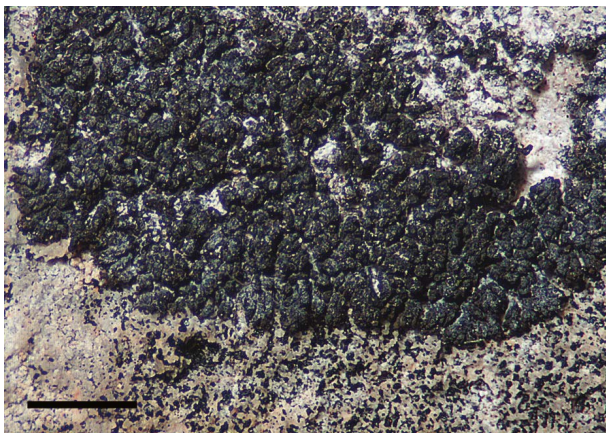


Abb. 4.24. *Placynthium posterulum* ist im Gebiet bisher nur einmal gefunden worden. Massstab 1 mm.

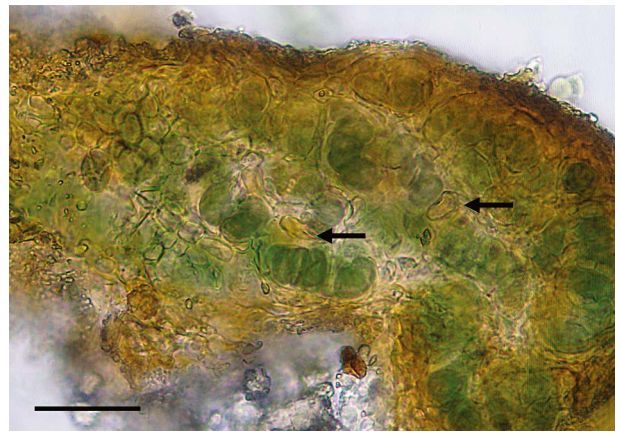


Abb. 4.25. Wichtigstes Kennzeichen von *P. posterulum* ist die fehlende blauschwarze Färbung der Unterseite. Fäden des Cyanobionten mit gelben Heterocyten (Pfeile). Massstab 30 µm.

trum gelegentlich fehlend. Ohne blauschwarze Färbung der Unterseite (**Abb. 4.25**), im Gegensatz zu mehr oder weniger ähnlichen *Placynthium*-Arten. Photobiont scytonemoid, in Ketten und Knäueln. – Auf Kalk am Roggenstöckli-Südhang. CH: SZ.

Placynthium subradiatum (Nyl.) Arnold – Sichel-Tintenfleck

Lager ringförmig durch ausgefallenes Zentrum oder als Rosetten, dunkelbraun, oliv- bis schwarzbraun, bereift oder unbereift; 1–2 cm, aber auch grössere Lager und Aggregate. Ausgeprägte, strahlige, häufig grau oder bläulich bereifte Randlappen, bis 2 mm lang, geteilt, mitunter segmentiert; gewölbt oder abgeflacht, selten zylindrisch, der Unterlage dicht aufliegend (**Abb. 4.26**). Lappchen im Zentrum (wenn vorhanden) meist warzig. Photobiont scytonemoid (**Abb. 3.2.5**). – Am Roggenstöckli auf Kalk der Südseite relativ häufig (**Abb. 7.2.2**), an Kalkfelswänden in der montanen und subalpinen Stufe. CH: In 8 Kantonen.

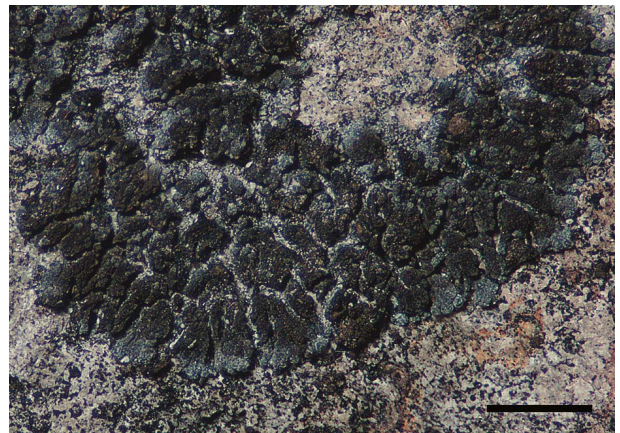


Abb. 4.26. Bei *Placynthium subradiatum* sind Lager über 2 cm Durchmesser nicht selten. Die Randlappchen sind oft bläulich bereift. Massstab 1 mm.

Porocyphus* cf. *coccodes (Flot.) Körb. –
Kugelige Höckerflechte

Lager in unregelmässig begrenzten Flecken, selten grösser als 2,5 cm, sehr variabel. Im Gebiet mit locker bis dicht stehenden, unförmigen Areolen, dunkelbraun bis schwarz, selten stellenweise etwas bereift; Areolen bis ca. 2,5 mm gross, dick, Oberfläche körnig, auch mit kurzfädigen, teils schwach verzweigten Auswüchsen. Pyknidien eingesenkt oder leicht vorgewölbt, bräunlich (Abb. 4.27). Photobiont rivularioid, in mehr oder weniger vertikal angeordneten Ketten. Die Gattung *Porocyphus* ist revisionsbedürftig; manche Arten sind noch unzureichend bekannt oder die Arttaxonomie ist unsicher. *P.* cf. *coccodes* unterscheidet sich im Habitus klar von *P.* cf. *rehmicus*, die Areolen sind zudem nicht aus winzigen Ästchen zusammengesetzt. – Auf Kalk am Roggenstöckli-Südhang; ohne Apothecien. CH: GE, GR; neu für SZ.

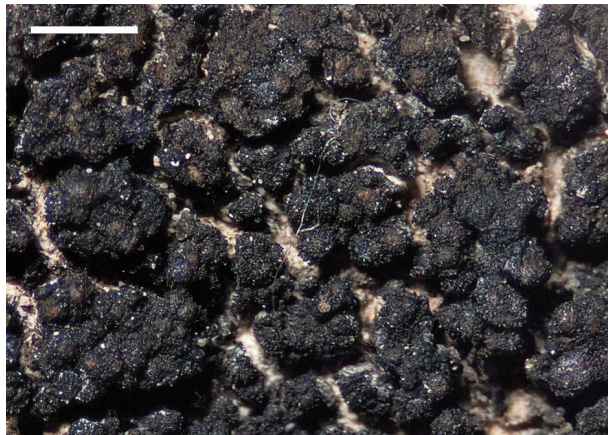


Abb. 4.27. Ungewöhnlich dicke Areolen von *Porocyphus* cf. *coccodes* mit zahlreichen bräunlichen Pyknidien. Massstab 1 mm.

Porocyphus* cf. *rehmicus (A. Massal.) Zahlbr. –
Filzige Höckerflechte

Lager in Flecken von wenigen Millimetern bis ca. 3 cm Grösse, tief rissig areoliert, braunschwarz bis schwarz (Abb. 4.28). Alle Funde mit Areolen aus aufrechten, dichtgedrängten koralloiden Ästchen (Abb. 4.29). Photobiont *Calothrix*, Ketten mehrheitlich kurz, geknäuel oder in einzelne Zellen aufgelöst. Die koralloide Form entspricht *P. byssoides* Hepp, einer Schweizer Art, die derzeit als Synonym geführt wird. – Nur auf Kieselkalk, auf dem Roggenstöckli, am Torstöckli, in der montanen Stufe im Chrüz; bisher nur steril. CH: GR, SZ, VS, ZH.

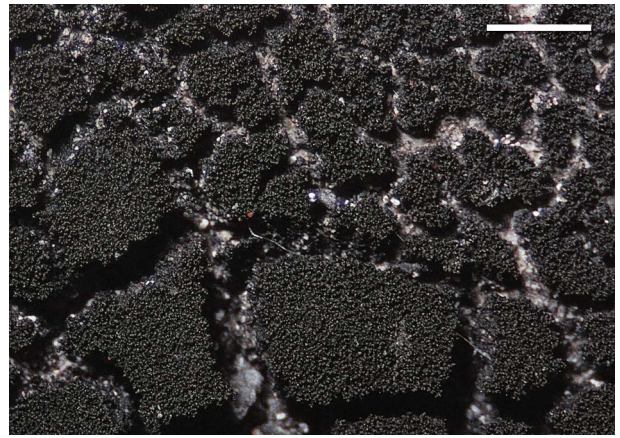


Abb. 4.28. *Porocyphus* cf. *rehmicus* kommt an verschiedenen Stellen vor, die Funde sind steril und daher nicht sicher einzuordnen. Massstab 1 mm.

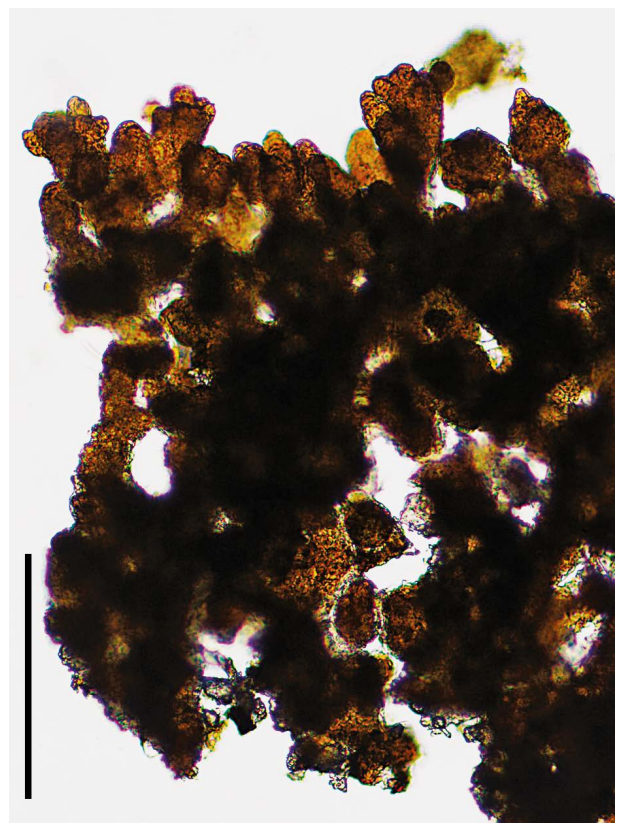


Abb. 4.29. Das Lager von *P.* cf. *rehmicus* unter dem Mikroskop: Die koralloiden Ästchen sind miteinander wie verflochten. Massstab 200 µm.

Pseudoleptogium diffractum (Kremp. ex Körb.)
Müll. Arg. (Syn. *Leptogium d.* Kremp. ex Körb.) –
Zerbrechliche Gallertflechte

Lager gelappt, braun, dunkelolivbraun bis schwarzbraun, rosettenförmig, bis 1 cm im Durchmesser; die Loben der Unterlage anliegend, flach bis gewölbt. Lager im Zentrum areoliert, teils schuppig, oder erodiert und dann nur Randlappen vorhan-

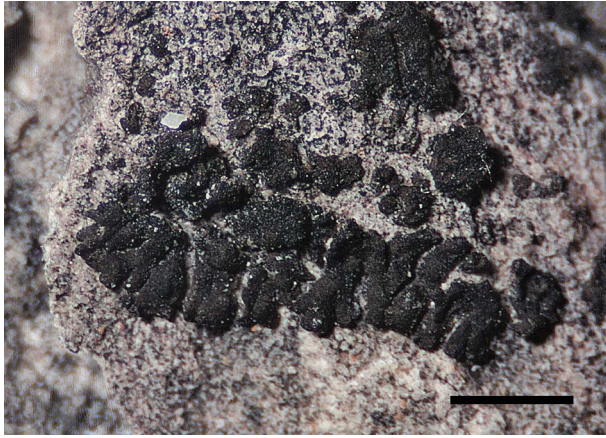


Abb. 4.30. *Pseudoleptogium diffractum* besteht häufig nur aus einem Kranz von dicht anliegenden, flachen Randlappen, das Zentrum des Lagers fehlt. Massstab 1 mm.

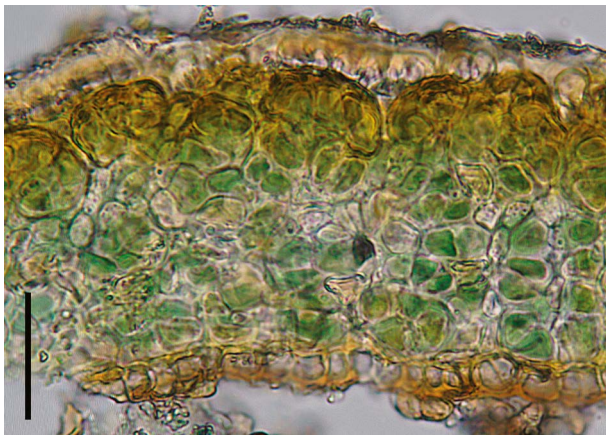


Abb. 4.31. Zur sicheren Bestimmung muss *P. diffractum* mikroskopiert werden: Der Querschnitt zeigt die einschichtige Rinde und das vollständig zellige (gewebeartige) Mark. Massstab 20 µm.

den (**Abb. 4.30**); im Querschnitt durchwegs zellig (**Abb. 4.31**). Photobiont *Nostoc* in Ketten oder Knäueln. – Auf Kalkfelsen der Roggenstöckli-Südseite, im Tähti südwestlich vom Roggenstöckli, an der Felswand bei Mittlist Weid. CH: BE, SO, SZ, VD.

Psorotichia frustulosa Anzi – Gefelderter Teerfleck
Lager körnig oder kleinfelderig areoliert, schwärzlich, wenige Millimeter gross, auch reduziert bis stellenweise fehlend. Apothecien sitzend, Durchmesser bis ca. 0,15 mm, Rand auffällig, gewöhnlich dick, mitunter gespalten; Eigenrand kaum entwickelt oder nicht vorhanden, Scheibe vertieft (**Abb. 4.32**). Sporen variabel; nahezu kugelig und $7-10 \times 5-8 \mu\text{m}$ oder breit ellipsoid und bis ca. $15 \times 11 \mu\text{m}$. Photobiont chroococcoid, cf. *Chroococcidiopsis*. – An Kalkfelsen der Roggenstöckli-Südseite. Eine mediterran-mitteleuropäische Flechte, gemeldet aus Spanien (MORENO & EGEA 1994), Deutschland (WIRTH et al. 2013), Österreich, Italien und Griechenland (GBIF 2016). Neu für die Schweiz.



Abb. 4.32. Drei schwarze, dick berandete Apothecien (Pfeilspitzen) von *Psorotichia frustulosa* ohne deutliches Lager. Massstab 0,5 mm.

Psorotichia montinii (A. Massal.) Forssell s.l. –
Dünner Teerfleck

Lager winzig, um 1–3 mm gross, feinkörnig, fast staubig, selten kleinfelderig, dünn, schwärzlich, kaum vom Substrat zu unterscheiden. Apothecien mit relativ breitem, etwas bereiftem Rand; bis max. 0,2 mm, meistens kleiner (**Abb. 4.33**); Sporen um $8,5 \times 4,5 \mu\text{m}$. Photobiont chroococcoid, mit eher grossen Zellen. – Einmal auf Kalk der Roggenstöckli-Südseite. Der Beleg passt nicht zur Originalbeschreibung von *P. montinii*, sondern gehört zu einer selten gesammelten, ungeklärten *Psorotichia*-Artengruppe mit kleinen Lagern, kleinen Apothecien, kleinen Sporen (vgl. WIRTH et al. 2013, S. 953–954). CH: als *Thelochroa montinii* A. Massal.: GE, SO; neu für SZ.

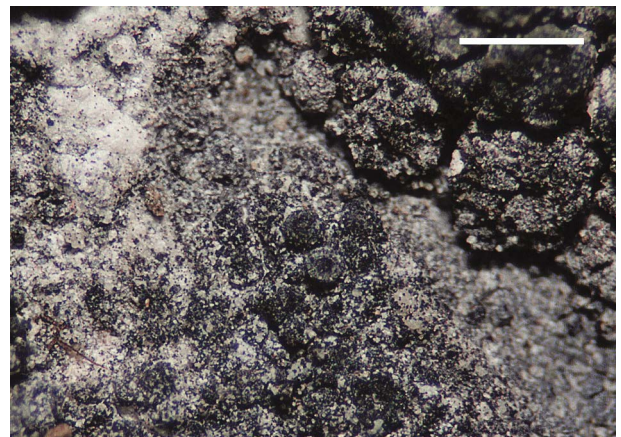


Abb. 4.33. *Psorotichia montinii* s.l., Fruchtkörper auf krustig-feinkörnigem Thallus. Massstab 0,5 mm.

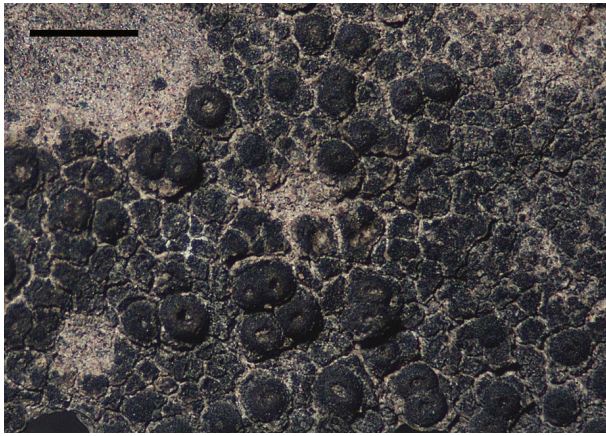


Abb. 4.34. *Pyrenocarpon thelostomum* mit den typischen Apothecien ist relativ leicht identifizierbar; die Flechte ist extrem selten. Massstab 1 mm.

Pyrenocarpon thelostomum (Ach. ex J. Harriman) Coppins & Aptroot – Warziger Uferteerfleck
Lager krustig, in unregelmässigen Flecken, areoliert, dünn, bräunlich, dunkelbraun, bis ca. 2 cm. Areolen ohne Rinde, innen ungeschichtet, zellig. Apothecien sitzend, kraterförmig (**Abb. 4.34**; erinnern im feuchten Zustand an Fischaugen); Sporen einzellig, breit ellipsoid, farblos, $9\text{--}13 \times 7\text{--}9,5 \mu\text{m}$. Photobiont chroococcoid, mit kleinen Zellen. Die Art bevorzugt (halb-)amphibische Standorte wie z. B. Uferfelsen und -geröll, besiedelt aber auch periodisch sickerfeuchte Felsen abseits von Gewässern. – Auf Kieselkalk des Roggenstöcklis, bisher einziger Fund. CH: GE, SZ, ZH.

Pyrenopsis grumulifera Nyl. s.l.

Lager krustig, in unregelmässigen Flecken, krümelig, schollig, dunkelbraun bis schwarz, 3–8 mm gross. Trockene fertile Areolen am Rand mitunter aufgebogen, bis ca. 1 mm Durchmesser; mit 1–6 eingesenkten bis vorgewölbten Apothecien mit engen, rissförmigen bis rundlichen Öffnungen (**Abb. 4.35**,

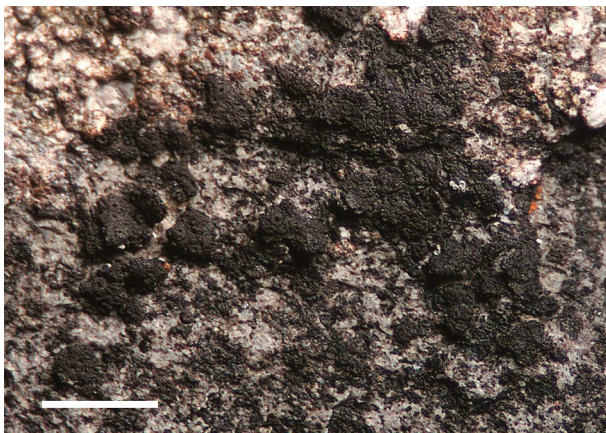


Abb. 4.35. Der bisher einzige Schweizer Fundort von *Pyrenopsis grumulifera* s.l. befindet sich am Roggenstöckli. Massstab 1 mm.



Abb. 4.36. Die Apothecien von *P. grumulifera* s.l. besitzen kleine Öffnungen, das Hymenium weist gewöhnlich wenige, aber grosse Schläuche auf. Massstab 50 μm .

4.36). Sporen zu mehr als 32 in den Schläuchen, nur 4–6 μm lang (**Abb. 4.37**). Photobiont *Gloeocapsa* mit roten Gallerthüllen (**Abb. 3.2.1**). Eine schwierige Gattung mit vielen kaum bekannten oder ungenügend abgegrenzten Arten. – Auf dem Roggenstöckli auf einem Kieselkalkblock, auf und zwischen anderen Krustenflechten. CH: SZ.

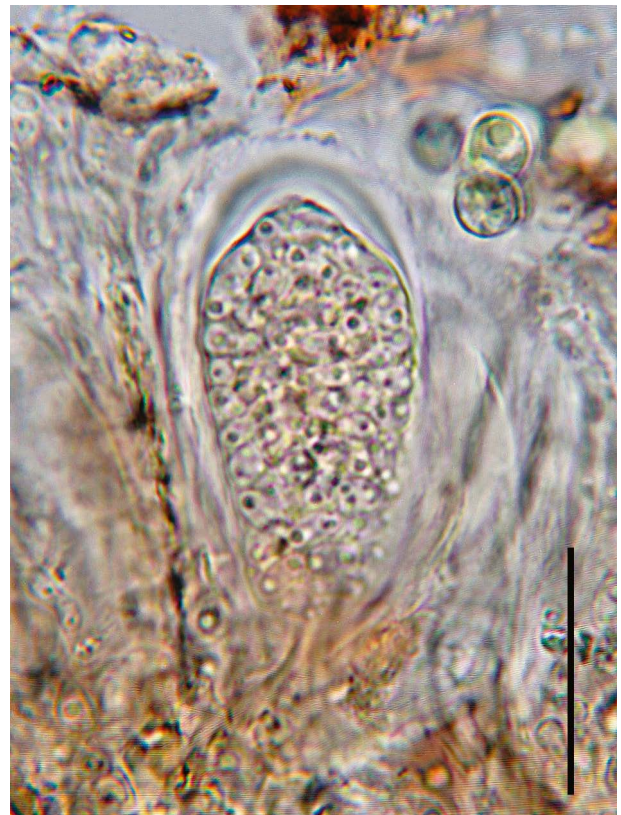


Abb. 4.37. Charakteristisch für *P. grumulifera* s.l. sind Schläuche mit bis zu 64 Sporen. Massstab 20 μm .

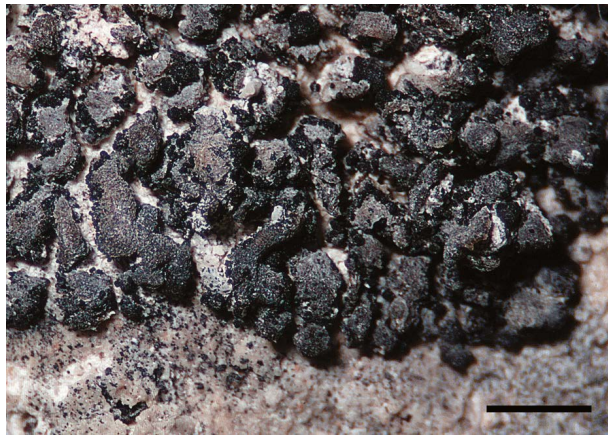


Abb. 4.38. *Scytinium fragile* ist der Kalkunterlage angepresst, die Lappen sind fragmentiert und tragen schwarze, oft kugelige Auswüchse. Massstab 1 mm.

Scytinium fragile (Taylor) Otálora et al.
(Syn. *Collema f.* Taylor)

Lager lappig, rosetten- oder kissenförmig, bis 2 cm Durchmesser; Loben braun, graubraun, konvex, oftmals dicht angepresst, seltener aufsteigend; teilweise strahlig und überlappend, etwas gabelig verzweigt, fragmentiert. Oberfläche mit zahlreichen, auffällig schwarzen kugeligen Isidien oder unförmig-knolligen Auswüchsen. Junge Lappen manchmal weisslich durch auswachsende kurze Pilzhyphen («behaart»); Photobiont *Nostoc* in Ketten (GILBERT et al. 2009). – Auf Kalkfels der Roggenstöckli-Südseite sowie am Pragelpass (subalpin); Belege etwas bereift, ohne Apothecien, Loben ohne weisse Hyphen (**Abb. 4.38**). In Europa nur zerstreut: Grossbritannien, Irland, Griechenland, Kroatien, Österreich (GBIF 2016), Italien (NIMIS & MARTELLOS 2017), Spanien und Portugal (CARVALHO 2012). Neu für die Schweiz.

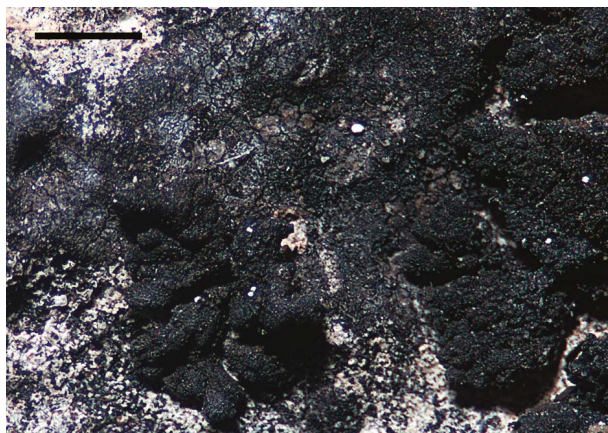


Abb. 4.39. Kennzeichnend für *Scytinium parvum* sind kleine Isidien auf dem Lager sowie die im Mikroskop sichtbare, nur stellenweise vorhandene Rinde auf der Unterseite. Massstab 1 mm.

Scytinium parvum (Degel.) Otálora et al.

(Syn. *Collema p.* Degel.) – Kleine Leimflechte

Lager schuppig-lappig in oft unvollständigen Rosetten, dunkelolivgrün, braunschwarz oder schwarz, bis max. 1,5 cm gross; Schuppen flach oder gewölbt, meist anliegend, mit kleinen kugeligen Isidien, ältere Lager Teile damit dicht besetzt. Unterseite stellenweise mit deutlich zelliger Rinde. Photobiont *Nostoc* in Ketten. – Einige schlecht entwickelte oder junge(?) Lager auf Kalk der Roggenstöckli-Südseite (**Abb. 4.39**). CH: In 7 Kantonen.

Scytinium subtile (Schrad.) Otálora et al. (Syn.

Leptogium s. (Schrad.) Torss.) – Zarte Gallertflechte Lager kleinlappig oder schuppig, unscheinbar, mehrheitlich nur wenige Millimeter gross, graubraun bis dunkeloliv; normalerweise mit auffällig halbkugeligen Apothecien auf sternförmig angeordneten Läppchen; Sporen schwach mauerförmig unterteilt. Photobiont *Nostoc* in Ketten und Knäueln. – Am Roggenstöckli und im Bödmerenwaldgebiet auf Algen und Pflanzenresten über Kieselkalk (**Abb. 4.40**) und Glaukonitsandstein, auf Faulholz oder am Boden. CH: In 12 Kantonen.

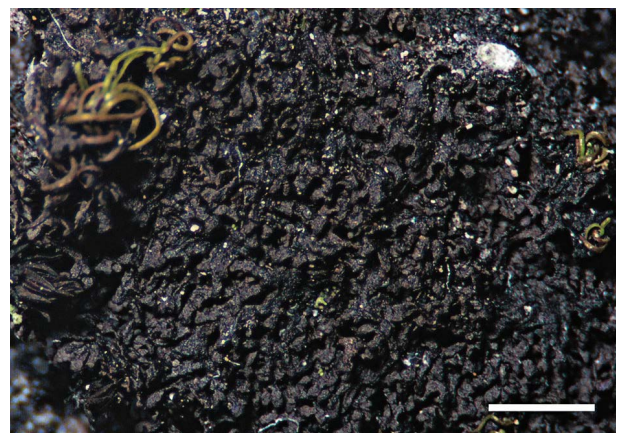


Abb. 4.40. Üppig ausgebildete *Scytinium subtile*; es fehlen die charakteristischen, halbkugeligen Apothecien. Die Art wächst sehr selten direkt auf Gestein. Massstab 1 mm.

Synalissa ramulosa (Bernh.) Fr. –

Beeren-Gallertkissen

Lager polsterförmig oder buschig, mit mehrheitlich aufrechten knorpeligen Ästen, schwarz, auch bereift; 3–5 mm breit und fast ebenso hoch. Äste drehrund, dick, keulig, verzweigt, oft körnig und mit zahlreichen kugeligen Auswüchsen (**Abb. 4.41**). Photobiont *Gloeocapsa* (**Abb. 3.2.8**) mit, je nach Standort, aussen violetter oder rötlich brauner Gallerte. Pilzhyphen sehr zart und locker vernetzt. – Auf Kalk der Roggenstöckli-Südseite, am Bol, bei Mittlist Weid, oberhalb Gross Band. Belege und Beobachtungen ohne Apothecien, selten mit Pyknidien. CH: als *S. symphorea* (Ach.) Nyl. in 11 Kantonen.

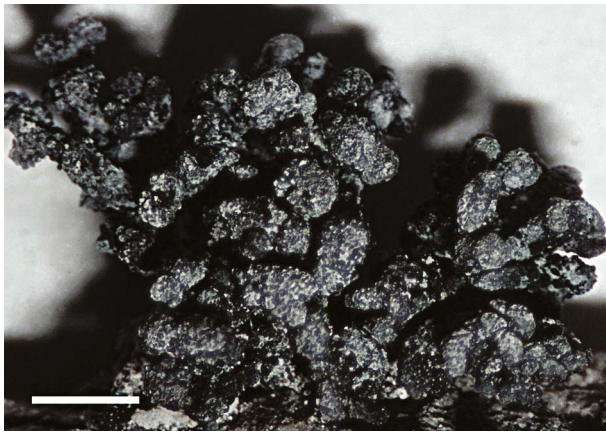


Abb. 4.41. Im Gebiet kommt *Synalissa ramulosa* auch mit unregelmässigen, wenig typischen Lagern vor. Massstab 1 mm.

Thelignya lignyota (Wahlenb.) P.M. Jørg. & Henssen – Ufer-Teerschuppe

Lager krustig, rissig areoliert, bis über 2 cm gross; schwarz, Oberfläche rau. Areolen 0,1–0,6 mm, die älteren schuppig, etwas abgehoben, mit 1–2 sehr kleinen Apothecien. Diese erst punktförmig, eingesenkt, dann mit deutlichem, etwas vorstehenden Rand, Scheibe meist genabelt (**Abb. 4.42**). Eigenrand, oberes Hymenium und die Pyknidien grün, Hymenium mit Iodlösung (Lugol) nicht blau färbend; Schläuche mit 8 einzelligen Sporen. Photobiont *Calothrix*, die kurzen Fäden jedoch kaum oder nicht zu erkennen. – Einmal auf Kieselkalk der Roggenstöckli-Südseite. CH: VS; neu für SZ.

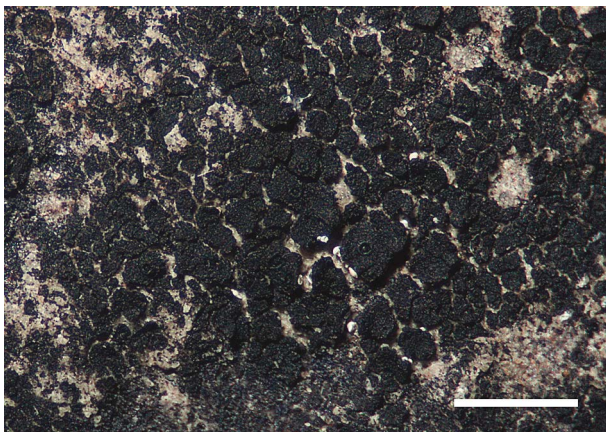


Abb. 4.42. *Thelignya lignyota* gleicht oberflächlich *Metamelanea umbonata*; die Cyanobakterien sind aber rivularioid, die Fruchtkörper innen grün gefärbt. Massstab 1 mm.

Thermutis velutina (Ach.) Flot. – Samtkissen

Lager feinfädig, in Rasen oder Polstern bis ca. 1 cm Grösse, braunschwarz bis schwarz, glänzend. Fäden bis 15 µm Durchmesser, kaum verzweigt (**Abb. 4.43**). Die Ketten des Photobionten *Scytonema* (**Abb. 3.2.4**) von lockerem bis dichtem Hyphenmantel umgeben. – Auf Kalk am Südhang des Roggenstöcklis; auf Kalk,

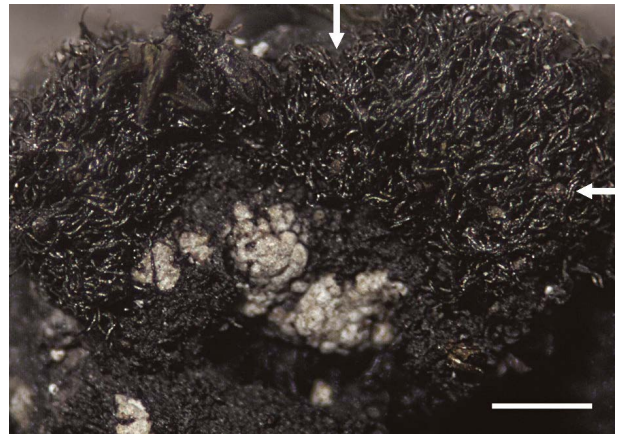


Abb. 4.43. *Thermutis velutina* kann mit *Scytonema* verwechselt werden; hier sind allerdings braune kugelige Pyknidien vorhanden. Massstab 0,5 mm.

mergeligem Kalk und Kieselkalk in der montanen Stufe des Gebiets; steril, selten mit Pyknidien. CH: In 8 Kantonen.

Zahlbrucknerella calcarea (Herre) Zahlbr. – Kalk-Haarflechte

Lager in Rosetten, Rasen oder unregelmässigen Aggregaten, braun, olivbraun bis schwärzlich, manchmal bereift, 0,5–2 cm (**Abb. 4.44, 4.45**). Äste im Querschnitt rundlich, oft paarig, an den Spitzen gegabelt, selten fadenförmig, Durchmesser basal um 80–100 µm, unberindet; Hyphen in einem zentralen Strang an der Unterseite (**Abb. 4.46**), aber nie bläulich verfärbt. Ziemlich variabel. Photobiont *Scytonema* in Ketten, in älteren Thallusteilen geknäuelte oder aufgelöst (**Abb. 3.1.2**). – Auf Kalk, an der Roggenstöckli-Südseite und am Pragelpass. CH: BE, GR, SZ, VD.

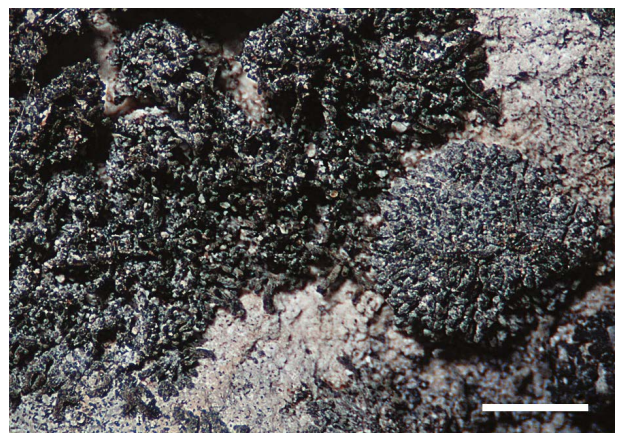


Abb. 4.44. Polsterförmige *Zahlbrucknerella calcarea*, links eine noch unbestimmte *Placynthium*-Art. Massstab 1 mm.

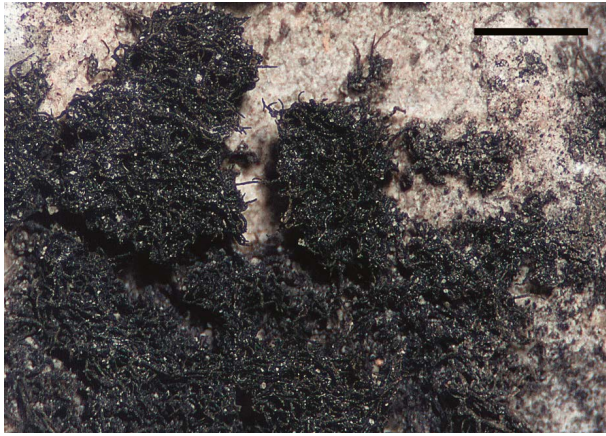


Abb. 4.45. *Z. calcarea* feinfädig, mit verfilztem, fast teppichförmigem Lager. Massstab 1 mm.

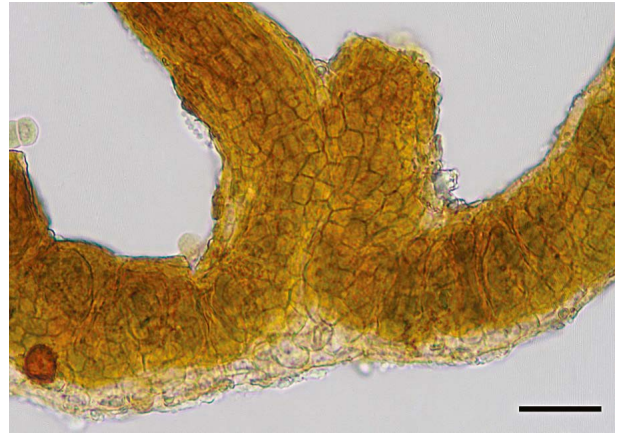


Abb. 4.46. Die Pilzhyphen konzentrieren sich bei *Z. calcarea* an der Basis, die Unterseite kann deshalb eine zellige Rinde vortäuschen. Massstab 20 µm.

5. Begleitarten – die kleinen Cyanoflechten sind nicht allein

Selbstverständlich wachsen an den Roggenstöckli-Felsen neben den beschriebenen Arten auch andere Flechten. Mit diesen bilden die kleinen Cyanobakterienflechten eine Gesellschaft kalkbewohnender Arten, die am besten als *Placynthietum nigri* Klem. (in JAMES et al. 1977) im weiteren Sinn bezeichnet werden kann oder, wie in WIRTH (1995), als *Verrucario-Placynthietum nigri* Kaiser. Flechtensoziologische Studien beschreiben noch andere Assoziationen

mit Cyanoflechten, dabei handelt es sich zum Teil um geographisch und/oder ökologisch bedingte Varianten. In der Natur zeigen sich die Flechtengesellschaften selten oder nie in der definierten Zusammensetzung, sondern häufig als Übergangsformen zwischen ähnlichen Assoziationen. Am Roggenstöckli werden die kleinen schwarzen Flechten auf Kalk und mergeligem Kalk naturgemäss von kalkliebenden, zum grösseren Teil krustigen Arten begleitet (Beispiele in Tab. 1; **Abb. 5.1 bis 5.4**). Dazu zählen die neu für die Schweiz nachgewiesene *Polyblastia efflorescens* Coppins (**Abb. 5.5**) sowie die erst zum zweiten Mal



Abb. 5.1. Dekorative Flecken auf den Kalkfelsen – die Flechte *Caloplaca cirrochroa*. In der rechten Bildhälfte unauffällige kleine Cyanoflechten. Bildbreite ca. 29 cm.



Abb. 5.2. *Callome multipartita* ist etwas zu gross und deshalb keine «kleine schwarze» Art; sie ist am Roggenstöckli eine häufige Begleiterin. Bildbreite 10 cm.

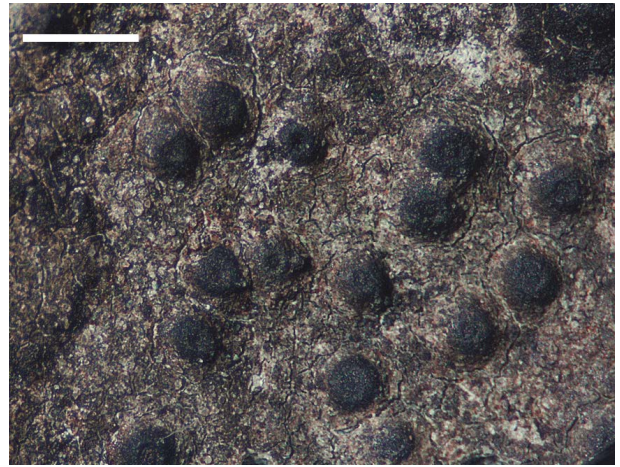


Abb. 5.3. *Thelidium papulare*, eine typische Kalkbewohnerin, gehört zu den Verrucariaceen. Massstab 1 mm.

Auf Diphyoides-Kalk	Auf schiefrigem Kieselkalk	Auf Vitznau-Mergel und mergeligem Kalk
<i>Callome multipartita</i> (<i>Collema multipartitum</i>)	<i>Acarospora fuscata</i>	<i>Aspicilia radiosa</i>
<i>Caloplaca cirrochroa</i>	<i>Caloplaca arenaria</i>	<i>Caloplaca citrina</i> s.l.
<i>Caloplaca citrina</i> s.l.	<i>Caloplaca citrina</i> s.l.	<i>Candelariella aurella</i>
<i>Candelariella aurella</i>	<i>Candelariella aurella</i>	<i>Candelariella plumbea</i>
<i>Catillaria lenticularis</i>	<i>Enchylium tenax</i>	<i>Gyalecta jenensis</i>
<i>Dermatocarpon miniatum</i>	<i>Lathagrium cristatum</i>	<i>Lathagrium cristatum</i>
<i>Enchylium polycarpon</i> (<i>Collema p.</i>)	<i>Lathagrium fuscovirens</i>	<i>Lecania</i> sp. (div. Arten)
<i>Enchylium tenax</i> (<i>Collema t.</i>)	<i>Lecanora polytropa</i>	<i>Lecanora crenulata</i>
<i>Lathagrium cristatum</i> (<i>Collema c.</i>)	<i>Lecidea lithophila</i>	<i>Polyblastia efflorescens</i>
<i>Lathagrium fuscovirens</i> (<i>Collema f.</i>)	<i>Lepraria vouauxii</i>	<i>Squamarina gypsacea</i>
<i>Lecanora crenulata</i>	<i>Polyblastia cupularis</i>	<i>Thelidium papulare</i>
<i>Lepraria vouauxii</i>	<i>Porpidia superba</i>	<i>Thelidium pyrenophorum</i>
<i>Protoblastenia incrustans</i>	<i>Protoblastenia rupestris</i>	<i>Trapelia placodioides</i>
<i>Rhizocarpon umbilicatum</i>	<i>Rhizocarpon lavatum</i>	<i>Verrucaria muralis</i>
<i>Toninia</i> sp. (div. Arten)	<i>Thelidium methorium</i>	
<i>Verrucaria caerulea</i>		
<i>Verrucaria hochstetteri</i>		

Tab. 1. Einige Begleitarten der kleinen schwarzen Flechten am Roggenstöckli. Mergel und Kieselkalk sind weniger gut zugänglich als Diphyoides-Kalk.

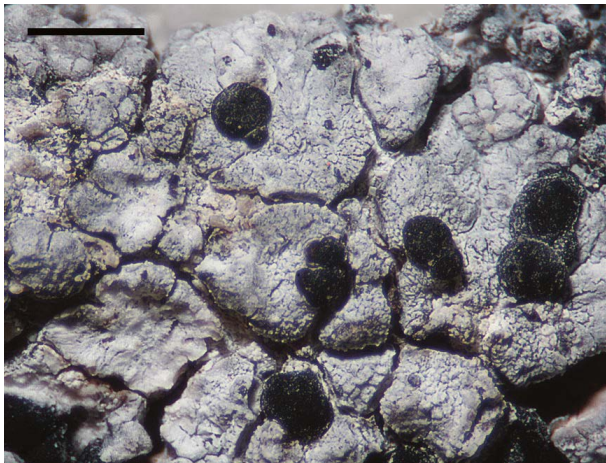


Abb. 5.4. Am Roggenstöckli kommen mehrere *Toninia*-Arten vor, *T. nordlandica* ist sehr selten. Mit deutlichen Schneckenfrassspuren. Massstab 1 mm.

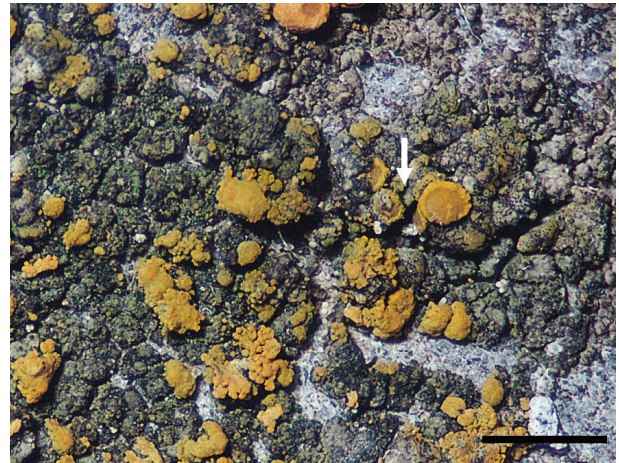


Abb. 5.6. Graugrünes, dickes, areoliertes Lager von *Candelariella plumbea*, mit kleinen, teils verdeckten gelben Apothecien (Pfeil), überwachsen von orange-gelber *Caloplaca citrina* s.l. Massstab 1 mm.

registrierte *Candelariella plumbea* Poelt & Vězda (**Abb. 5.6**). Die Begleitflora auf Kieselkalk besteht dagegen aus verschiedenen, für intermediäre bis silikatische Gesteine charakteristischen Flechtenarten (Tab. 1; **Abb. 5.7, 5.8**). Die neben den Flechten auftretenden Moose konnten in die aktuelle Untersuchung nicht einbezogen werden.

Bisher wurden zwei **flechtenbewohnende Pilze** auf den kleinen Cyanoflechten bestimmt; es handelt sich um *Myxophora leptogiophila* (G. Winter) Nik. Hoffm. & Hafellner auf *Scytinium subtile* und *Didymellopsis collematum* (J. Steiner) Grube & Hafellner auf *Anema* cf. *nummularium*. *M. leptogiophila* ist auch auf anderen Gallertflechten im Bödmerenwaldgebiet beobachtet worden. Eine weitere Pilzart auf *Lempholemma intricatum* wartet noch auf ihre Bestimmung.

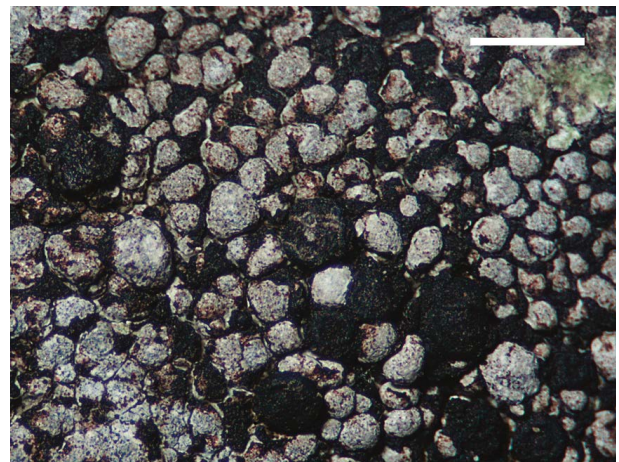


Abb. 5.7. Fruchtende *Porpidia superba* mit kleinfleckiger schwärzlicher *Pyrenopsis grumulifera* s.l. Massstab 1 mm.

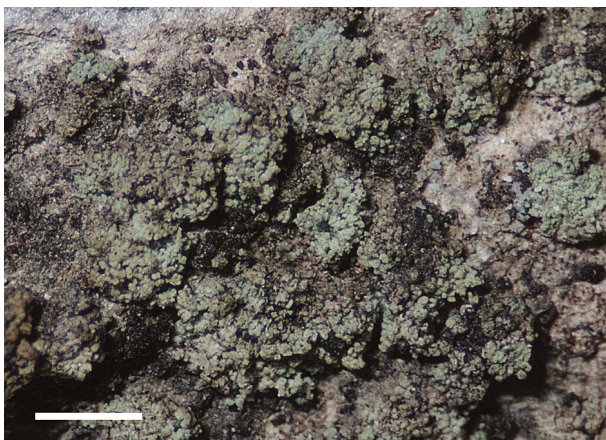


Abb. 5.5. *Polyblastia efflorescens* ist am Roggenstöckli nur steril gefunden worden. Die Lagerareolen sind in grobkörnige Soredien aufgebrochen (vegetative Verbreitung). Massstab 1 mm.

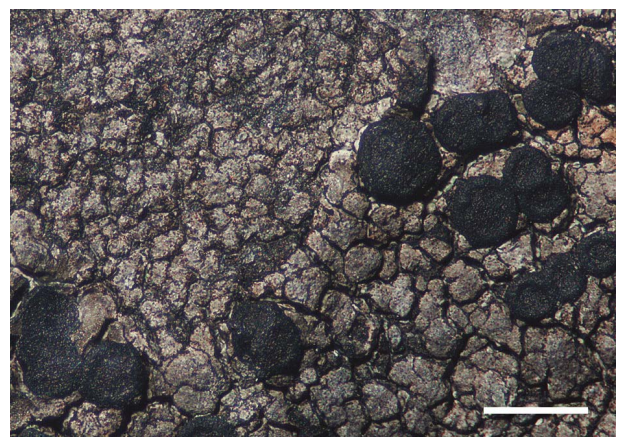


Abb. 5.8. *Rhizocarpon lavatum* besiedelt silikatische Gesteine, sie wächst im Bödmerenwaldgebiet nur auf Kieselkalk. Massstab 1 mm.

6. Andere kleine schwarze Flechten im Bödmerenwaldgebiet

Anema nodulosum (Nyl.) Forssell

Lager klein, selten mehr als 4–5 mm gross, aber bis ca. 2 mm dick; polsterförmig, mit sehr dicht gedrängten, 0,3–0,5 mm grossen Lagerteilchen («Schüppchen»); schwarz, häufig grau bereift; am Rand des Polsters andeutungsweise gelappt. Ein Apothecium pro Schüppchen, sitzend, mit sichtbarem Rand, Scheibe dunkel braunrot bis schwarz (Abb. 6.1). Photobiont chroococcoid. – Im Gebiet an südexponierter Kalkfelswand auf etwas verwitterter Oberfläche, oberhalb Gross Band. Offenbar überwiegend auf Staub- und Erdanflugkrusten auf Kalk (MORENO & EGEA 1992). In Spanien, Frankreich und Griechenland nachgewiesen (GBIF 2016) sowie in Tschechien (CZEIKA et al. 2004). Neu für die Schweiz.

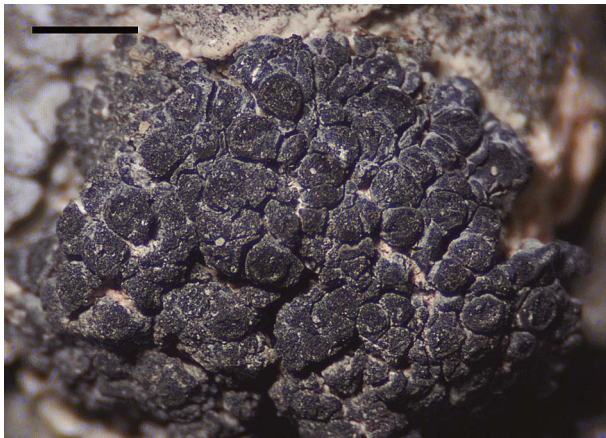


Abb. 6.1. *Anema nodulosum* kommt in winzigen Pölstern an Kalkfelsen vor. In Mitteleuropa extrem seltene, in der Schweiz bisher unbekannte Art. Massstab 1 mm.

Anema tumidulum Henssen ex P.M. Jørg., M. Schultz & Guttová – Geschwollenes Gallertschüppchen

Lager schildförmig, schollig; als zerstreute, randlich etwas gelappte Rosetten oder Areolen, diese manchmal dicht gedrängt und/oder unregelmässig geformt, in Beständen bis ca. 2,5 cm. Relativ dick, bis 4 mm gross, zentral befestigt; schwarz, matt oder glänzend, gewöhnlich mit auffälligen kleinen, kugelförmigen, glänzenden Isidien; gelegentlich mit Apothecien (Abb. 6.2). Photobiont chroococcoid. – Mehrere Funde an südexponierter Kalkfelswand, Mittlist Weid. CH: GR, VS (JØRGENSEN et al. 2013); OW (BÜRGI-MEYER & KELLER in Vorb.); SZ (GRONER 2016b); TI (BÜRGI-MEYER & KELLER 2014).

Enchylium coccophorum (Tuck.) Otálora et al. (Syn. *Collema c.* Tuck.) – Kugelförmige Leimflechte Lager kleinlappig-blättrig bis fast krustig, etwas kissenförmig, kaum grösser als 2 oder 2,5 cm, braun-schwärzlich, bereift oder nicht. Läppchen an den Enden verdickt, bis ca. 3 mm lang, flach aus-

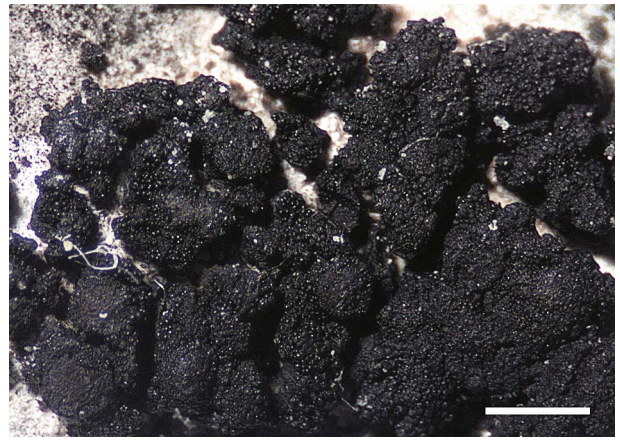


Abb. 6.2. Dicht gedrängte, unförmige Areolen von *Anema tumidulum*; die Apothecien (Mitte und links) zeigen sehr dunkle braunschwarze Scheiben. Massstab 1 mm.

gebreitet, im Zentrum auch aufsteigend, bisweilen warzig oder unregelmässig geformt. Gewöhnlich mit Apothecien (Abb. 6.3); Sporen mehrheitlich 2-zellig, vereinzelt 3- oder 4-zellig. Photobiont *Nostoc* in Ketten. – An Kalkfelswand auf Staub-/Erdanflugschicht, oberhalb Gross Band. Eine bodenbewohnende Art. CH: GE, NE, SG, VD; neu für SZ.

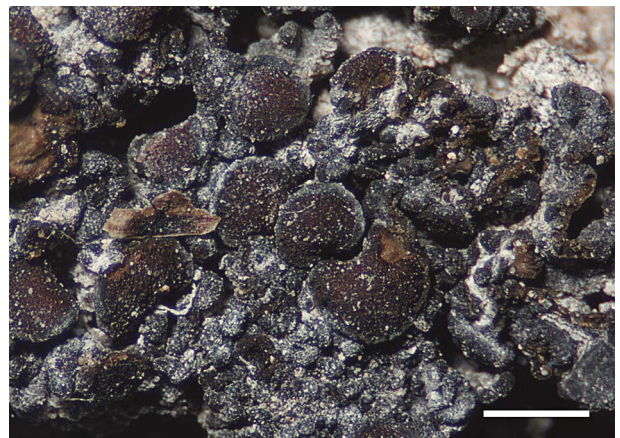


Abb. 6.3. *Enchylium coccophorum* zählt zu den bodenbewohnenden Flechten; auf Kalkfels ist sie nur auf Staub- und Erdschichten zu finden. Massstab 1 mm.

Gonohymenia myriospora (Zahlbr.) Zahlbr. (Syn. *Lichinella m.* (Zahlbr.) M. Schultz)

Lager körnig-krustig, unregelmässig areoliert, wenige Millimeter gross; Areolen dicht wachsend oder zerstreut, körnig bis rundlich-kleinschuppig, Durchmesser bis ca. 0,3 mm; schwarz, Oberfläche meist rau, manchmal etwas bereift (Abb. 6.4). Besonders die grösseren Areolen gewöhnlich mit Fruchtkörpern, thallinocarp, d.h. Hymenium durch sterile Lagerteile bedeckt; Sporen zu 16–32 im Schlauch, um 6–7 µm lang. Lager innen zellig (zum Teil undeutlich). Photobiont chroococcoid, in kleinen, eng gepackten Kolonien. – An südexponierter Kalkfelswand oberhalb Gross Band. Eine winzige, deshalb

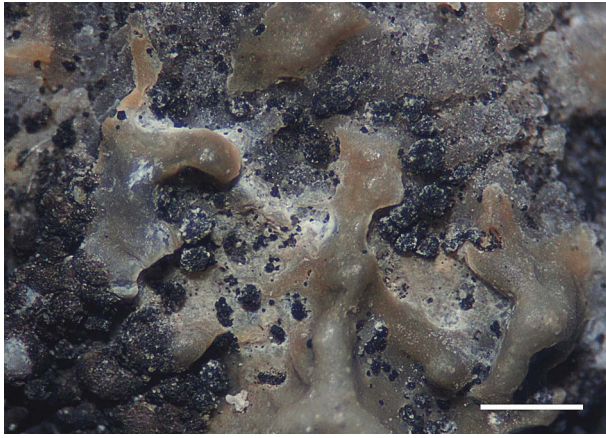


Abb. 6.4. Selbst kleine Areolen von *Gonohymenia myriospora* enthalten oft Fruchtkörper. Auf angewittertem Kalksinter, links Staurothele areolata. Massstab 0,5 mm.

vielleicht auch übersehene Art; wenige, zerstreute Funde in Europa: Frankreich (ROUX ET COLL. 2016), Kroatien (Typuslokalität Rijeka/Fiume, ZAHLBRUCKNER 1903), Slowakei (GUTTOVÁ et al. 2013), Spanien (HLADUN 2017). Neu für die Schweiz.

Metamelanea caesiella (Th. Fr.) Henssen – Graue Schwarzflechte

Lager krustig, rissig areoliert oder zerklüftet, dicklich, bis ca. 2 cm gross; Areolen gewölbt, knollig, kegelförmig, auch zusammenfliessend; schwärzlich, mehr oder weniger grau bereift; Oberfläche schorfig oder pulverig-körnig (**Abb. 6.5**). Basis mit weisslichem Hyphenfilz; Lager innen zumindest stellenweise zellig. Beleg ohne Apothecien. Photobiont chroococcoid, andeutungsweise vertikal angeordnet. – In Südexposition an Kalkfelswand, Mittlist Weid. Eine sehr seltene, noch kaum bekannte Flechte. – An kalkigen Felsen; mitteleuropäische Funde: Belgien, Deutschland (SCHULTZ et al. 2007), Slowakei und Tschechien (PRIETO et al. 2015). Neu für die Schweiz.

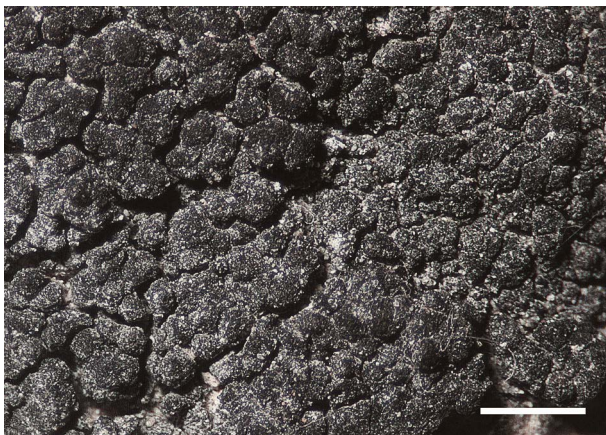


Abb. 6.5. Im Feld ist sterile *Metamelanea caesiella* nicht sicher ansprechbar, Anatomie und Photobiont müssen im Mikroskop beurteilt werden. Massstab 1 mm.



Abb. 6.6. *Peccania coralloides* ist ebenfalls anhand mikroskopischer Merkmale von anderen ästigen Arten zu unterscheiden. Massstab 1 mm.

Peccania coralloides (A. Massal.) A. Massal. – Korallen-Schwarzflechte

Lager strauchförmig-lappig, oft polster- oder rasenbildend, um 1–2 cm gross und 3–5 mm hoch, selten höher; mit aufrechten, schwach verzweigten Ästen (Ästchen); schwarz, auch teilweise oder ganz bereift (**Abb. 6.6**). Im Schnitt mit zentralem, längsverlaufenden Hyphenbündel. Apothecien endständig, mit wulstigem Rand und schwarzer Scheibe, Epihymenium auffallend rotbraun. Pyknidien mit fädigen, gebogenen Pyknosporen. Photobiont chroococcoid, cf. *Chroococciopsis*; konzentriert im Randbereich der Ästchen. – An südexponierter Kalkfelswand, auf Staub- und Erdanflugkruste, oberhalb Gross Band. CH: Bisher in 5 Kantonen; neu für SZ.

Placynthium caesium (Fr.) Jatta – Blaugrauer Tintenfleck

Lager rosettenförmig oder mehrere (bis zahlreiche) Rosetten zusammenfliessend, rissig areoliert, flach oder etwas aufgewölbt, bis 2 cm Durchmesser; braunschwarz, meistens intensiv bläulich grau oder grau bereift; blauschwarzes Vorlager kaum sichtbar oder fehlend. Mit sehr dicht gedrängten, wenig verzweigten und mehr oder weniger aufrechten, am Rand teils liegenden Ästchen; Habitus flach blumenkohlartig. Photobiont scytonemoid, mehrheitlich in Ketten. – Auf Kalk am Pragelpass, steril (**Abb. 6.7**). Die Probe hat grosse Ähnlichkeit mit einzelnen, derzeit zur Revision ausgeliehenen Belegen von «*Biatora/Collolechia caesia*» und «*Placynthium caesium/caesitium*» aus dem Herbarium in Genf [G]; sie entspricht ausserdem *P. garovaglio* var. *subtile* G. Czeika. Deren Identität mit *P. caesium* haben CZEIKA & CZEIKA (2017) vor kurzem bestätigt. Umschreibung und Abgrenzung dieser Art, inklusive *Collolechia caesia* (Fr.) A. Massal., sind trotz der Arbeit von KOŠUTHOVÁ et al. (2016) noch nicht befriedigend geklärt. CH: Verbreitung derzeit unbekannt.

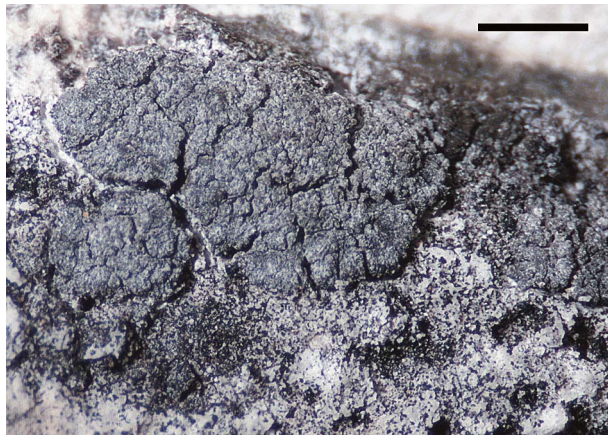


Abb. 6.7. Bis zum Rand dicht gepackte, säulenförmige Ästchen sind offenbar typisch für *Placynthium caesium*. Massstab 1 mm.

***Placynthium pulvinatum* Øvst.**

Lager krustig-kleinschuppig, kissen- oder polsterförmig, braun bis olivbraun, dunkelbraun, bereift oder unbereift, bis ca. 3 cm. Schüppchen 0,1–0,4 mm, meist dicht wachsend, teils überlappend (**Abb. 6.8, 6.9**), flach bis konvex, Umriss gerundet, gekerbt bis gelappt, unregelmässig gegliedert, teils fast zusammenfliessend; stellenweise auf deutlichem Vorlager. Photobiont scytonemoid. – Auf Erd- und Staubkruste, auf Moosen und abgestorbenen Moospolstern über Kalkfelsen; subalpin, Stägen und Obrist Hütte. Stimmt weitgehend mit den Beschreibungen in ØVSTEDAL et al. (2009) und JØRGENSEN (2012d) überein, allerdings fehlt dort das Vorlager und als Substrat wird Lockermaterial wie kalkiger Sand, Silt und Kies angegeben. Derzeit die einzige nie direkt auf festem Gestein siedelnde *Placynthium*-Art; erwähnt für Norwegen, Island (JØRGENSEN 2012d) und vom Ural (URBANAVICHUS & URBANAVICHENE 2011). Neu für die Schweiz.

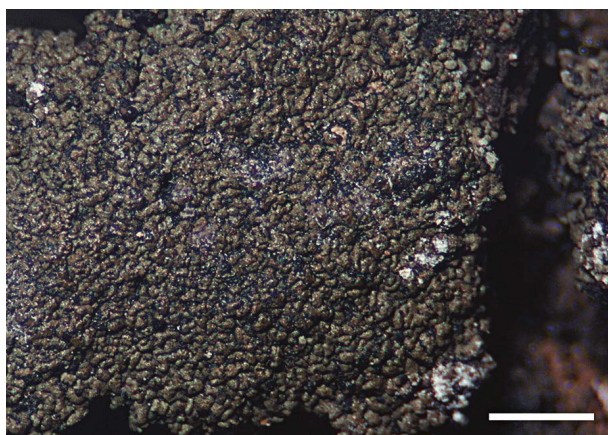


Abb. 6.8. *Placynthium pulvinatum* war in Mitteleuropa bisher unbekannt. Massstab 1 mm.

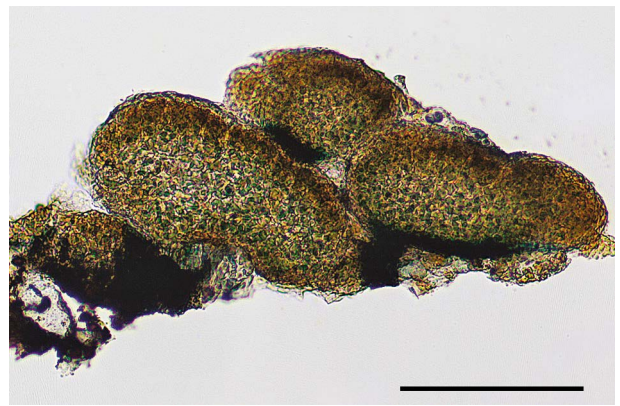


Abb. 6.9. Im Unterschied zu anderen *Placynthium* besteht das Lager von *P. pulvinatum* aus relativ flachen, übereinander wachsenden Schüppchen. Längsschnitt; Massstab 200 µm.

***Polychidium muscicola* (Sw.) Gray – Moos-Kissenflechte**

Lager strauchförmig, in kleinen Polstern oder Rasen, braun, graubraun bis dunkelbraun; 0,5–3 cm, ca. 1 cm hoch; Äste glänzend, verflacht, Spitzen zylindrisch, stark verzweigt (koralloid; **Abb. 6.10**). Rinde deutlich und 1–3 Zellen dick. Photobiont *Nostoc* in kurzen Ketten und Knäueln. – Auf Moos über Glaukonitsandstein und Kalk, selten, in der hochmontanen und subalpinen Stufe. Im Gebiet nicht der übliche Habitus, sondern die von JØRGENSEN (2012c) erwähnte gedrungene Form exponierter Standorte. CH: In 5 Kantonen.



Abb. 6.10. *Polychidium muscicola* kommt im Gebiet in sehr dichten Polstern mit stark verzweigten Ästchen vor. Massstab 1 mm.

***Psorotichia diffracta* (Nyl.) Forssell – Gebrochener Teerfleck**

Lager areoliert bis rissig areoliert, weisslich bis blaugrau bereift, 1–2 cm gross, auch in unregelmässigen Flecken bis über 4 cm. Areolen meist weniger als 0,5 mm, flach. Apothecien bis 0,4 mm, sitzend, Rand relativ dick, die dunkle (rötlich-)braune Scheibe etwas überragend, bereift (**Abb. 6.11**); Eigenrand dünn,

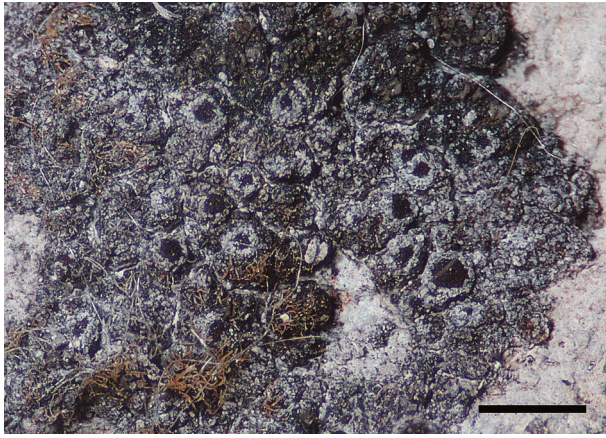


Abb. 6.11. Verkrustet, mit *Trentepohlia*-Algen bewachsen: *Psorotichia diffracta* ist nicht leicht zu erkennen. Zudem wächst *Placynthium nigrum* über das Lager (oben). Massstab 1 mm.

kaum differenziert. Photobiont chroococcoid, cf. *Chroococidiopsis*. – An einem grossen Kalkblock oberhalb Mittlist Weid. Offenbar eine variable, noch nicht modern bearbeitete, sehr seltene Art. Der von LETTAU (1942) zitierte Beleg aus dem Berner Oberland sollte revidiert werden. CH: BE; neu für SZ.

Psorotichia lugubris (A. Massal.) Arnold – Düsterer Teerfleck

Lager krustig, grob rissig areoliert, 1 bis ca. 3 cm gross. Areolen schuppig bis fast schollig, unregelmässig eckig; gefleckt dunkelbraun bis schwarz, häufig aufgrund der weisslichen Basalschicht wie weiss berandet (**Abb. 6.12**). Apothecien sitzend bis etwas eingesenkt, Scheibe konkav oder flach, braun bis schwarz. Mit schwarzem Eigenrand, im Mikroskop oben (apikal) relativ breit, braun; Sporen kleiner als bei *P. schaereri*. Photobiont chroococcoid, cf. *Chroococidiopsis*. – Einzelner Fund an südexponierter Kalkfelswand, Mittlist Weid. Eine noch ungenügend bekannte, extrem seltene Art, nach PRIETO et al.

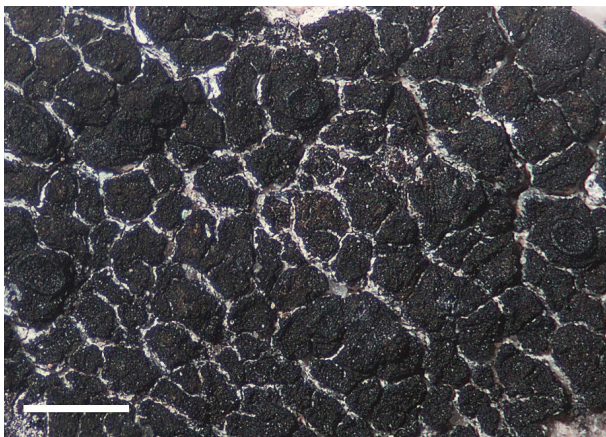


Abb. 6.12. Ältere Apothecien von *Psorotichia lugubris* sind öfters schwarz und etwas konkav. Die Art wurde während Jahrzehnten nicht mehr gefunden. Massstab 1 mm.

(2015) bisher nur in Deutschland (Bayern) und Schweden (Gotland, Öland) nachgewiesen. CH: BE, JU; OW (BÜRGI-MEYER & KELLER *in Vorb.*); neu für SZ.

Psorotichia murorum A. Massal. – Mauer-Teerfleck
Lager krustig, in kleinen unregelmässigen Flecken bis ca. 1 cm; Areolen zerstreut, fast stets kleiner als 1 mm, braunschwarz bis schwarz, Oberfläche rau, körnig (**Abb. 6.13**); Lager nicht berindet, innen zellig. Apothecien mehrheitlich 0,2–0,3 mm, jung

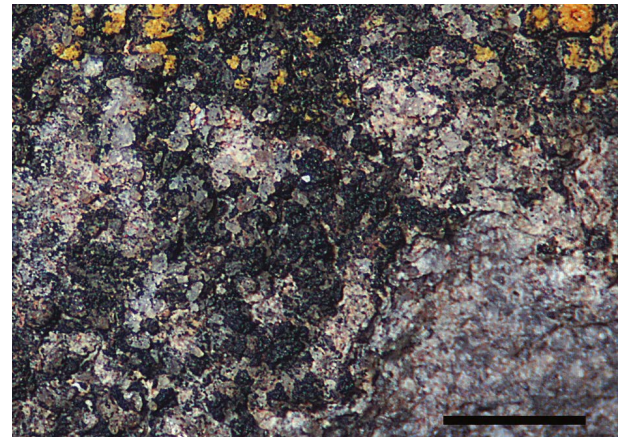


Abb. 6.13. *Psorotichia murorum* ist wie viele andere zwergwüchsige Flechten leicht zu übersehen. Gelb-orange: *Caloplaca* sp. Massstab 1 mm.

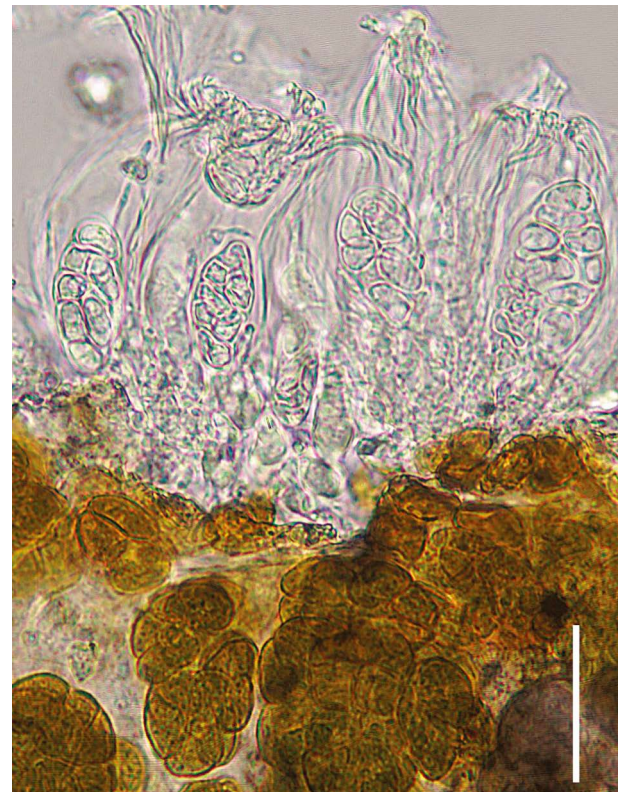


Abb. 6.14. Ein gequetschtes Apothecium von *P. murorum* zeigt die Sporen in dünnwandigen Schläuchen sowie Kolonien des Photobionten vom Apothecienrand. Massstab 30 µm.

halbkugelig, mit Lagerrand und schwach oder nicht entwickeltem Eigenrand; Sporen ca. 9–12 µm lang (Abb. 6.14). Photobiont chroococcoid, cf. *Chroococciopsis* (Abb. 3.2.7). – Auf sandigem Kalk beim Tor, subalpin; auf Kalksandstein westlich Plätsch, hochmontan. CH: In 5 Kantonen.

Psorotichia schaeferi (A. Massal.) Arnold –

Gewöhnlicher Teerfleck

Lager krustig, areoliert, 0,5–1,5 cm gross, Areolen körnig bis feinlappig, dunkelbraun bis schwärzlich, 0,5–1 mm (Abb. 6.15); Lager nicht berindet, innen zellig (Abb. 6.16). Apothecien 0,3–0,7 mm, Scheibe braun, erst konkav, dann flach, später konvex; Sporen bis 21 µm lang. Photobiont chroococcoid, cf. *Chroococciopsis*. – Am Pragelpass auf Glaukonitsandstein, auf Kieselkalk im Chrüz, auf Kalk bei Mittlist Weid; teilweise mit sehr dunklen Apothecien. Variabel, wahrscheinlich ein Komplex mehrerer Arten (PRIETO et al. 2015). CH: In 9 Kantonen.

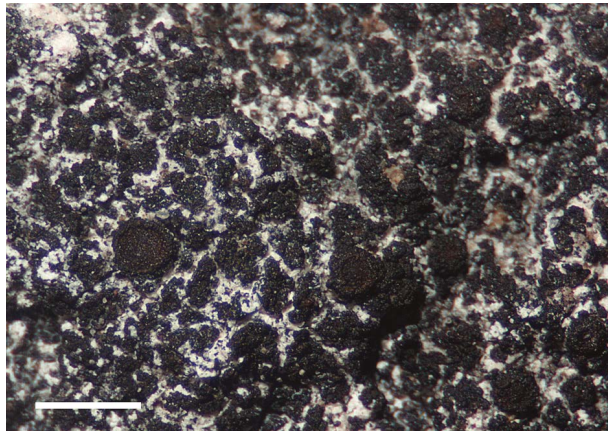


Abb. 6.15. *Psorotichia schaeferi* scheint in der Schweiz die häufigste Art einer noch wenig bekannten Gattung zu sein. Massstab 1 mm.

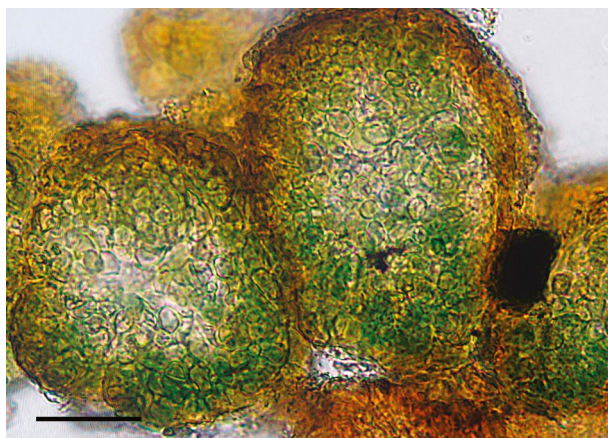


Abb. 6.16. Das Lager von *P. schaeferi* ist krustig-areoliert oder körnig; es ist unberindet, aber im Innern vollständig zellig. Massstab 30 µm.

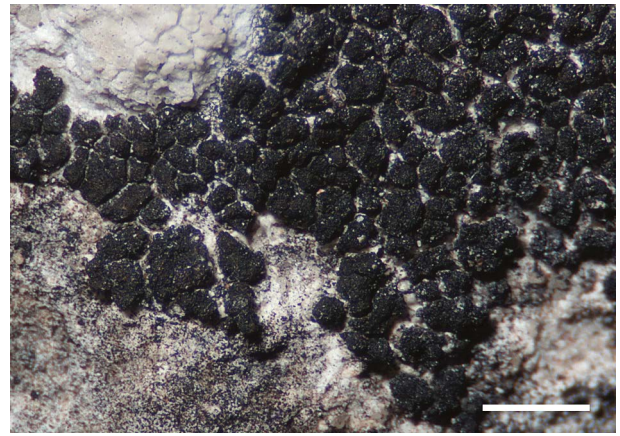


Abb. 6.17. Die Areolen am Rand von *Pterygiopsis affinis* unterscheiden sich hier kaum von den übrigen Lagerteilen. Massstab 1 mm.

Pterygiopsis affinis (A. Massal.) Henssen – Mittelmeer-Flügelalge

Lager krustig, areoliert, in Flecken bis 3 cm, schwarz, manchmal bereift. Areolen um 0,2–0,5 mm gross, äussere gewöhnlich bis ca. 0,8 mm verlängert; unregelmässig eckig bis gerundet und 0,1–0,3 mm dick, Oberfläche glatt oder rau, gewölbt bis höckerig. Im Schnitt mit fächerförmigem Hyphennetz; besonders an der Areolenbasis gewebeartig. Apothecien eingesenkt oder sitzend, Scheibe erst punktförmig, später offen; Schläuche mit vielen kleinen Sporen. Photobiont chroococcoid, zumindest am Rand deutlich vertikal zur Oberfläche angeordnet. – Auf Kalk bei Mittlist Weid, ohne ausgeprägte Randareolen, steril (Abb. 6.17). Die Art ist im Mittelmeerraum weit verbreitet und kommt in Spanien (MORENO & EGEA 1994), Frankreich (ROUX ET COLL. 2016), Italien (NIMIS & MARTELLOS 2017) und Griechenland vor (SPRIBILLE et al. 2006). In Deutschland sehr selten (WIRTH et al. 2013) und, was wohl auch hierzulande zutrifft, auf wärmegetönte Kalkfelsstandorte beschränkt. Neu für die Schweiz.

Pyrenopsis sanguinea Anzi –

Rotbraune Warzengallerte

Lager krustig, körnig bis schollig; in unregelmässigen Flecken, dunkelbraun bis schwarz; Habitus (Abb. 6.18) ähnlich *P. grumulifera*. Apothecien leicht eingesenkt, Ränder gewöhnlich gut erkennbar, körnig oder deformiert. Sporen zu 8 im Schlauch, 8–11,4 × 5,5 µm; Ascusspitzen mit Iod blau. Photobiont *Gloeocapsa* mit roten Gallerthüllen. Eine Art aus der Sippe um *P. subareolata* Nyl., mit kleineren Sporen, aber etwas grösseren Zellen des Photobionten. – Bisher einmal, auf Kieselkalkblock beim Tor. Funde in Deutschland (Schwarzwald, WIRTH et al. 2013), Österreich und Italien (GBIF 2016). Neu für die Schweiz.



Abb. 6.18. *Pyrenopsis sanguinea* erinnert an *P. grumulifera* s.l., besitzt aber acht Sporen pro Schlauch. *Lecanora polytropha* beige, *Caloplaca* cf. *arenaria* orange. Massstab 0,5 mm.

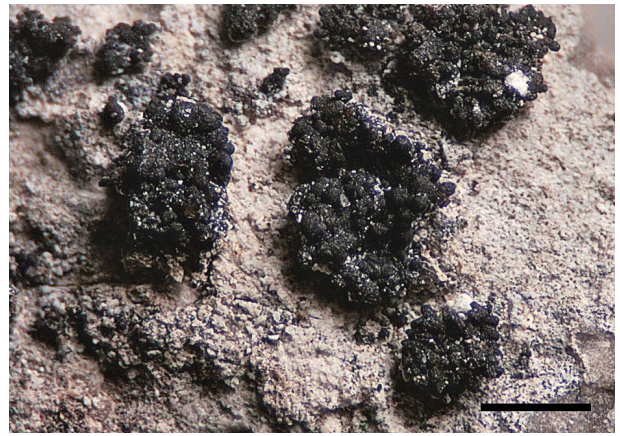


Abb. 6.20. Zu den kleinsten saxicolen Leimflechten im Gebiet zählt *Scytinium callopismum*. *Lempholemma cladodes* (rechts oben, unten) ist äusserlich ähnlich. Massstab 1 mm.

Scytinium biatorinum (Nyl.) Otálora et al. (Syn. *Leptogium b.* (Nyl.) Leight.) – Kelch-Gallertflechte
Lager krustig-schuppig, auch körnig aufgelöst, ab und zu ausgedehnt über 2–3 cm, braunschwarz bis schwarz, Schuppen flach bis gewölbt, 0,3–0,8 mm lang, im Querschnitt vollständig zellig, Rand krenuliert bis feinlappig. Apothecien sitzend, konkav; Sporen schwach mauerförmig. Photobiont *Nostoc* in Ketten und Knäueln. – Sehr selten; auf Kalk, einmal auf Glaukonitsandstein, im hochmontan-subalpinen Bereich (**Abb. 6.19**). CH: GE, LU, SZ, ZH.

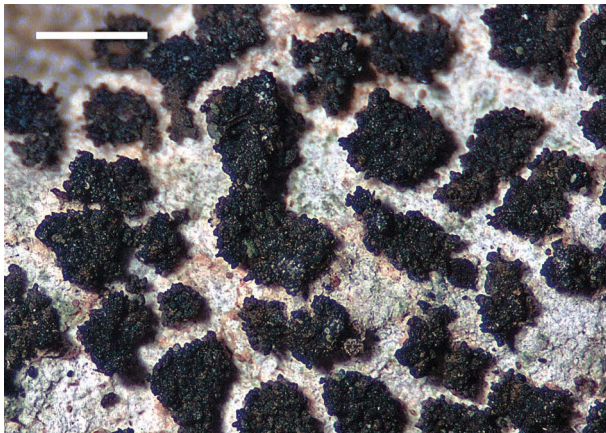


Abb. 6.19. *Scytinium* cf. *biatorinum* mit sterilem, ungewöhnlich scholligem Lager; die übrigen Merkmale stimmen mit *S. biatorinum* überein. Massstab 1 mm.

Scytinium callopismum (A. Massal.) Otálora et al. (Syn. *Collema c.* A. Massal.) – Schwielige Leimflechte
Lager schollig, schuppig oder fast polsterförmig, dunkelbraun oder -oliv bis schwarz, bis ca. 5 mm, zentral befestigt; meist mehrere kleine Lager (Areolen?) in grösseren Beständen (**Abb. 6.20**). Schollen gelappt, Lappchen kurz, kaum verzweigt, ausgebreitet oder etwas aufsteigend, Oberfläche dicht körnig

und/oder knollig. Im Schnitt stellenweise eine ange deutete Rinde sichtbar (Pseudocortex). Photobiont *Nostoc* in Ketten. – Einzelfund, steril, auf Kalkfelsen am Bol. CH: «Schweizer Jura, Nordostteil» (WIRTH 1995); VS; neu für SZ.

Scytinium plicatile (Ach.) Otálora et al. (Syn. *Leptogium p.* (Ach.) Leight.) – Faltige Gallertflechte
Lager schmallappig, mehr oder weniger rosettenförmig, dunkelbraun, Durchmesser 2–5 mm. Lageräste aufsteigend bis herabgebogen, bis 2,5 mm lang und 0,5 mm breit, wenig verzweigt. Oberfläche uneben-warzig bis runzelig, im Zentrum mit unförmigen, eingedrückten, isidienähnlichen Warzen (**Abb. 6.21**). Rinde besonders auf der Oberseite des Lagers wenig entwickelt und dann kaum sichtbar. Photobiont *Nostoc* in teilweise aufgelösten Ketten. Die Beschreibung stammt vom einzigen Beleg, vom Pragelpass auf Glaukonitsandstein. Entspricht der kleinen arktisch-alpinen Form gemäss JØRGENSEN (1994, 2012b), möglicherweise eine eigene Art. CH: Verbreitung dieser Form unbekannt.



Abb. 6.21. Die alpine Form von *Scytinium plicatile* ist vielleicht eine eigene Art. Massstab 1 mm.

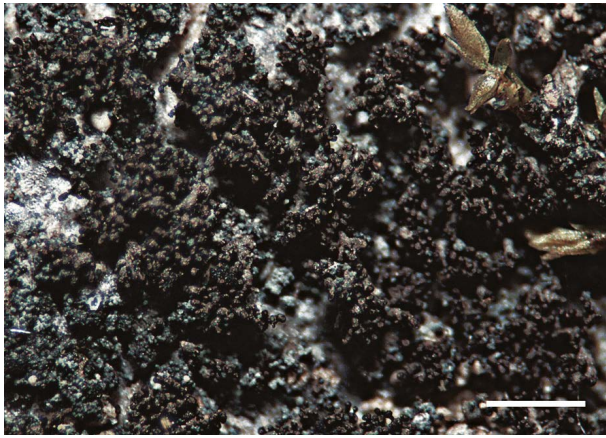


Abb. 6.22. *Scytinium teretiusculum* wurde bisher nur auf Baumrinde gefunden. Die graublauen Partikel gehören zu *Caloplaca turkuensis*. Massstab 0,5 mm.

Scytinium teretiusculum (Wallr.) Otálora et al.
(Syn. *Leptogium t.* (Wallr.) Arnold) –
Stiftchen-Gallertflechte

Lager an der Basis kleinlappig, mit koralloiden Ästchen besetzt, Ästchen zylindrisch, glänzend, rotbraun, graubraun, dunkelbraun bis schwärzlich, bis ca. 1 mm hoch; zwergstrauchartige Bestände teilweise über 2,5 cm gross. Lager durchgehend zellig. Photobiont *Nostoc*, in Knäueln und Ketten. – Im Gebiet bisher zerstreut an Stämmen von Berg-Ahorn hochmontan und subalpin (**Abb. 6.22**). Die Art kommt auch als Boden- und Gesteinsbewohnerin vor. CH: In 11 Kantonen.

Thyrea confusa Henssen –
Bereifte Gallertnabelflechte

Lager schuppig bis blättrig-lappig, um 5–10 mm oder in grösseren Beständen bis ca. 2 cm, 3–5 mm hoch, zentral befestigt; Lappen aufsteigend, tief geteilt, bis 0,5 mm dick, schwarz, meistens blaugrau oder grau bereift, Oberfläche rau, körnig (**Abb. 6.23**). Selten mit Apothecien an den Lappen-

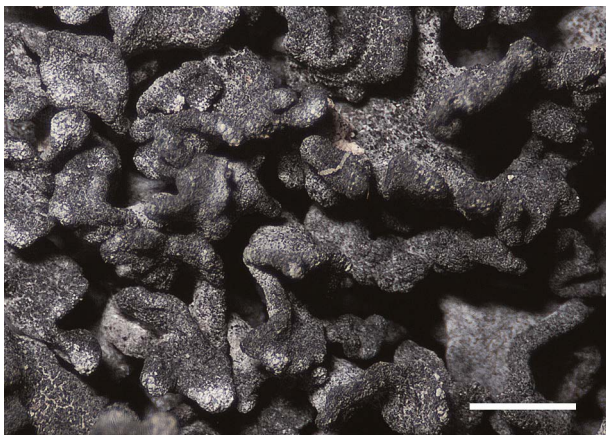


Abb. 6.23. Die dicklappigen Sträuchlein von *Thyrea confusa* sind fast immer – zumindest teilweise – bereift. Massstab 1 mm.

enden. Hyphen zentral in Längsrichtung verlaufend. Photobiont chroococcoid, konzentriert in der Randzone der Lappen. – An südexponierter Kalkfelswand oberhalb Gross Band. CH: Bisher in 7 Kantonen; neu für SZ.

Nicht bestätigte Arten (vgl. GRONER 2016a)

«*Lempholemma cf. isidiodes* (Nyl. ex Arnold) H. Magn.»

Falsch bestimmt; der einzige, sterile Beleg ist zwar ähnlich, passt aber definitiv nicht zu *L. isidiodes*. Es handelt sich wahrscheinlich um eine *Collema*-Art.

«*Placynthium cf. garovaglio* (A. Massal.) Malme»

Die abgebildete Flechte sowie mehrere andere Belege von *P. cf. garovaglio* aus dem Bödmerenwaldgebiet haben mit *P. garovaglio* nichts zu tun, die Identität dieser Proben ist momentan ungeklärt.

«*Psorotichia cf. caesia* (Nyl.) Forssell»

Die provisorisch zugeordneten Belege sind inzwischen revidiert worden, sie gehören zu *Placynthium* sp.; *Psorotichia caesia* ist im Gebiet nicht nachgewiesen.

7. Diskussion

7.1. Wovon leben diese Flechten?

Flechten nehmen grundsätzlich Wasser und Nährstoffe passiv durch die Lageroberfläche auf (Regen, Schmelz- und Sickerwasser, Nebeltröpfchen). Die kleinen schwarzen Arten besitzen wie alle Flechten keine Wurzeln; die Fäden an der Unterseite sind Rhizoide, wurzelähnliche Pilzhypen, welche zur Verankerung auf oder in der Unterlage dienen. Wie in der Einführung erwähnt, quellen bei typischen Gallertflechten (z. B. *Anema*, *Synalissa*, *Enchylium*, *Scytinium*) die dicken Hüllen der Photobionten bei Befeuchtung stark auf und sorgen für eine effiziente Aufnahme von Wasser und von im Wasser gelösten Nährstoffen. Der vom Algenpartner zusätzlich aus der Luft gewonnene Stickstoff ist ein entscheidender Vorteil bei der Besiedelung stickstoffarmer Standorte wie z. B. überrieselten Felsen. Die Cyanobakterien produzieren mittels Photosynthese die für Wachstum und Vermehrung beider Symbiosepartner notwendigen Kohlehydrate. Nahezu alle Arten sehen während aktiven Phasen, im feuchten oder wassergesättigten Zustand, wesentlich anders aus als bei Trockenheit (**Abb. 7.1.1, 7.1.2**). Ohne Feuchtigkeit ruht der Stoffwechsel; diese Flechten können so auch auf sonnenbeschienenen, heissen Felsflächen überdauern. Eine Befeuchtung durch Wasser ist notwendig, um die Photosynthese wieder zu aktivieren (BÜDEL & LANGE 1991, LANGE 2000). Die Fähigkeit, sofort auf veränderte Feuchtigkeitsverhältnisse zu reagieren und

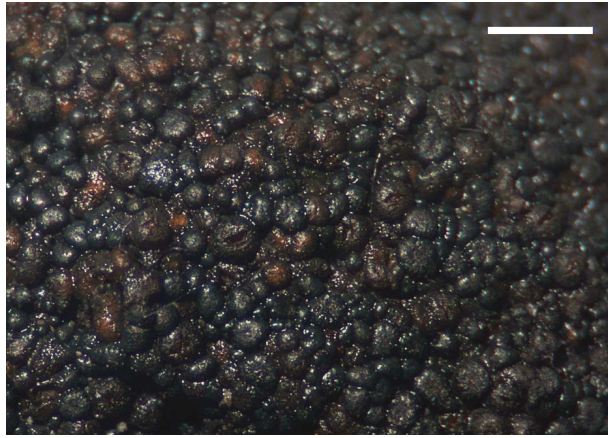


Abb. 7.1.1. Nasse *Lempholemma condensatum*: Aufgequollene Astspitzen und Apothecien bilden ein scheinbar kompaktes Kissen (vgl. Abb. 4.10), der graue Reif ist nicht sichtbar. Massstab 1 mm.

eine grosse Temperaturtoleranz sind mitverantwortlich dafür, dass Cyanoflechten die kalkigen Felsen im Gebiet so erfolgreich besiedeln.

Am Roggenstöckli sind die Gesteine keineswegs steril und frei von Nährstoffen, denn auf kleinsten Felsabsätzen, in Rissen und Spalten haben sich herangewehte oder herabgespülte Gesteins- und Staub-

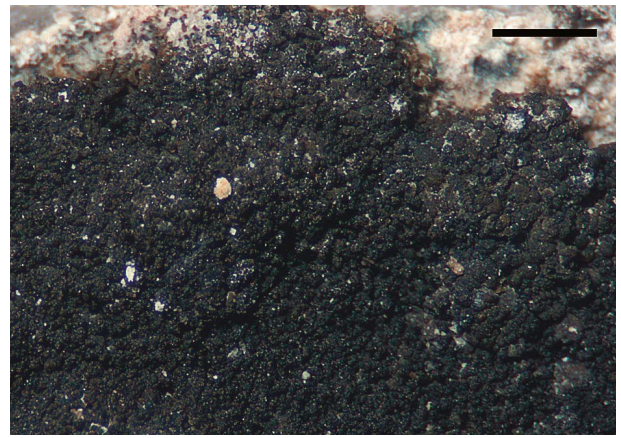


Abb. 7.1.2. Am Rand des feuchten Lagers von *Placynthium hungaricum* dominiert das Braun der Algengallerte, innen deutet sich auch der Blauton der Lagerunterseite an (vgl. Abb. 4.20). Massstab 1 mm.

partikel, Pflanzenreste und Erde angesammelt. Hier wird abfliessendes Regen- und Schmelzwasser oder Sickerwasser mit Nährstoffen angereichert. Gerade die Bereiche von austretendem Sickerwasser werden deshalb nicht nur von grossen und kleinen Cyanoflechten, sondern auch von anderen Flechten und von Moosen bevorzugt (**Abb. 7.1.3**).



Abb. 7.1.3. Auf Kieselkalk des Roggenstöcklis wachsen Moose direkt in den Fugen und Ritzen des schiefriegen Gesteins, Krustenflechten auf den Ablaufflächen des Sickerwassers. Bildbreite ca. 27 cm.

7.2. «Grösse ist relativ»

Nicht alle vorgestellten Flechten sind immer und überall wirklich klein; einzelne Arten können durchaus zu relativ grossen Exemplaren heranwachsen oder beachtliche Aggregate bilden. Für gewisse *Placynthium*-Spezies scheint das eher die Regel als die Ausnahme zu sein: Die bekannteste, *Placynthium nigrum*, bedeckt nicht selten Flächen von über einem Quadratdezimeter (**Abb. 7.2.1**). Von *P. subradiatum* werden ebenfalls hin und wieder grosse, meistens unvollständig ringförmige Lager gefunden (**Abb. 7.2.2**). Aber auch die stets nur wenige Millimeter messenden Flechten bilden unter geeigneten Bedingungen ausgedehnte Bestände, wie das Beispiel von *Peltula euploca* (Ach.) Poelt im Kanton Tessin zeigt (BÜRGI-MEYER & KELLER 2014). Bei den in grösseren Aggregaten auftretenden Arten ist allerdings oft nicht erkennbar, ob es sich um eine einzelne Flechte oder, was vermutlich häufig der Fall ist, um mehrere gemeinsam wachsende oder zusammengewachsene Exemplare handelt.

7.3. Ältere und neuere Funde in der Schweiz

Das Wissen über die Vorkommen und Funde von kleinen Cyanoflechten in der Schweiz stammt hauptsächlich aus alten Publikationen, entsprechend den Zitaten in CLERC & TRUONG (2012) vor allem aus STIZENBERGER (1882–83) sowie aus Lettau (1942). Die Mehrheit der damals publizierten Fundgebiete liegt im Jura sowie in den Kantonen Wallis, Bern, Graubünden und Tessin. Einige Arten wie z. B. *Anema nummularium*, *Pseudoleptogium diffractum*, *Psorotichia diffracta* oder *Thelignya lignyota* wurden seit LETTAU (1942) in der Schweiz nicht mehr gemeldet. Des Weiteren sind weder die alten Fundorte noch die in den Herbarien deponierten Flechten in neuerer Zeit überprüft worden, eine Revision wäre dringend nötig.

In der Flechtenliteratur der letzten 40 Jahre ist unter den gesteinsbewohnenden kleinen schwarzen Flechten *Placynthium nigrum* die am meisten genannte Art (CLERC & TRUONG 2012). *P. nigrum* ist häufig und weit verbreitet, sie ist ausserdem ziemlich auffällig und manchmal wegen ihrer Grösse nicht gerade die typische kleine schwarze Art. Fast ebenso oft wird nur noch die ähnlich verbreitete *Synalissa ramulosa* angegeben (als *S. symphorea*). Allerdings



Abb. 7.2.1. Ein sehr grosses, in der Mitte leicht abgeschabtes Beispiel von *Placynthium nigrum* auf einem Kieselkalkfelsen, vielleicht ein Aggregat. Bildbreite 18 cm.



Abb. 7.2.2. *Placynthium subradiatum* auf beschattetem Kalk des Roggenstöckli. Vermutlich sind mehrere Individuen an den übergrossen Rosetten beteiligt. Bildbreite ca. 28 cm.

können in Publikationen der letzten Jahre mehrheitlich nur einzelne, selten zwei oder drei gesteinsbewohnende kleine Cyanoflechten gezählt werden. Erfreulicherweise berichten aber demnächst BÜRGI-MEYER & KELLER (*in Vorb.*) von einem knappen Dutzend kleinwüchsiger Arten aus dem Brünigpassgebiet. Ein etwas älterer Exkursionsbericht aus dem Wallis erwähnt mehr als 15 kleine schwarze Flechten (VAN DEN BOOM et al. 1993). Unter den Kantonen ist Genf heute am besten dokumentiert, die vor einigen Monaten publizierte Rote Liste enthält sowohl moderne als auch historische Daten von mindestens 17 kleinen saxicolen Cyanoflechten (VUST et al. 2015).

Nur zwei der hier behandelten kleinen schwarzen Flechten sind in der Roten Liste der gefährdeten Arten (SCHEIDEGGER et al. 2002) als Bodenbewohner (*Polychidium muscicola*, VU, verletzte Art) oder als Baumbewohner (*Scytinium teretiusculum*, EN, stark gefährdet) eingestuft, für Gesteinsbewohner existiert leider keine Rote Liste. Aktuelle Verbreitung und Häufigkeit wie auch die Gefährdungssituation der kleinen Cyanoflechten sind in der Schweiz noch nie untersucht worden. Etwas mehr Aufmerksamkeit für diese offensichtlich vernachlässigten Arten ist deshalb durchaus erwünscht.

7.4. Ein wertvoller Flechtenlebensraum

Bis heute sind 33 kleine schwarze Flechtenarten auf den Felsen des Roggenstöcklis gefunden worden, darunter die bisher noch nie registrierten *Gonohymenia octosporella*, *Placynthium flabelliforme*, *Psorotichia frustulosa* und *Scytinium fragile*. Schon früher wurden kleine Cyanoflechten als Neufunde publiziert (GRONER 2007, 2016a, 2016b); momentan ist in der Schweiz kein anderes Gebiet mit so vielen kleinwüchsigen schwarzen Flechten bekannt. Das Roggenstöckli ist deshalb ein sehr wertvoller Flechtenstandort, auch dank der Vorkommen weiterer, extrem seltener Arten. In GRONER (2016a) wurden die am Roggenstöckli gesammelten Krustenflechten *Acrocordia macrospora* A. Massal., *Protoblastenia szaferei* J. Nowak und *Thelidium methorium* (Nyl.) Hellb. zum ersten Mal für die Schweiz nachgewiesen. Dazu kommt als neuste Entdeckung die bereits erwähnte *Polyblastia efflorescens*. Das Roggenstöckli ist landesweit der einzige Fundort für aktuell 14 Flechtenarten, davon sind sieben kleine Cyanoflechten.

Die Präsenz zahlreicher kleiner schwarzer Flechten am Roggenstöckli – wie auch im übrigen Bödmerenwaldgebiet – ist aussergewöhnlich, aber nicht überraschend; die meisten Arten sind ja auf kalkigen Ge-



Abb. 7.4.1. Um mehr über die kleinen Cyanobakterienflechten zu erfahren, werden auch noch andere Felsen untersucht, z. B. diese Schratzenkalkwand südwestlich vom Roggenstöckli.

steinen heimisch. Manche kommen hier allerdings selten vor, sie wurden nur ein- oder zweimal festgestellt. Die beeindruckende Vielfalt am Roggenstöckli kann mit der besonderen topographischen und geologischen Situation und dem niederschlagsreichen Klima erklärt werden. Mit dem Diphyoides-Kalk und dem Kieselkalk sind bezüglich Kalkgehalt unterschiedliche Gesteine vorhanden, dazu herrschen dank der west-östlichen Ausrichtung des Bergrückens abwechslungsreiche Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse. Es stehen daher viele kleine Lebensräume zur Verfügung, welche sich nicht nur klimatisch, sondern auch bezüglich Unterlage und Nährstoffangebot mehr oder weniger unterscheiden. Die Südseite des Roggenstöckli weist aufgrund der intensiveren Einstrahlung wesentlich stärkere tägliche Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen auf als die im Tages- und Jahresgang für längere Zeit beschattete Nordseite. Trotzdem sind auf den Felsen des Südhanges die kleinen Schwarzen häufiger und mit mehr Arten vertreten als auf der Nordseite. Für diese Flechten spielen offenbar die Lichtverhältnisse eine wichtigere Rolle als die Häufigkeit oder die Dauer der – besonders in Südexposition zahlreichen – trockenen Perioden. Der aktuelle Klimawandel hat mit grosser Wahrscheinlichkeit auch Auswirkungen auf die kleinen Cyanoflechten, jedoch liegen dazu bis heute keine konkreten Untersuchungsergebnisse

vor. Am Roggenstöckli und im Bödmerenwaldgebiet fehlen leider ältere Beobachtungen für einen entsprechenden Vergleich.

Einige Stellen im Bödmerenwald-Silberengebiet sind noch nicht systematisch nach kleinen Cyanobakterienflechten abgesucht worden. Immerhin wurden bisher 20 andere, am Roggenstöckli nicht beobachtete Arten erfasst, so die für die Schweiz neuen *Anema nodulosum*, *Gonohymenia myriospora*, *Metamelanea caesiella*, *Placynthium pulvinatum*, *Pterygiopsis affinis* und *Pyrenopsis sanguinea*. Die Artenliste des Kantons Schwyz wird damit ebenfalls länger, sie wächst um insgesamt 21 Flechtenarten. Im Gebiet leben bestimmt noch weitere gesteinsbewohnende kleine schwarze Flechten, vermutlich auch am inzwischen ziemlich gut erforschten Roggenstöckli. Aber ähnlich wie am Roggenstöckli sind viele Felsen und Felswände kaum oder nur an der Basis zugänglich, was die Möglichkeit für Neuentdeckungen etwas beschränkt (**Abb. 7.4.1**).

8. Dank

Mehrere Cyanoflechtenbelege wurden von Per M. Jørgensen (Bergen) für UG untersucht und/oder bestimmt. Brian J. Coppins (East Linton; Edinburgh) hat zwei für die Schweiz neue Flechtenarten bestätigt und uns auf eine weitere Art aufmerksam gemacht.

Die Ausleihe von *Collolechia*- und *Placynthium*-Belegen ermöglichte Philippe Clerc (Genève). Christine Keller (Birmensdorf) und Karl Bürgi-Meyer (Ebikon) haben Einsicht in ihr Manuskript gewährt. Wir danken herzlich für diese Unterstützung.

Literatur

- BERTRAM, J. 1994. Moosvegetation und Moosflora des Urwald-Reservates Bödmeren. Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft 10: 3–94.
- BÜDEL, B. & KAUFF, F. 2012. Prokaryotic algae, Blue-Green Algae. In: FREY, W. (ed.): Syllabus of Plant Families – A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien Part 1/1. Volume 1: Blue-Green Algae, Myxomycetes and Myxomycete-like organisms, Phytoparasitic protists, Heterotrophic Heterokontobionta and Fungi p.p., 5–39. Borntraeger, Stuttgart.
- BÜDEL, B. & LANGE, O. L. 1991. Water status of green and blue-green phycobionts in lichen thalli after hydration by water vapor uptake: do they become turgid? Botanica Acta 104: 361–366.
- BÜRGI-MEYER, K. & KELLER, C. 2014. *Peltuletum euplocae* (Wirth 1972) auf Amphibolit der Ivrea Zone (Kanton Tesin, Schweiz). Meylania 54: 5–10.
- CARVALHO, P. 2012. *Collema*. Flora Liquenológica Ibérica 10: 1–52.
- CEZANNE, R., EICHLER, M., BERGER, F., BRACKEL, W. VON, DOLNIK, C., JOHN, V. & SCHULTZ, M. 2016. Deutsche Namen für Flechten. Herzogia 29: 745–797.
- CLERC, P. & TRUONG, C. 2012. Catalogue des lichens de Suisse. – <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/cataloguelichens> [Version 2.0, 11.06.2012]
- CZEIKA, H. & CZEIKA, G. 2007. *Placynthium* in den Alpen und Karpaten sowie in benachbarten Gebieten. Herzogia 20: 29–51.
- CZEIKA, H. & CZEIKA, G. 2017. *Placynthium garovaglioii* var. *subtile* – ein Synonym von *Placynthium caesium*. Herzogia 30: 322–323.
- CZEIKA, H., CZEIKA, G., GUTTOVÁ, A., FARKAS, E., LÓKÖS, L. & HALDA, J. 2004. Phylogeographic and taxonomical remarks on eleven species of cyanophilic lichens from Central Europe. Preslia 76: 183–192.
- GBIF secretariat 2016. The Global Biodiversity Information Facility: GBIF Backbone Taxonomy. – <http://www.gbif.org/species/>
- GILBERT, O. L., JAMES, P. W. & PURVIS, O. W. 2009. *Collema* F.H. Wigg. (1780). In: SMITH et al. (eds.): The lichens of Great Britain and Ireland, 345–357. British Lichen Society, Natural History Museum, London.
- GRONER, U. 2007. Neue, seltene und interessante Flechten 3. Meylania 39: 21–24.
- GRONER, U. 2016a. Flechten und assoziierte nicht lichenisierte Pilze des Bödmerenwald-Silberer-Gebiets im Muotatal, Kanton Schwyz (Schweiz). Cryptogamica Helvetica 22: 1–156.
- GRONER, U. 2016b. *Placynthium pannariellum* – eine kleine, in der Schweiz bisher unbekannte Flechte. Meylania 57: 29–34.
- GUTTOVÁ, A., LACKOVIČOVÁ, A. & PIŠŮT, I. 2013. Revised and updated checklist of lichens of Slovakia (May 2013). Biologia 68: 845–850; Appendix 50 pp.
- HANTKE, R. 1982. Zur Talgeschichte des Gebietes zwischen Pragel- und Klausenpass. Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft 8: 3–12.
- HANTKE, R. 1995. Erdgeschichte des Bödmerenwaldes (Gemeinde Muotathal, Kt. Schwyz). Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:2000 (Beilage). Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 337: 1–32.
- HANTKE, R. & KURIGER, E. 2003. Überblick über die Geologie des Kantons Schwyz und seiner Nachbargebiete. Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft 14: 9–34.
- HLADUN, N. 2017. Mòdul LiqueCat. Banc de Dades de Biodiversitat de Catalunya. Generalitat de Catalunya i Universitat de Barcelona. – <http://biodiver.bio.ub.es/biocat/homepage.html>
- JAMES, P. W., HAWKSWORTH, D. L. & ROSE, F. 1977. Lichen Communities in the British Isles: A preliminary conspectus. In: SEAWARD, M. R. D. (ed.): Lichen Ecology, 295–413. Academic Press, London-New York-San Francisco.
- JØRGENSEN, P. M. 1994. Further notes on European taxa of the lichen genus *Leptogium*, with emphasis on the small species. Lichenologist 26: 1–29.
- JØRGENSEN, P. M. 2012a. Preface. Nordic Lichen Flora 3: 5. Göteborg (2nd edition).
- JØRGENSEN, P. M. 2012b. *Collemataceae*. Nordic Lichen Flora 3: 14–42. Göteborg (2nd edition).
- JØRGENSEN, P. M. 2012c. *Massalongiaceae*. Nordic Lichen Flora 3: 87–90. Göteborg (2nd edition).
- JØRGENSEN, P. M. 2012d. *Placynthiaceae*. Nordic Lichen Flora 3: 134–142. Göteborg (2nd edition).
- JØRGENSEN, P. M., SCHULTZ, M. & GUTTOVÁ, A. 2013. Validation of *Anema tumidulum* (Lichinaceae, lichenized Ascomycota), a widespread cyanophilic lichen. Herzogia 26: 1–7.

- KOŠUTHOVÁ, A., FERNÁNDEZ-BRIME, S., WESTBERG, M. & WEDIN, M. 2016. *Collechia* revisited and a re-assessment of ascus characteristics in *Placynthiaceae* (Peltigerales, Ascomycota). *Lichenologist* 48: 3–12.
- LANGE, O. L. 2000. Photosynthetic performance of a gelatinous lichen under temperate habitat conditions: long-term monitoring of CO₂ exchange of *Collema cristatum*. *Bibliotheca Lichenologica* 75: 307–332.
- LETTAU, G. 1942. Flechten aus Mitteleuropa VII. Feddes Repertorium, Beihefte 119 (5): 265–348.
- MORENO, P. P. & EGEA, J. M. 1992. Estudios sobre el complejo *Anema-Thyrea-Peccania* en el sureste de la Península Ibérica y norte de África. *Acta Botanica Barcinonensis* 41: 3–66.
- MORENO, P. P. & EGEA, J. M. 1994. El género *Psorotichia* y especies próximas en el sureste de España y norte de África. *Bulletin de la Société linnéenne de Provence* 45: 291–308.
- NIMIS, P. L. & MARTELOS, S. 2017: ITALIC – The Information System on Italian Lichens. Version 5.0. University of Trieste, Dept. of Biology – <http://dryades.units.it/italic>
- NORDIC LICHEN SOCIETY 2012. Nordic Lichen Flora Vol. 3. Cyanolichens (2nd edition). Göteborg.
- OTÁLORA, M., JØRGENSEN, P. & WEDIN, M. 2014. A revised generic classification of the jelly lichens, Collemataceae. *Fungal diversity* 64: 275–293.
- ØVSTEDAL, D. O., TØNSBERG, T. & ELVEBAKK, A. 2009. The lichen flora of Svalbard. *Sommerfeltia* 33: 1–393.
- PRIETO, M., WESTBERG, M. & SCHULTZ, M. 2015. New records of Lichinomycetes in Sweden and the Nordic countries. *Herzogia* 28: 142–152.
- ROUX, C. ET COLL. 2016. Liste des lichens et champignons lichénicoles de France métropolitaine (mise à jour 2016/10/27). – <http://lichenologue.org/fr/>
- SCHNEIDER, C., CLERC, P., DIETRICH, M., FREI, M., GRONER, U., KELLER, C., ROTH, I., STOFER, S. & VUST, M. 2002. Rote Liste der gefährdeten baum- und erdbewohnenden Flechten der Schweiz. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève CJBG.
- SCHULTZ, M. 2005. An overview of *Lichinella* in the southwestern United States and northwestern Mexico, and the new species *Lichinella granulosa*. *Bryologist* 108: 567–590.
- SCHULTZ, M. & BÜDEL, B. 2002. Key to the genera of the Lichinaceae. *Lichenologist* 34: 39–62.
- SCHULTZ, M., WIRTH, V. & FEUERER, T. 2007. Erstfunde von Flechten und lichenicolen Pilzen in Deutschland. *Herzogia* 20: 329–334.
- SMITH, C. W., APTROOT, A., COPPINS, B. J., FLETCHER, A., GILBERT, O. L., JAMES, P. W. & WOLSELEY, P. A. (eds.) 2009. The Lichens of Great Britain and Ireland. British Lichen Society, Natural History Museum, London.
- SPRIBILLE, T., SCHULTZ, M., BREUSS, O. & BERGMIEER, E. 2006. Notes on the lichens and lichenicolous fungi of western Crete (Greece). *Herzogia* 19: 125–148.
- STIZENBERGER, E. 1882–83. Lichenes Helvetici eorumque stationes et distributio. (Separatdruck aus den Jahresberichten der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft 1880/81 und 1881/82). Zollikofer, St. Gallen.
- STOFER, S., SCHEIDEGGER, C., CLERC, P., DIETRICH, M., FREI, M., GRONER, U., JAKOB, P., KELLER, C., ROTH, I., VUST, M. & ZIMMERMANN, E. 2008. SwissLichens – Webatlas der Flechten der Schweiz / Modul Verbreitung [Version 2]. – <http://www.swisslichens.ch>
- THÜS, H. & SCHULTZ, M. 2009. Süßwasserflora von Mitteleuropa – Freshwater Flora of Central Europe. Band/Vol. 21/1. Fungi. 1. Teil/Part 1: Lichens. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (published 4th Dec. 2008).
- URBANAVICHUS, G. & URBANAVICHENE, I. 2011. New records of lichens and lichenicolous fungi from the Ural Mountains, Russia. *Folia Cryptogamica Estonica* 48: 119–124.
- VAN DEN BOOM, P. P. G., BRAND, A. M. & SIPMAN, H. J. M. 1993. Lichens from Evolène and surroundings (Switzerland). *Meylania* 3:12–26.
- VUST, M., CLERC, P., HABASHI, C. & MERMILLIOD, J.-C. 2015. Liste Rouge des lichens du canton de Genève. Hors-série no. 16. Conservatoire et Jardins botaniques de la ville de Genève.
- WIRTH, V. 1995. Die Flechten Baden-Württembergs (2 Bände). Eugen Ulmer, Stuttgart.
- WIRTH, V., HAUCK, M. & SCHULTZ, M. 2013. Die Flechten Deutschlands (2 Bände). Eugen Ulmer, Stuttgart.
- ZAHLEBRUCKNER, A. 1903. Neue Flechten. *Annales Mycologici* 1: 354–361.

Eingereicht am 23. Februar 2017

Adressen der Autoren:

Dr. Urs Groner
Spirgartenstrasse 6
CH-8048 Zürich

Dr. Matthias Schultz
Senior Curator – Herbarium Hamburgense (HBG)
Biozentrum Klein Flottbek
Universität Hamburg
Ohnhorststrasse 18
D-22609 Hamburg

Zur jüngeren Erdgeschichte des westlichen Kantons Schwyz

RENÉ HANTKE, Stäfa

Mit Ergänzungen zu den Erläuterungen von Blatt 1151 Rigi und Nordteil von 1171 Beckenried, zu Blatt 1132 Einsiedeln und zu Blatt 1172 Muotathal mit Teil von 1171 Beckenried des Geologischen Atlas der Schweiz 1: 25'000

1 Einleitung

Erdgeschichtliche Studien über mehr als 6 Jahrzehnte in der östlichen Zentralschweiz, vor allem in den Kantonen Schwyz, Uri und Glarus, haben gezeigt, dass manche der bisherigen Vorstellungen zur Bildung unserer Landschaft einer kritischen Betrachtung nicht standhalten. Dies gilt sowohl für die Zuordnung zu den einzelnen helvetischen Decken (HANTKE 1961), für die Schüttung der Molasse-Nagelfluhen als auch für das Geschehen im Eiszeitalter und in der Nacheiszeit. Umfassende Neubearbeitungen boten die Gelegenheit, bisherige Vorstellungen zu hinterfragen und – da und dort – den neuen Erkenntnissen anzupassen. Dabei sollen zunächst die Tektonik, dann die Molasse-Ablagerungen von ihrem Herkunftsgebiet zum Sedimentationsgebiet und schliesslich die Schüttungen im Eiszeitalter und das Geschehen in der Nacheiszeit beleuchtet werden.

2 Tektonische Vorgänge in den werdenden Alpen und ihrem Vorland

Die Landschaft, insbesondere die Bildung der Täler und der Seebecken, ist vor allem durch tektonische Vorgänge bedingt. Die Decken sind recht variabler Natur und unterschiedlichen Alters; in den Schweizer Alpen werden sie generell von Süden nach Norden jünger.

Beim Vorgehen der ostalpinen und penninischen Decken im jüngeren Oligozän, vor 30–24 Ma (Millionen Jahren), wurden diese am Nordrand des damals sich emporhebenden Bergeller Massivs ebenfalls gestaucht. Dabei begannen sich Scherflächen auszubilden an denen die Decken zerbrachen, sodass es zu Bergstürzen kam. In Warmzeiten blieb das Sturzgut am Fuss der sich bildenden Berge liegen. Brach es hingegen auf Eis nieder, schmolz dieses oberflächlich und es bildeten sich Muren. Auf ihrer Fahrt an den Alpenrand brachen die Bergsturstrümmer weiter auseinander, wurden kleiner und zunehmend runder. Im Alpenvorland kamen die Muren zum Stillstand

und verfestigten sich zu Nagelfluhbänken. Bisher wurden die Nagelfluhen in der subalpinen Unteren Süsswassermolasse, in der Oberen Meeres- und in der Oberen Süsswassermolasse stets – wie die dazwischen gelegenen Feinsedimente mit ihren Floren und Faunen – *ebenfalls* als warmzeitlich betrachtet und alpinen Flüssen zugeschrieben, die Feinsedimente ihren Uferbereichen.

Nach den Arbeiten von F.-J. KAUFMANN (1872), J. SPECK (1953), B. STÜRM (1973) und F. SCHLUNGER (1995) hat jüngst PH. GAREFALAKIS (2018) im Anschluss an die Vermessung der Nagelfluhbänke an der Rigi und der Untersuchung ihrer Gerölle festgestellt, dass diese vom Fuss zum Gipfel von faustgross zu kopfgross anwachsen und wirt gelagert wären. Er schloss daraus, dass das Relief des geröllliefernden Flusses – bei ihm die Ur-Reuss – in der Zeit von 5 Ma bedeutend steiler geworden wäre. Doch das Fehlen der für Flussablagerungen typischen dachziegelartigen Lagerung der flacheren Gerölle ist ein untrügliches Merkmal für Muren (vergl. Abb. 36 und 37 in HANTKE 2019a auf Seite 31 in diesem Heft). Ihr Gesteinsinhalt aus Trümmern der penninischen und ostalpinen Decken ist jeweils als Mure an den Alpenrand verfrachtet worden und hat sich im Vorland gegen NW ausgebreitet, wo sie heute die Nagelfluhbänke der Morgarten–Rigi/Rosberg-Kette bilden. Ihr mittlerer Teil lieferte das Gesteinsgut für die Nagelfluhen der Molasseberge Windwurf–Friederberg–Rinderweidhorn–Spitzberg, der östlich anschliessende wurde gegen Norden bewegt und baut jene des Hirzli–Speer-Schuttfächers auf.

In spät-oligozänen Kaltzeiten floss Eis des Bergeller Massivs durch das Tal der Maira, das Veltlin und die Comersee-Talung bis Como; in den Kaltzeiten des jüngsten Oligozän und ältesten Miozän flossen die Gletscher, schuttbedeckt mit Obermoräne, auch aus dem obersten Engadin und Bernina-Gebiet durch die Paläopässe Ur-Septimer und Ur-Julier nach Mittelbünden.

Im durch das Emporsteigen des Bergeller Massivs weit weniger gestörten Gebiet westlich der unteren Maira wurden die ostalpinen und penninischen Decken nicht durch Bergstürze zerbrochen, sondern glitten durch die Prä-Bisistal-Depression nach NNW und bauen heute die Schwyzer Klippen: Roggenstock, Mördergruebi, Gross-, Hudel- und Chli Schijen, Rotenflue und Mythen auf.

Hinsichtlich des Paläoklimas – einerseits kühl- bis kaltzeitliche Muren (heutige Nagelfluhbänke), andererseits warmzeitliche Floren und Faunen (in den Feinsedimenten zwischen den Bänken als Fossilien erhalten) – sei auf die Erkenntnisse von MILUTIN MILANKOVITCH (1941) verwiesen. Nach intensiven Studien um das Zustandekommen von Kaltzeiten und Warmzeiten im Eiszeitalter hat MILANKOVITCH sich mit dem zeitlichen Verhalten der Erdbahnelemente befasst und ein Taumeln der Erdachse festgestellt. Er suchte damit den Wechsel von Kalt- und Warmzeiten zu erklären. Seine Schlussfolgerungen wurden zunächst in Abrede gestellt, werden aber seit den 70er Jahren als Tatsache anerkannt (H. BLATTER 1984). Es ist noch zu ergänzen, dass diese Fakten nicht erst im Eiszeitalter von Pliozän und Quartär wirksam waren, sondern stets das Klima-Geschehen bestimmt hatten.

Das tektonische Geschehen in der östlichen Zentralschweiz und in den Glarner Alpen ist mit der Ankunft der helvetischen Decken relativ jung; dieses erfolgte dort erst im späten Miozän, vor 8–5 Ma, im aufgeschlossenen sichtbaren Bereich. In dieser Zeit erreichten auch die Schwyzer Klippen – Mythen, Rotenflue, Chli Schijen (mittelpenninisch) und Hudelschijen–Gross Schijen, Mördergruebi und Roggenstock (ostalpin) – auf nordpenninischem Flysch ihre heutige Position. Zugleich erfolgten damals Verschiebungen und Aufschiebungen der subalpinen Molasse, ihre Schrägstellung und die randliche Überfahung durch helvetische Schubspäne. Zugleich ereigneten sich markante Scherstörungen, die zur Bildung neuer Täler führten, so des Schin zwischen Tiefencastel und Thusis als Fortsetzung des älteren Landwasser–Albulatales sowie der Viamala zwischen Zillis und Thusis.

In der Zentralschweiz haben sich durch seitliches Abscheren von Deckenteilen und in den Glarner Alpen in den helvetischen Decken durch Aufreissen von Falten neue Täler gebildet, ebenso im den Decken aufliegenden nordpenninischen Flysch. Auch in den Schwyzer Klippen und selbst im Mittelland haben tektonische Vorgänge zu Scherstörungen geführt und Täler entstehen lassen, ein Vorgang, der lokal noch bis ins Eiszeitalter angehalten hat.

Die letzten Phasen der alpinen Gebirgsbildung und die Zeit danach waren geprägt durch verstärkten Abtrag. Da von dieser letzten Zeit Hinweise zum geologischen Geschehen auf der Alpen-Nordseite oft durch Überschiebungen verborgen sind, werden ihre Auswirkungen gerne überschätzt. Allfällige Sedimente liegen – wie am Alpen-Südrand – zuunterst in den Tälern, die in letzten orogenen Phasen entstanden sind. Geophysikalisches Abtasten des Untergrundes und Bohrungen könnten sie erschliessen. Dabei wäre das Bohrgut pollenanalytisch zu untersuchen und richtig zu interpretieren.

2.1 Tal- und Seebildung in der östlichen Zentralschweiz

ALBERT HEIM (1894a, 1919) betrachtete die Alpenrandseen noch als ertrunkene Täler, die im Vorfeld der hochgestauten Alpen unter Wasser gesetzt worden wären.

EDUARD BRÜCKNER (in PENCK & BRÜCKNER 1909) führte die Ausräumung der Vierwaldstättersee-Becken auf glaziale Erosion zurück. Nach ihm wären in der Talung Ibach–Brunnen, in den Armen des Vierwaldstättersees, im Zugersee- und Ägerisee-Arm mehrere hundert Meter Felsgestein – Kreide-Kalke, Flysch-Abfolgen, fest zementierte Molasse-Nagelfluh und -Sandsteine – einer gewaltigen Glazialerosion zum Opfer gefallen. Dies wäre, etwa im Küssnacher Arm, sogar quer zur Hauptfliessrichtung des Reuss-Gletschers geschehen; doch diese Rinne ist bedingt durch eine weit ältere, strukturell angelegte Talung in der Verlängerung vom Brünig durch Obwalden zum Küssnachersee.

AUGUST BUXTORF (1910K, in BUXTORF et al. 1913K, 1916) sah im Vierwaldstättersee neben der Glazialerosion ein tektonisches Herausheben der zentralen Alpen und ein Einsinken der Randgebiete. JOSEF KOPP (1945, 1962K) und NAZARIO PAVONI (1953) erkannten, dass eine hierzu notwendige subalpine Randflexur vor den Alpen nicht existiert.

Die Anlage von Vierwaldstätter-, Lauerzer- und Zugersee ist *tektonisch* bedingt (HANTKE 1961, 1986, 1987, 1991, et al. 2006, 2013K). Das Ausräumen durch Reuss- und Muota/Reuss-Gletscher hielt sich – wie Seismik (FINCKH, KELTS & LAMBERT 1984) und Neuaufnahmen (HANTKE 2006, 2013) bestätigt haben – sehr in Grenzen. Die Seen bildeten sich durch das Aufbrechen von Decken- und Molasse-Strukturen und das Auffahren der Schüttungsenden der Rigi-Schuppe (**Abb. 1**). Die Gletscher wirkten nur als Feile, gaben den Tälern den letzten Schliff, ± ihre heutige Gestalt. Zur Entwicklung der Landschaft vom jüngeren Miozän über das Pliozän zum Pleistozän haben jüngst KUHLEMANN & RAHN (2013) einen Versuch unternommen, der sich für das Pleistozän noch verfeinern lässt, für die ältere Zeit jedoch einiges an gedanklicher Arbeit erfordert.

2.2 Die Bildung der Vierwaldstättersee-Becken

Der *Urnersee* verdankt seine Entstehung dem Auseinanderfahren von Teilen der Axen- und Drusberg-Decke über der Urnersee-Hochzone und der Nordwärts-Verfrachtung der dort zu hoch zu liegen gekommenen höheren Teile der Axen-Decke, der Bächistock- und Silberer-Teildecken, die von der vorgeglittene Drusberg-Decke mitgerissen wurden.

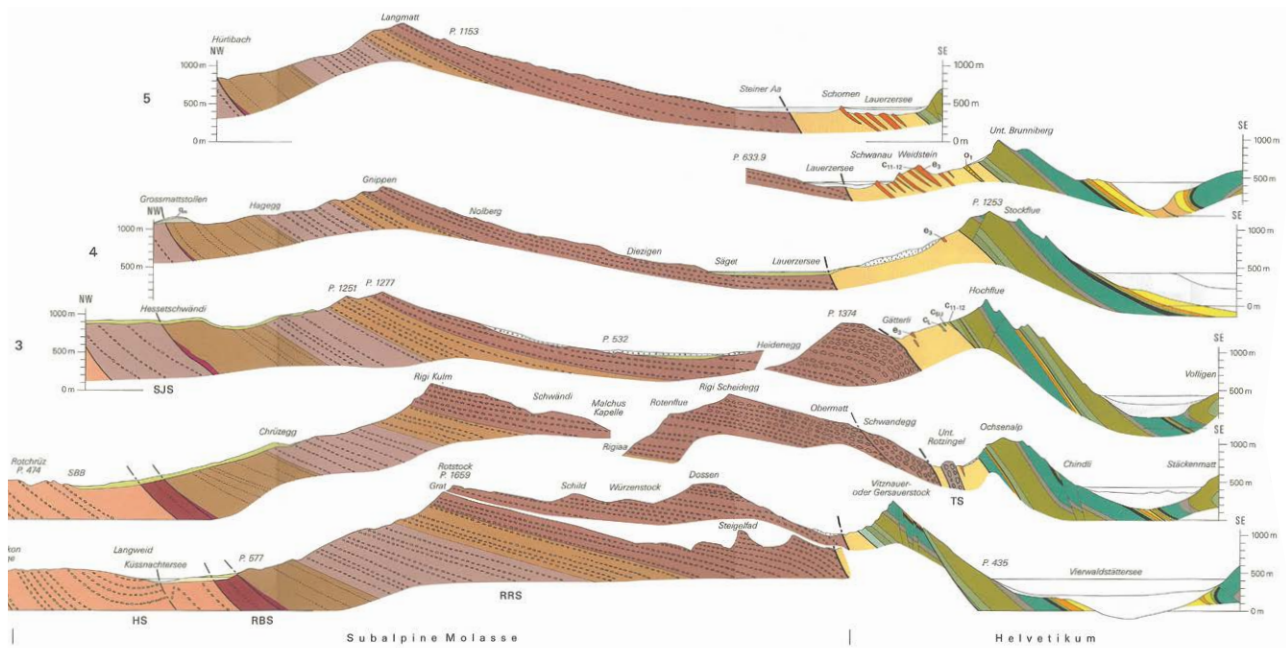


Abb. 1. Geologische Profile durch Rotstock und Rigi Kulm, ca. 1:60'000, aus HANTKE 2006, Profil 1 bis 4, aus Erläuterungen zu Blatt 1151 Rigi.



Dies führte – zusammen mit subalpinen Molasse-Schuppen – zu ihrer Aufrichtung. Östlich des Urner sees blieb die Bächistock-Teildecke noch auf der Axen-Decke liegen (Abb. 2); westlich des Sees wur-

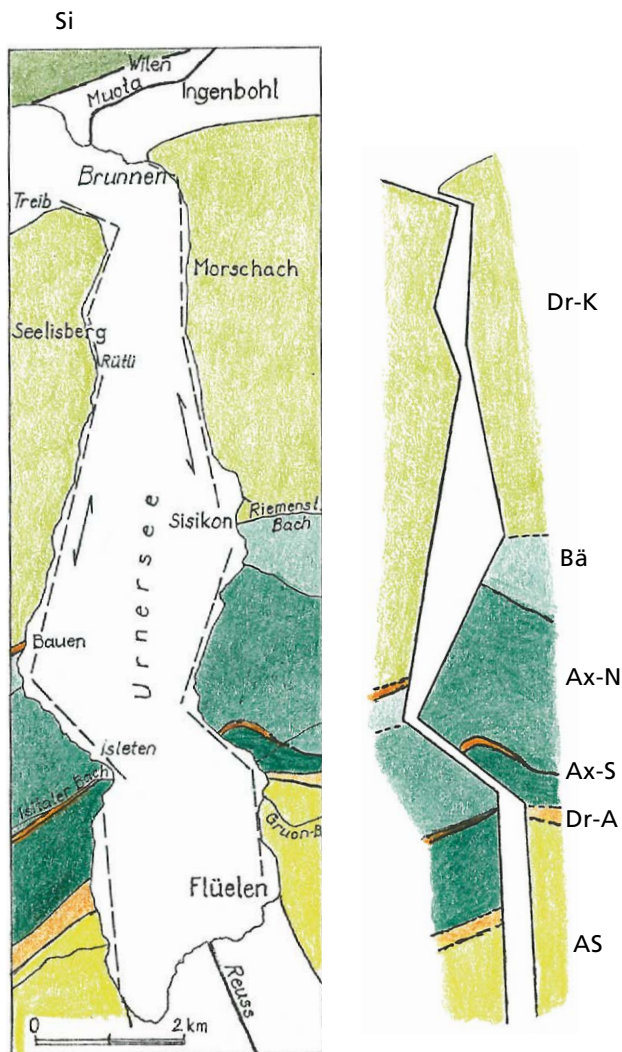


Abb. 2. Scherstörungen in der Drusberg- und in der Axen-Decke sind verantwortlich für die Bildung des Urner Sees, ca. 1:100'000.

- Si: Silberer-Teildecke: Bürgenstock-Urmiberg-Abfolge (seitlich vom Chaiserstock abgescherte Obere Silberer-Teildecke) und Untere Silberer-Teildecke (nur von der Chaiserstock-Kette gegen Osten vorhanden)
- Dr-K: Kreide der Drusberg-Decke
- Bä: Bächistock-Teildecke: Matthorn-Vitznauer/Gersauer Stock-Hochfluh-Abfolge (am Urnersee seitlich durch die Drusberg-Decke von der Bächistock-Teildecke abgeschert)
- Ax-N: Nordlappen der Axen-Decke
- Ax-S: Südlappen der Axen-Decke (wahrscheinlich Mürtschen-Decke)
- Dr-A: Drusberg-Alttertiär (früh abgeglitten, im Verband verblieben)
- AS: Aldorfer Sandstein (nahezu autochthon)

de sie an den Alpenrand geschoben, wo sie die Hochflue-Vitznauer/Gersauer Stock-Kette aufbaut. Ähnlich erging es der Silberer-Teildecke. Diese brach am Chaiserstock längs ± SE-NW verlaufenden Störungen ab; auch sie wurde von der Drusberg-Decke seitlich abgeschert, an den Alpenrand geschoben und tritt dort als Urmiberg-Schuppe wieder zutage. Neben der tektonischen Stellung zeigt auch die Detailstratigraphie, dass sich die Silberer-Teildecke und die Urmiberg-Schuppe entsprechen: bei beiden ist das Rawil-Member (untere Orbitolinenschichten) gut ausgebildet und endet mit einer harten Siltsteinbank; auch die Ausbildung der Mittleren Kreide entspricht sich. In der Drusberg-Decke hingegen hebt sich das Rawil-Member weit weniger deutlich vom Unteren und Oberen Schrattekalk ab, und die Mittlere Kreide ist schon im nördlichsten Bereich mächtiger und stärker gegliedert, was sich gegen Süden noch verstärkt.

Das 214 m tiefe Gersauer Becken (Abb. 3) liegt zwischen der Seelisberger Faltenstirn der Drusberg-Decke und den durch diese von der Axen-Decke seitlich abgescherten und an den Alpenrand verfrachteten Kreide/Eozän-Schuppen der Hochflue (= Bächistock-Teildecke) und der Urmiberg-Schuppe (= Silberer-Teildecke der Axen-Decke). Die beiden wur-

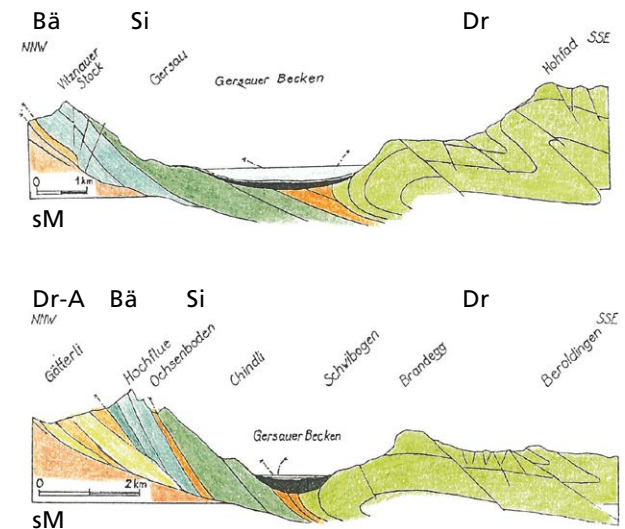


Abb. 3a. Tektonisches Profil vom Gätterli über Hochflue-Chindli-Schwibbogen-Brandegg nach Beroldingen.

3b. Tektonisches Profil vom Vitznauer Stock über Gersauer-Gersauer Becken-Hohfad.

- sM: Subalpine Molasse
- Dr-A: Drusberg-Alttertiär (früh abgeglitten)
- Bä: Bächistock-Teildecke: Matthorn-Vitznauer Stock-Hochfluh-Abfolge (seitlich abgescherte Bächistock-Teildecke)
- Si: Silberer-Teildecke: Muoterschwanderberg-Bürgenstock-Urmiberg-Abfolge (seitlich abgescherte Silberer-Teildecke)
- Dr: Drusberg-Decke

den mit den ebenfalls steil SE-fallenden Nagelfluhen der südlichen Rigi-Schuppen hochgestaut. Die gegen Osten, an der Egg bzw. bei Seewen gegen NE endenden Kreide-Eozän-Schuppen setzen – senkrecht zum Streichen im SE – am Grawegg südlich Sisikon, bzw. im Bereich von Fülen–Chaiserstock wieder ein. Sie lassen sich weiter gegen Osten bis in den Glärnisch bzw. ins Rossmatter Tal verfolgen (HANTKE 1961, 2013K, **Abb. 1**).

Das in Gersau in den Vierwaldstättersee mündende Teuffibachtal wurde in wenig resistenten Abfolgen über der Scheidegg-Molasse angelegt. Mit den ihr aufliegenden Teuffibach-Schuppen wurde die angeschobene helvetische Kreide/Eozän-Abfolge der Hochflue-Kette steil SE-fallend aufgerichtet.

Die durch markante Störungen zerscherten Kreide/Eozän-Schuppen von Hochflue und Vitznauer/Gersauer Stock mit der ihnen im Südosten aufliegenden Urmi-Schuppe ist zwischen den Nasen durch eine weitere markante, schiefe Scherstörung vom Bürgenstock getrennt. Die Schuppe Hochflue/Vitznauer Stock folgt als Matt-Schuppe, teils überschüttet, teils subaquatisch, dem Nordabfall des Bürgenstock.

Die Talung *Stans–Buochs*, zwischen Bürgenstock und den auf der verfalteten Drusberg-Decke aufliegenden Nidwaldner Klippen, war einst ein flaches Seebecken; der Bürgenstock war zunächst noch eine Insel im Vierwaldstättersee.

Das 150 m tiefe *Weggiser Becken* liegt in der Flyschzone zwischen Bürgenstock-Teildecke (= westliche, gegen den Alpenrand verfrachtete Fortsetzung der Silbernen-Teildecke), Matt-Schuppen (= westliche Fortsetzung der Bächistock-Teildecke) und SW-Rand der Rigi-Molasse mit den ihr aufliegenden Teuffibach-Schuppen (**Abb. 1, 4**). Nach seismischen Profilen durch Gersauer- und Weggiser Becken (FINCKH et al. 1984) liegt der Felsgrund \pm auf Meereshöhe, was sich mit den Annahmen aus der Tektonik deckt (HANTKE 1961).

Der *Küssnachtersee* beginnt nach einer ersten Schwelle als SSW–NNE-verlaufendes, 75 m tiefes Becken zwischen Postunen und Hinter Meggen; nach einer weiteren Schwelle steigt der Seegrund gegen Küssnacht sachte an. Der See verdankt seine Existenz dem Aufbrechen einer auf die Molasse-Steilzone Meggenhorn–Altstatt folgenden Struktur: der aufgeschobenen Rigi-Schuppe mit ihrer gegen NW abrupt endenden Rigi/Rossmatter-Schüttung. (**Abb. 1, 4**). Die Querstörungen westlich Grütschelen–Hertenstein setzen sich im Seegrund fort.

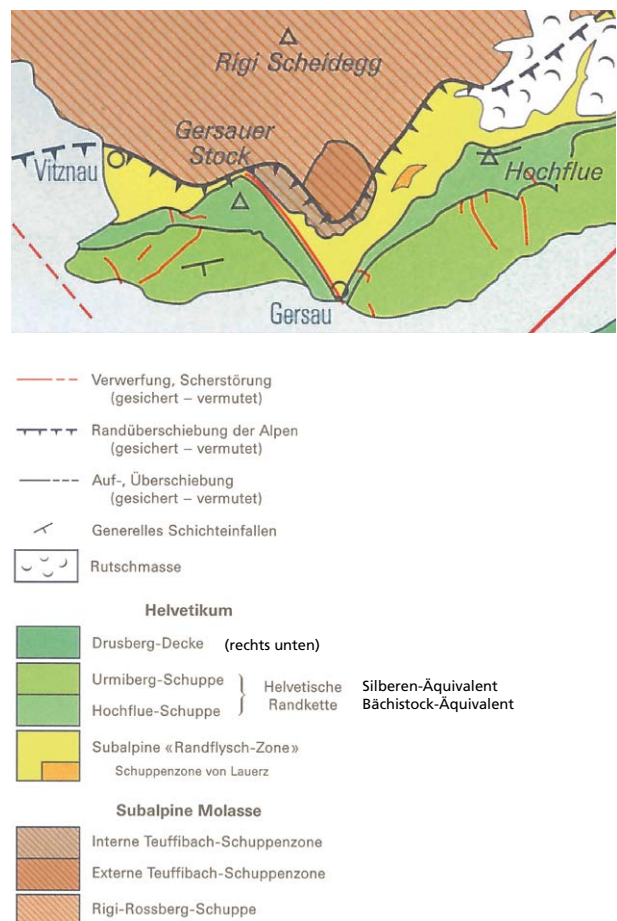


Abb. 4. Ausschnitt aus der tektonischen Karte, ca. 1:100'000, aus HANTKE 2006, Blatt 1151 Rigi, swisstopo, Wabern.

2.3 Die Anlage von Lauerzer- und Zugersee

ALBERT HEIM (1894a) hat die Talung Lauerzersee–Zugersee noch für einen alten Reusslauf gehalten. Bei Oberarth liegt der Fels-Einschnitt 244 m über dem Seegrund. Auch FREY (1907) und KOPP (1960, 1961) sahen darin einen alten Muotalauf. In 455 m ü. M. fand KOPP in 8 m Tiefe eine Grundwasserrinne. Doch der 15–20 m breite «Lauf» zeichnet sich unter den Alluvionen als Lücke in verscherten Nummulitenkalken ab, ist also tektonisch bedingt.

Der *Lauerzersee* liegt zwischen Rossmatter-Molasse im Norden und der ebenfalls SE-einfallenden Kreide/Eozän-Platte des Urmiberg und dachziegelartig übereinander geschobenen Nummulitenkalk-Schuppen des Weidstein im Süden. Die Nummulitenkalke queren die Insel Schwanau und steigen nordöstlich des Sees gegen Ängiberg und P. 985 an.

Auch die Durchlässe in der Nagelfluh sind tektonisch bedingt. Die *Lauerzersee–Zugersee–Talung* ist daher *kein* übertieftes Muotatal. Die Anlage ist bestimmt durch das Auseinanderfahren von Rigi- und Rossberg-Molasse an NNW-divergierenden Scherstörungen bei der Platznahme der helvetischen Decken und der subalpinen Molasseschuppen.

Den Südtteil des *Zugersees* bildet ein von Scherstörungen begrenztes Becken. Auf den vorspringenden Halbinseln Chiemen und Buonas (Blatt Zug) zeichnen sich «en echelon» rechtshändige Blattverschiebungen ab. Sie wurden an S–N-laufenden Störungen auseinander bewegt, der Durchbruch Immensee–Fänn an einer SE–NW-orientierten (BUXTORF & KOPP 1944).

2.4 Die «Wanderwege» der Zentralschweizer Klippen

Während mehrere ausländische Autoren das Ende der Ostalpen an der Rheintal-Störung sahen, wurden in der Schweiz, schon in BUXTORF et al. 1916, spätestens seit JEANNET (in HEIM 1921; 1934, 1953) und

TRÜMPY (1975, 2006), noch über 60 km weiter west-südwestlich eindeutige ostalpine Klippen erkannt. Im zwischen diesen Klippen liegenden Raum wurde das Ostalpin aber nicht etwa wegerodiert, sondern die ostalpinen Schwyzer Klippen glitten durch eine westlichere Senke, durch die Paläo-Panixerpass–Bisistal-Senke auf den helvetischen Decken und dem Wägital-Flysch nach Norden. Von den mittelpenninischen Zentralschweizer Klippen gelangten auch die mittelpenninischen Schwyzer Klippen durch diese Senke nach Norden, jene von Klewen–Buochserhorn und von Arvigrat–Stanserhorn durch eine Senke weiter westlich, durch jene von Paläo-Oberalp–Paläo-Fellital–Paläo-Engelbergertal und die Giswiler Klippen durch eine noch westlichere Senke, die Paläo-Gries–Paläo-Grimsel–Haslital–Paläo-Brünig gegen Norden (Abb. 7.4 in HANTKE 2003b, **Abb. 5**). Das Vorgleiten der Zentralschweizer Klippen erfolgte vorwiegend im späten Miozän. Noch an der Miozän/Pliozän-Wende waren die Klippen etwas grösser als heute. Auch danach, im Pliozän und im Pleistozän, haben sie nur unwesentlich an Grösse eingebüsst, was an den Mythen dargelegt werden kann.

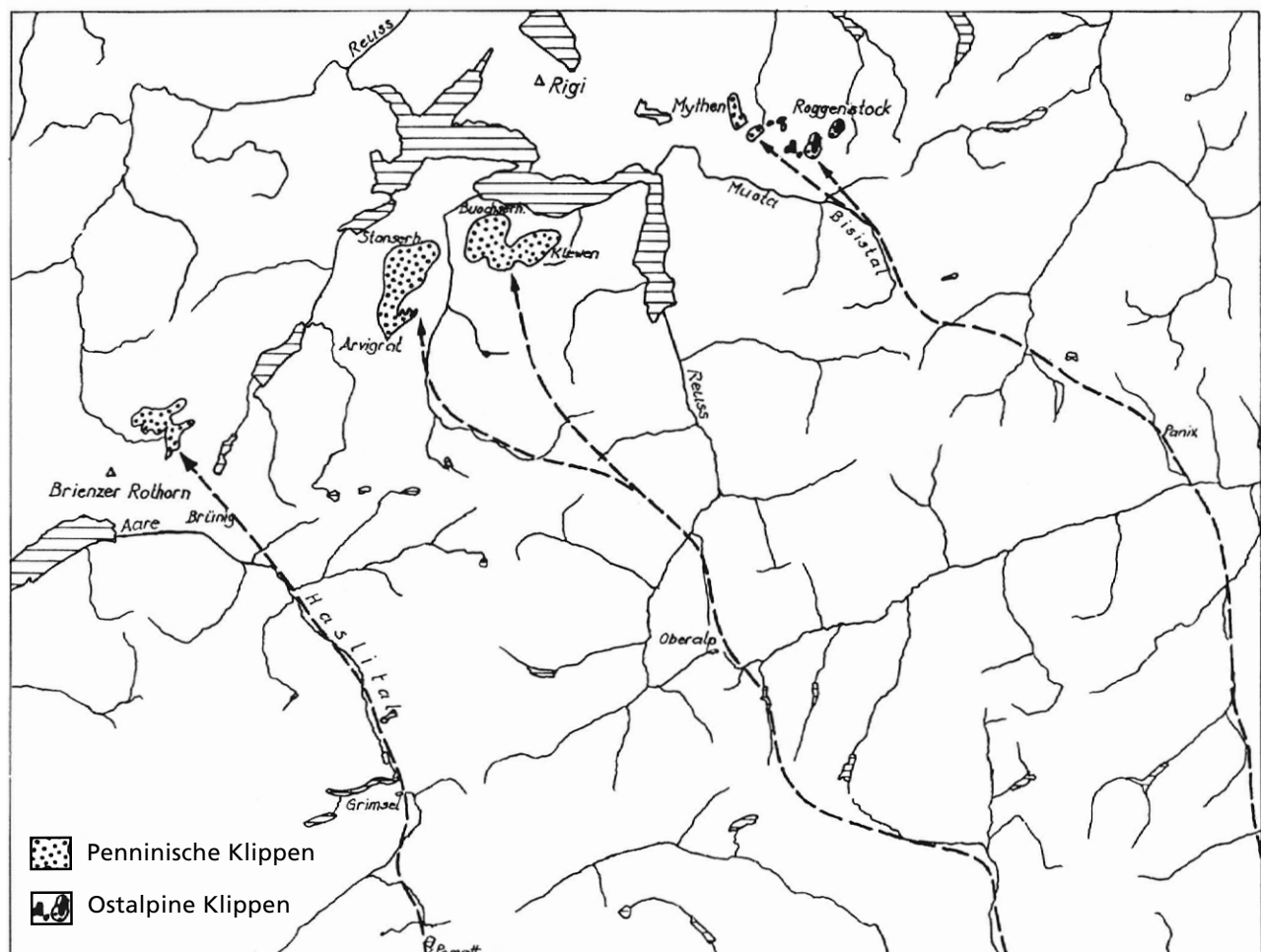


Abb. 5. Die «Wanderwege» der Zentralschweizer Klippen, ca. 1:600'000.

2.5 Die Aufrichtung der subalpinen Molasse

Vor gut 5 Ma wurden Silberer- und Bächistock-Teildecke – die südlichen Kreide-/Eozän- und Jura-Kreide-Teile vom Jura der frontalen und vom Bös Fulen-Gewölbe der mittelhelvetischen Axen-Decke – über der tektonischen Hochzone des Urnersees von ihren rückwärtigen Partien, in der Bisistal-Depression, abgesichert und als Urmiberg und Hochflue an den Alpenrand verfrachtet. Dabei führen sie auf die vorgelagerte Untere Süswassermolasse der Rigi auf. Neben der strukturellen Übereinstimmung stimmen auch die stratigraphischen Abfolgen bis in Einzelheiten überein. Dabei wurden die Nagelfluh-Abfolgen von Rigi/Rossherg–Morgartenberg wie jene von Samstageren–Friherrenberg, Rinderweidhorn und Stockberg–Hirzegg von der weiter im Osten an den Alpenrand gleitenden frontalen Drusberg-Decke niedergedrückt und ebenfalls südfallend schräggestellt. Das Einfallen der Nagelfluh am Gnipen – bei der Geröllschüttung noch sanft nach Norden – heute 26° gegen Süden, nimmt gegen Goldau auf 15–12° ab (LEHMANN 1942), verstärkt sich dann schlagartig gegen Gersau, vor den aufgeschobenen Kreide/Eozän-Schuppen der helvetischen Randkette (Blatt Rigi) südlich Breitäbnet. Zugleich wurden die Rigi- und die Rossherg-Morgartenberg-Schuppe durch eine markante querverlaufende Scherstörung, die Zugersee-Störung, getrennt.

3 Die subalpine spätoligozäne Rigi/Rossherg- und die meist flach liegende miozäne Hörnli-Schüttung

3.1 Die Rigi/Rossherg-Schüttung, eine Folge von Ausbrüchen kühl- bis spätkaltzeitlicher alpiner Stauseen

Die spät-oligozäne, vor 30–25 Ma geschüttete Rigi/Rossherg-Molasse, die wenig jüngere, vor 24–22 Ma geschüttete, extrem bunte Höronen-Molasse und die um weitere, 6–10 Ma jüngere karbonatreiche, flach liegende, nur an ihrem Südrand aufgerichtete Hörnli-Molasse, entstanden – im Gegensatz zur herkömmlichen Auffassung – aufgrund ihrer fossilen Floren *nicht als durchgehend* warmzeitliche, fluviale Ablagerung aus den werdenden Bündner Alpen. Vielmehr scheinen die Nagelfluh-Schüttungen *kühl- bis kaltzeitlich* durch Bergstürze, Rutschungen und in höheren Lagen durch Ausbrüche von durch Lawinen und Gletscherzungen gestauten alpinen Seen in ein flaches Schwemmland entstanden zu sein. Die Gerölle sind *nicht dachziegelartig* eingeregelt, wie dies in jedem Flussbett zu beobachten ist, sondern zeigen ein ziemliches Durcheinander in Grösse und Lagerung (vergl. **Abb. 36** und **37** in HANTKE 2019a auf Seite

31 in diesem Heft). Die lehmig-kalkige Matrix hat später zur Zementierung der Gerölle, zu Nagelfluh, geführt. Auch Querschnitt und Ausdehnung der Nagelfluhbänke deutet auf Ausbrüche von Stauseen mit Schüttung von ins Vorland *ausgebrochenen Muren* (**Abb. 6**). Meist zeigen Nagelfluhbänke distal ein abruptes Schüttungsende wie dies auch bei heutigen Muren zu beobachten ist. Doch nicht jede Nagelfluhbank dokumentiert eine Kühlzeit. Liegen keine pflanzenführenden Mergel dazwischen, können in einer Kaltzeit mehrere Stürze niedergefahren sein und wiederholt Seeausbrüche bewirkt haben.

Das Liefergebiet der Rigi/Rossherg-Molasse lag im Grenzbereich von sich nordwärts bewegenden penninischen und ostalpinen Decken Ur-Mittelbündens, im Raum zwischen dem Ur-Schams, dem Ur-Oberhalbstein und dem Ur-Albulatal. Schon beim Vorgleiten der penninischen und ostalpinen Decken wurden diese als markante Täler angelegt. Bedingt durch Klüftung und Durchscherung kam es an den Deckenrändern zu Bergstürzen, in höheren Lagen – in Kaltzeiten – zu Niedergängen von Lawinen. Besonders der Ur-Julia- und der Ur-Albula-Gletscher stauten Ur-Hinterrhein, Ur-Julia und Ur-Albula zu Seen auf. Vermochte das abriegelnde Sturzgut dem wachsenden Wasserdruck nicht mehr standzuhalten, brachen die Seen aus und das aufgestaute Wasser ergoss sich mit dem Riegel, Schutt und Eismassen, schwallartig als Mure ins Vorland, wo sie die Molasse-Nagelfluhen mit nicht eingeregelteten Geröllen aufbauten. Alpine Flüsse vom Ausmass von Hinterhein, Averser Rhein, Julia und Albula hätten nie eine Schüttung der Molasse-Schutfächer vom Ausmass des Rigi/Rossherg- oder des Hörnli-Schutfächers hervorgebracht. Hiezu bedurfte es – neben reichlich Schuttgut – gewaltiger, *momentan wirksamer* Wassermassen, um in den Nagelfluhen wirr gelagerte Gerölle zu schütten (**Abb. 6**).

In wärmeren Zwischenzeiten, in «Ruhezeiten» der Schüttung, wurden auf den Schwemmlandebenen Mergel abgelagert. Auf ihnen konnten nach der Bodenbildung warm-gemässigte Wälder hochkommen (HANTKE 1991, 2019b). Der Abtrag dürfte sich beim damals noch bescheidenen Vorlandrelief mit einem Gefälle von 1 bis maximal 1½° im sich bildenden Murfächer in Grenzen gehalten haben. Längs den Wasseradern kamen in Warmzeiten jeweils Galerie-Wälder hoch. In entfernteren Bereichen stockten lockere Nadelwälder, was Pollen-Abfolgen belegen (HOCHULI 1973, 1978, in FURRER et al. 2002). Dabei liefern fossile Pflanzen Hinweise zum Temperatur-Jahresmittel, da die einzelnen Pflanzenarten und ihre Vergesellschaftungen ihre Wärmeansprüche seither kaum geändert haben.

Ausgangs Miozän wurden die Schüttungen zu den subalpinen Schuppen schräggestellt.

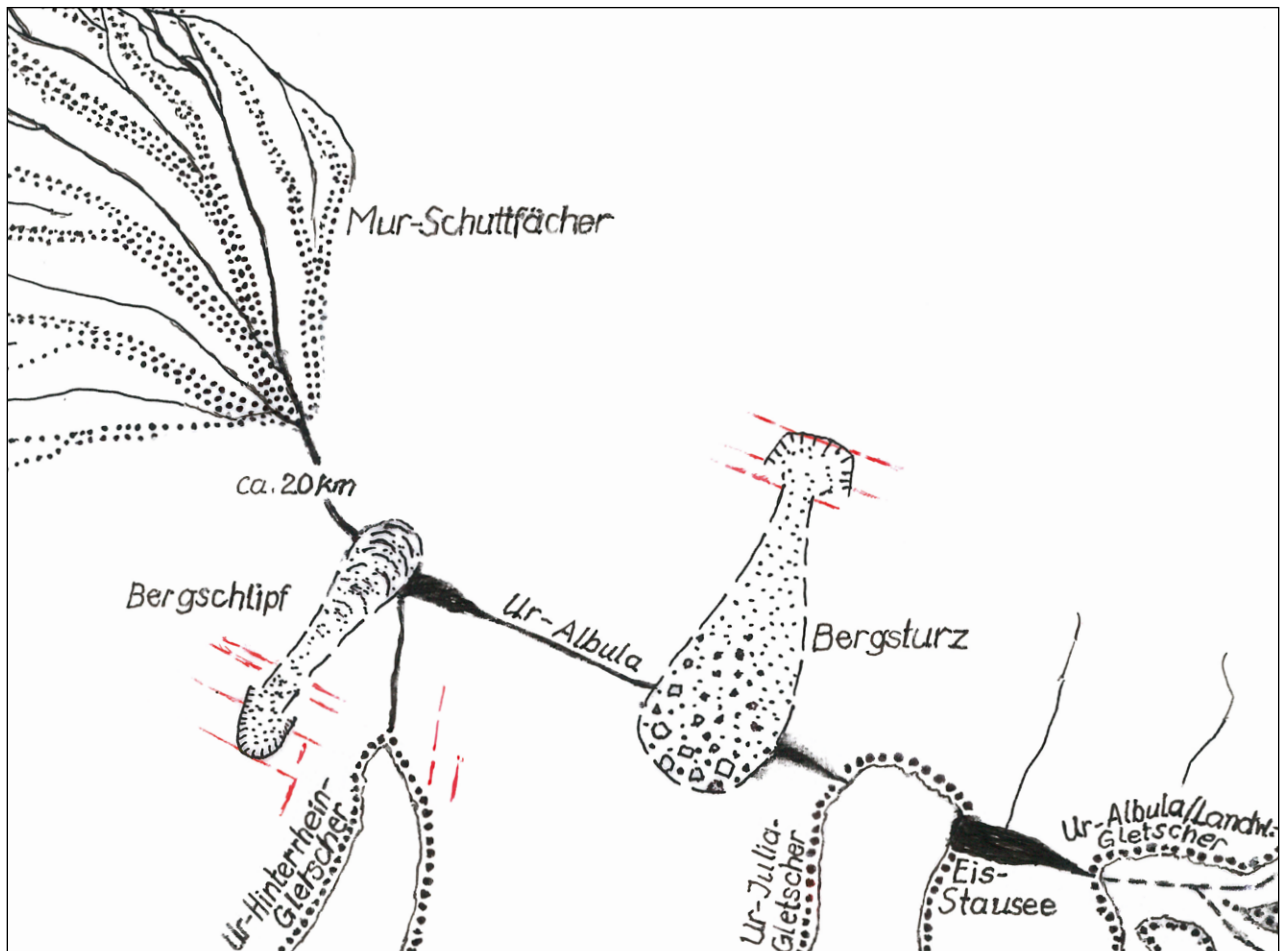


Abb. 6. Ein alpiner Fluss wurde durch Bergstürze, Bergschliffe und Rufen, in Hochlagen auch durch Lawinenkegel und Gletscherzungen zu Seen gestaut, die von Zeit zu Zeit ausbrachen und im Vorland Muren (Punkte) und flache Schwemmfächer schütteten, deren Inhalt zu Nagelfluhen verkittet worden ist. Rote Strichel: Tektonische Störungen.

Im Gebiet der Rossberg-Gipfel ragten schliesslich nur noch die höchsten Nagelfluh-Partien über das Schüttungsniveau empor; im Gebiet Rigi-Scheidegg-Gätterli wurde noch kurzfristig weiter geschüttet. Dann – wohl nach nur kurzer Pause – wurde die Rigi/Rossberg-Schüttung von der *kaltzeitlichen* Höhronen-Schüttung abgelöst (HANTKE 2019b). Diese zeichnet sich durch einen extremen Reichtum an kristallinen Geröllen aus. Wie schon KLEIBER (1938) nach der Durchsicht seiner extrem bunten Geröll-Aufsammlung durch RUDOLF STAUB, seinen Diplomvater, bestätigt bekam, stammen diese aus dem Bernina-Gebiet. Eine derartige Schüttung war nur möglich, wenn die bereits an der Oligozän/Miozän-Wende existierende Talung des Engadins mit Eis vollgelaufen war und die über Ur-Julier und Ur-Septimer übergelaufenen Gletscher mindestens bis tief ins Ur-Oberhalbstein, über den Ur-Albulapass ins Ur-Albulatal und in den kältesten Phasen wohl gar bis ins Alpenvorland vorgestossen waren.

All dies fügt sich gut mit dem Geschehen in der jüngst-oligozänen Comasker Molasse zusammen. Dort liegen um Pedrate-Chiasso in ihr riesige, bis 18 m grosse Bergeller Tonalitblöcke (HANTKE & JÄGER 1982). Diese können nur mit Gletschereis, durch eine ebenfalls tektonisch vorgegebene Paläo-Comersee-Talung, als Mittel- und Obermoräne auf dem Rücken eines spät-oligozänen Ur-Maira/Adda-Gletschers dorthin gelangt sein (JÄGER & HANTKE 1983, 1984). Schon damals reichte ein mächtig Schutt transportierender Paläo-Maira/Adda-Gletscher – allerdings von einem noch höheren Einzugsgebiet, dem eben hochgestauten Bergeller Massiv – fast so weit nach Süden wie 25 Ma später, im spätesten Frühglazial und im ausgehenden Hochglazial der letzten pleistozänen Eiszeit. Damals stirnte der *jungpleistozäne* Maira/Adda-Gletscher wenig ausserhalb von Como.

Auf der Alpen-Nordseite schüttete der Linth/Rhein-Gletscher die Schwelle zwischen Zürcher Obersee und Zürichsee und im Jungpleistozän darüber die Endmoräne von Hurden–Rapperswil (O. HERBORDT 1907). Bei diesem letztkaltzeitlichen Zungenende des eiszeitlichen Linth/Rhein-Gletschers lag die mittlere Jahrestemperatur um 1–2°C, auf Meereshöhe reduziert um 3–4°C. Bei der Schüttung der Rigi/Rossberg-Nagelfluh lag das Jahresmittel nur wenig höher, um 2–3°C, auf Meereshöhe um 4–5°C (HANTKE 2019b). Die Eisränder haben damit wohl auch in den mittelmiozänen Kaltzeiten nur wenige hundert Meter oberhalb von demjenigen zur Zeit des letzteiszeitlichen Hurden-Stadiums gelegen.

Im späten Oligozän dürften die helvetischen Decken, noch unter penninischen Flyschen, penninischen und ostalpinen Decken von Paläo-Mittelbünden liegend, wohl schon zu Falten gestaucht, aber noch kaum zu Decken angelegt gewesen sein, und schon gar nicht als Gebirgsketten emporgeragt haben. Paläo-Mittelbünden lag damals noch deutlich höher. Die *grobgerölligen, kühl- bis spätkaltzeitlichen* Muren der spät-oligozänen, damals noch flach N-fallenden Rigi/Rossberg-Schüttung, setzten so in südlichen Tälern von Paläo-Mittelbünden in rund 1500 m Höhe ein, in den damaligen Kaltzeiten aber schon tief in der Firmregion. Zwischen Liefer- und Ablagerungsgebiet lag noch ein Bereich von gut 70 km, in welchem Gerölle fehlen. Diese Lücke muss nicht durch spätere Erosion entstanden sein. Auf einem bedeutenden Teil dieser Strecke dürfte – bei einem Gefälle über 8–12‰ – wegen der Strömung in der Mure gar kein Geschiebe abgelagert worden sein.

Für die Staustelle und damit für das Zungenende der damaligen Albula- und Julia-Gletscher ist eine Höhenlage um 1500–1800 m anzunehmen, während sich für den heutigen Rhein zwischen Chur und dem Bodensee mit durchschnittlich 1,6‰ ein 8mal geringeres Gefälle ergibt. Für Paläo-Mittelbünden würde dies ein Zungenende des Julia- und Albula-Gletschers auf 1500–1800 m Höhe und eine um mindestens 8°C tiefere mittlere Jahrestemperatur bedeuten. Dies würde auch mit den damaligen, aus den fossilen Floren ermittelten mittleren Jahrestemperaturen für die spät-oligozänen und mittel-miozänen Warmzeiten gut übereinstimmen (HANTKE 2019b).

Dass auch im Vorland von Vogesen und vor allem des Schwarzwaldes im Oligozän und im Miozän Kaltphasen abzeichnen, wurde schon vor 30 Jahren (in HANTKE 1986b) in Erwägung gezogen. Die Schüttungen der älteren und der jüngeren Jura-Nagelfluh wurden schon damals als Schotterfluren im Vorfeld von jung-oligozänen und mittelmiozänen Schwarzwald-Vergletscherungen gedeutet.

3.2 Paläoklima-Aussagen der zwischen Nagelfluhbänken der Rigi/Rossberg-Schüttung gelegenen Pflanzen

Da sich in der Molasse zahllose warmzeitliche Floren eingestellt haben, wurde die Molassezeit stets als *durchgehend warmzeitlich* betrachtet. Dabei ist in Mitteleuropa gegen das Eiszeitalter hin ein etwas geringerer Wärmeinhalt belegt, was sich mit einer Polverschiebung im Laufe vom Oligozän ins Miozän erklären lässt. Dass damals andere Faktoren das Klima bestimmt haben als heute, ist unwahrscheinlich.

Da sich am Rossberg, am Morgartenberg, um Rothenthurm und am Rinderweidhorn – wie an vielen weiteren Stellen in der Unteren und an zahlreichen Fundstätten der Oberen Süßwassermolasse – Mergelagen mit fossilen Pflanzen zwischen Nagelfluh-Abfolgen einstellen, liegt der Gedanke nahe, dass der gewaltige lithologische Unterschied Pflanzenmergel/Nagelfluhen allenfalls das Abbild von Warmzeiten mit dazwischen gelegenen Kühl- bis Kaltzeiten darstellen könnte. Denn das Taumeln der Erdachse (Abschnitt 4.2) erfolgte kaum erst im Eiszeitalter, sondern ereignete sich – aufgrund der eingeschlossenen Pflanzen – bereits zur Molassezeit, also auch schon bei damals noch höheren Mitteltemperaturen. Noch in der Oberen Süßwassermolasse finden sich selbst im zentralen Hörnli-Schuttfächer zwischen den Nagelfluhbänken mit alpinem Geröllinhalt Mergel mit warmzeitlichen Floren (BOLLIGER & EBERHARD (1989), KYBURZ (1968), HANTKE et al. (1967).

Auch am Rande der zwischen Unterer und Oberer Süßwassermolasse gelegenen Oberen Meeresmolasse stellten sich wohl etwas bescheidenere Nagelfluh-Schüttungen auf dem flachen Meeresgrund ein, und auf dem mergeligen Ufergrund – so in der Risi, Wattwil – wuchsen warmzeitliche Floren (HANTKE, OBERLI & GREGOR (2005) und dies mit eher noch etwas wärmeliebenderen Arten als an den noch deutlich jüngeren Öhninger Fundstellen (HANTKE 2019a).

Da Grossreste und Pollen sich stets nur in mächtigeren Mergelabfolgen, nie in mergeligen Schichtfugen oder in Mergelschlitzten in Nagelfluhbänken finden, wurden wärmeliebende Pflanzen bei der kühl- bis kaltzeitlichen Schüttung von Rigi/Rossberg- und Hörnli-Nagelfluhen ausgelöscht, fanden aber in der nächsten Warmzeit von südlicheren, milderer Reliktstandorten wieder ihren Weg zurück.

4 Das Klima-Geschehen im Pliozän, im Eiszeitalter und in der Nacheiszeit

4.1 Präglaziale Florenrelikte im Rigi/Rossberg-Gebiet

Mit dem Ausklingen der Tertiärzeit im jüngsten Miozän, im Pliozän und im Pleistozän wurden in Mittel- und Westeuropa viele wärmeliebende Laubbäume infolge von Klimaschwankungen mit deutlichen Kühl- bis Kaltphasen ausgelöscht. Ihr sukzessives Ausbleiben lässt einzelne quartäre Warmzeiten für bestimmte Gebiete auseinander halten.

In den Kaltzeiten – und solche setzten schon im jüngsten Miozän und im Pliozän ein – vermochten nur kälteresistente alpine Kräuter, Gräser und Riedgräser zu überleben; Gehölze wurden nordalpin ausgelöscht. Ausser im Briener Rothorn-Gebiet suchten HANTKE et al. (2000) auch an der Rigi nach potenziellen Präglazial-Relikten, d.h. nach alpinen Arten, welche oberhalb der Talgletscher die Eiszeiten an sommersüber ausapernden, steilen SE- bis W-Flanken (Abb. 7) überdauern konnten. Diese wechselten in den Warmzeiten auf die steilen, kühleren, vom wieder eingewanderten Wald nicht bedrohten N-, NE- und E-exponierten Schattenlagen. Weniger kälteresistente

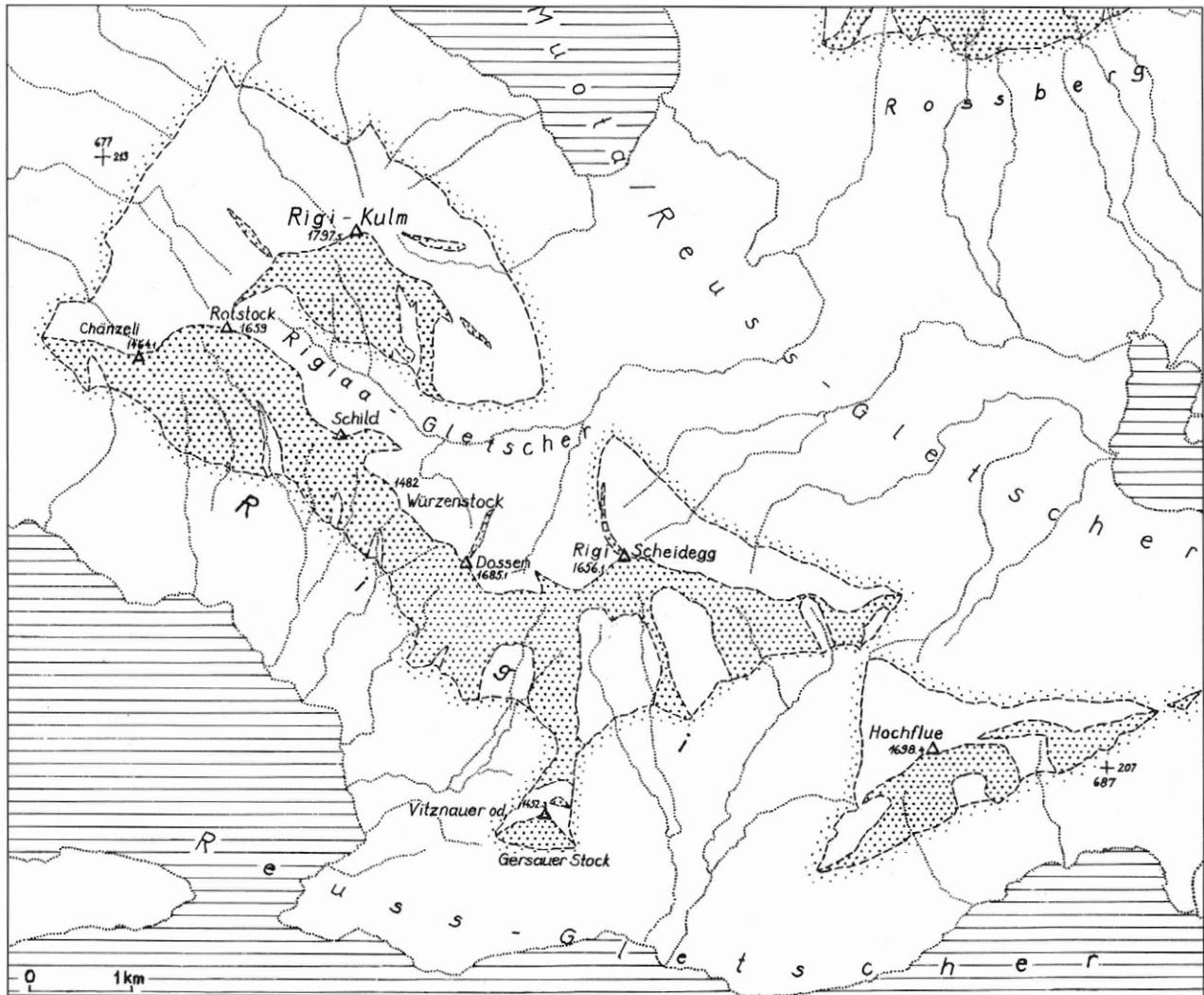





Abb. 7. Sommersüber konnten selbst in den grössten Vergletscherungen an ausapernden Bereichen der Rigi, der Hochflue und am Rossberg Präglazial-Relikte die Eiszeiten überdauern, aus HANTKE, WAGNER, SCHATZ & SEITTER † 2000, ca. 1:70'000.

-  Während aller Kaltzeiten eisfrei gebliebene Areale, auf denen kälteresistente Pflanzen überleben konnten.
-  Firn-Gebiete.
-  Ränder der alpinen Gletscher.

und daher nordalpin ausgelöschte Arten konnten in Warmzeiten von Süden her wieder einwandern. Das Zurückwandern erfolgte in Etappen durch Wind und durch Vögel verfrachtete Samen über die niedrigen Ostalpenpässe Brenner und Reschen sowie Rhone-aufwärts und in der Zentralschweiz neben dem Gotthard aus der Val Formazza über die Passreihe Gries–Grimsel–Brünig (HANTKE 2003, 2019b). Von den 298 über dem Niveau der Talgletscher postulierten Pflanzenarten fallen an der Rigi 169 (= 57%) als präglaziale Relikte in Betracht (HANTKE et al. 2000). Nach der heutigen Flora am Rossberg (GRUNDMANN 2000, 2005) haben auch dort krautige Arten in Kaltzeiten von den kalten Schattenlagen auf steile, im Sommer aperen S- und SW-Expositionen gewechselt und blieben so als Relikte erhalten.

4.2 Die Bildung der Eiszeiten

Bereits 1941 hat MILUTIN MILANKOVITCH auf Änderungen der Erdbahn und die daraus resultierende Sonneneinstrahlung auf die Erde hingewiesen. Die Neigung der Erdachse schwankt mit einem Zyklus von 41'000 Jahren um rund 2°. Zugleich taumelt diese leicht in einem Zyklus von 26'000 Jahren. So ändert sich die elliptische Umlaufbahn der Erde um die Sonne in rund 100'000 Jahren in zweierlei Hinsicht: einerseits von einer kreisähnlichen zu einer stärker elliptischen Form, andererseits dreht sich ihre Achse in der Erdbahnebene. Erdachsentaumeln und Drehung der Ellipsenachsen führen dazu, dass der Tag, an dem die Erde der Sonne am nächsten steht, in einem Zyklus von rund 20'000 Jahren durch das Kalenderjahr wandert. Derzeit ist dies Anfang Januar der Fall, in rund 10'000 Jahren wird es Anfang Juli sein. Basierend auf seinen Berechnungen hatte MILANKOVITCH postuliert, dass die Sonneneinstrahlung im Sommer auf 65°N die Kalt- und Warmzeiten prägt. Diese Theorie wurde zu seinen Lebzeiten abgelehnt. Ab 1970 wurde jedoch klar, dass sie im Wesentlichen mit den Klimaarchiven in den Meeresedimenten und Eisbohrkernen übereinstimmt. Heute ist die MILANKOVITCH-Theorie breit akzeptiert. MILANKOVITCHS Idee, dass die Einstrahlung der Sonne die Eiszeiten bestimmt, war im Prinzip richtig. Schon früh wurde allerdings erkannt, dass es zusätzlich Rückkopplungseffekte im Klimasystem braucht, um die Eiszeiten zu erklären (H. BLATTER 1984).

4.3 Entwicklung einer Gliederung des Eiszeitalters

Da der mehrfache Wechsel von Kalt- und Warmzeiten die eindrucklichste Erscheinung des Quartärs darstellt, ist dieses von jeher zur Gliederung des Eiszeitalters herangezogen worden. Anfangs des letzten Jahrhunderts wurden in Süddeutschland und in der Schweiz vier Kaltzeiten unterschieden: die *Günz-*,

Mindel-, *Riss-* und *Würm-Eiszeit*, in Anlehnung an PENCK & BRÜCKNER (1901–09) benannt nach süddeutschen Flüssen. Morphologisch wären die vier Kaltzeiten als Schotterfluren in verschiedener Höhenlage zu erkennen: als Höherer und Tieferer Deckenschotter sowie als Hoch- und Niederterrassenschotter. Doch zeigte sich bald, dass es mehr Kalt/Warm-Zyklen gegeben haben muss und dass dieses Wechselspiel schon früh eingesetzt hat. So wurde die Zahl der Zyklen zunächst auf *fünf* (mit zwei Kaltphasen in der Riss-Eiszeit), dann auf sechs (mit vorgängiger *Donau-Eiszeit*) und bereits 1956 (SCHAEFER 1956) in der Augsburger Gegend auf *sieben* (mit noch älterer *Biber-Eiszeit*) erhöht, eine Entwicklung, die sich in Süd-Deutschland durch ältere, noch höher gelegene Schotter-Abfolgen anbot. Innerhalb der Biber-Eiszeit unterschied SCHAEFER (1957) *acht* Zyklen; SCHEUENPFLUG (1991) und BECKER-HAUMANN (1997) erkannten darin nur *drei* bzw. *fünf* Kaltphasen.

Die Entdeckung einer *Kleinsäuger-Fauna* mit einem Alter von mindestens 1,8 Ma in alten eiszeitlichen Sedimenten am Irchel oberhalb Dättlikon (BOLLIGER et al. 1996) liessen H.R. GRAF die früher von PENCK & BRÜCKNER in die Günz-Eiszeit gestellten Höheren Deckenschotter am Irchel neu interpretieren. Da zwischen dieser datierten Sedimentschicht und der Molasse noch drei Schotterkörper, eine Warmzeit und eine Erosionsdiskordanz liegen, hat GRAF (in GRAF & MÜLLER 1999) ein Alter von *mindestens* 2 Ma für die ältesten Irchel-Schotter postuliert. Bei Deckenschotter-Studien in der Nordschweiz fand GRAF (1993) weitere Diskordanzen und einen abweichenden Geröllinhalt. Damit rückten auch die Tieferen Deckenschotter – bisher in die Mindel-Eiszeit gestellt – ins *Altpleistozän*.

4.4 Neuer Nomenklatur-Vorschlag für die Kaltzeiten im Mittel- und Jungpleistozän

In der Nordschweiz hat sich GRAF (1993, 1999, 2007, 2009a, b) bei Kartierungsarbeiten um die mittel- und jungpleistozänen Kaltzeiten bemüht. Unterstützt von der Landesgeologie, swisstopo Wabern, führte er (2009b) für Endlagen und Wiedervorstöße neue Namen ein. KELLER & KRAYSS (2010) haben in der Ostschweiz die Themen Stratigraphie, Morphogenese und Nomenklatur des Mittelpleistozäns aufgegriffen. Bei ihnen fehlen Hagenholz-Kaltzeit und das folgende Interglazial; für die Beringen-Kaltzeit verwenden sie die Bezeichnung Koblenz-Glazial. KELLER, KRAYSS und GRAF suchten ihre Deutung mit den Begriffen der Nordischen Vereisung in Einklang zu bringen. PREUSSER, GRAF, KELLER, KRAYSS & SCHLÜCHTER (2011) stellten die mittelpleistozänen Endlagen – Möhlin, Habsburg und Beringen (= Koblenz) – und den letzteiszeitlichen Maximalstand – Birrfeld – der helvetischen Gletscher kartographisch dar. Auch wur-

den die *Warmzeiten: Thalgut (= Holstein) -Interglazial, Meikirch-Interglazialkomplex* und *das Letzte, das Eem-Interglazial*, sowie der Zeitabschnitt vor dem letzteiszeitlichen Maximum, das *Gossau-Interstadial*, einbezogen. Das Altpleistozän verblieb aber weiterhin mit vielen Fragezeichen behaftet.

Jüngst hat KELLER (2014), ein Kenner des Rheingletschergebietes, versucht mit «Erwägungen zur Korrelation mittelpleistozäner Relikte des Rheingletschers mit der Nordschweizer Stratigraphie» das mittel- und spätpleistozäne Geschehen aufzuhellen. Doch die Umlenkung des Alpenrheins von der Donau über den Hochrhein zum Oberrhein ist – wie die Talbildung im Unterseegebiet gezeigt hat (HANTKE 2019a) – tektonisch bedingt. Wohl haben die Gletscher die Täler überprägt; doch bleibt die Gliederung des alpinen Eiszeitalters weiterhin Thema, umso mehr als es – etwa bei den Deckenschottern – um bisher zu unkritisch übernommene Annahmen geht (WAGNER 2014).

Als Gliederung ergibt sich somit (*kursiv: Warmzeiten: Interglaziale und Interstadiale*):

Möhlin-Eiszeit: Vorstoss in existenten Rinnen und Rückschmelzen des helvetischen Eises bis ans Möhlinger Feld.

Interglazial im Areal des mittleren Rhein-Gletschers: Warmzeit mit Ostrya – Hopfenbuche – und Carya – Hickory.

Habsburg-Vorstoss (-Glazial)

Interglazial: Paläoboden, im Aare/Rhone-Gletscherareal: Warmzeit mit Fagus – Buche, Pterocarya – Flügelnuss.

Hagenholz-Eiszeit: Glatttal, Pfyn-Vorstoss: Thurtal.

Interglazial: Krustenkalk und Paläoboden im Klettgau, = Meikirch (Holstein sensu WELTEN)-Interglazial).

Beringen- = Koblenz-Eiszeit: Remigen-, Rüfenach- = Löhningen, Engiwald- sowie spätglazialer Langwiesen-Vorstoss.

Interglazial: Flurlingen-Quelltuff, Paläoboden, Sulperg (Wettingen)-Torf: Gondiswil- = Eem-Warmzeit.

Birrfeld-Eiszeit, Letzte (Würm-) Eiszeit mit – Hombrechtikon-Vorstoss, Untersee-Vorstoss.

Interstadial: Paläoboden in Mülligen, Furt- und Limmattal, Schieferkohle von Gossau ZH.

– Lindmühle- = Otelfingen- = Lottstetten-Vorstoss.

– Birmenstorf- = Wettingen- = Stadel- = Rüdlingen-Vorstoss

– Mellingen- = Killwangen-Würenlos- = Alten-Vorstoss.

– Stetten/Schlieren-, Bremgarten/Zürich- und Honau/Hurden-Vorstoss

4.5 Die alpinen Vereisungen im Vergleich zu jenen im Norden und in den europäischen Mittelgebirgen

Die Vorstellung von PENCK & BRÜCKNER (1901–09), wonach der Schutttransport *am Grund* der Gletscher erfolgt wäre und die von ihnen durchflossenen Täler dabei *mächtig* ausgeräumt, «übertieft» worden wären, fügt sich im alpinen Bereich und ihrem Vorland schlecht mit den Ergebnissen aus Tektonik, Seismik und Gletscherdynamik zusammen. Im Gegensatz zu den nordischen Vereisungen und zu jenen in europäischen Mittelgebirgen erfolgte der Schutttransport in den Alpen, wie schon AGASSIZ (1840) bei seinen Studien am Unteraargletscher erkannt hat, vor allem *auf dem Eis*. Dies zeigen auch heutige, von Mittel- und Obermoräne bedeckte Gletscherzungen in der östlichen Zentralschweiz, etwa auf dem Griessfirn im obersten Schächental.

Damit besteht hinsichtlich der Nordischen Vereisungen und denen der europäischen Mittelgebirge gegenüber den alpinen ein fundamentaler, leider von vielen Forschern kaum beachteter Unterschied. Während die Berge in Skandinavien und in europäischen Mittelgebirgen – Massif Central, Vogesen, Schwarzwald, Böhmer Wald und Riesengebirge – in eiszeitlichen Höchstständen unter einer Eiskalotte lagen, ragten in den Alpen viele Grate über die Eisoberfläche empor. Der vom Frost losgesprengte Schutt fiel auf den Gletscherrand und wurde von den Gletschern als Seiten- und beim Zusammentreffen zweier Eisströme als Mittelmoräne *auf dem Eis* weiter transportiert. In den Nordischen Vereisungen und in denen der europäischen Mittelgebirge konnten sich erst in Abschmelzphasen Randmoränen bilden; sonst waren dort, wie PENCK (1882) und PENCK & BRÜCKNER (1901–09) zutreffend bemerkt haben, Grundmoränen der Lieferant für Endmoränen. Ausgewaschene und gestauchte Grundmoränen lieferten die Gerölle für die *Feinkiesfluren*. Dies traf aber für alpine Vereisungen nicht zu. Nur wenig von dem im Hochgebirge niedergefahrenen Schutt verschwand im Bergschrund und in weiteren Gletscherspalten. In den Alpen lieferten *Obermoränen*, die sich aus abflachenden, zusammengetretenen Mittelmoränen gebildet hatten, das Gut für die *Schotterfluren*.

4.6 Die Bildung der Hochflächen in der Zentralschweiz von Seeboden, Rufiberg und Mostelberg

Die Ansicht, die Hochebene von Seeboden – 600 m oberhalb des Küssnachersees – würde den Rest der *präglazialen Landoberfläche* darstellen (WYNISTORF 1985, 1989), basiert auf der Vorstellung, die alpinen Täler wären jung, hätten sich rasch sukzessive fluvial (HEIM) oder glazial (PENCK & BRÜCKNER) ein-

getieft. Solche Gedanken gehen – unter Verkenning tektonischer Vorzeichnung – auf LUDWIG RÜTIMEYER (1869, 1877) zurück. Schon EDUARD GERBER (1959, 1960) hat eine solche Deutung mit gewaltiger quartärer Eintiefung als unhaltbar zurückgewiesen. Die Talungen wurden auch nach seiner Ansicht tektonisch angelegt.

Die Bildung der Hochfläche auf Seeboden begann schon in frühesten prä-pleistozänen Kaltzeiten als *Karböden* in Gleichgewichtslagen zwischen den Rigi-Gletschern und stauendem Reuss-Eis. Sie erfolgte bei Hochständen in mehreren Kaltzeiten ± auf dem letzteiszeitlichen Niveau. Aus den Kar-Nischen fielen Nagelfluhbank-charakteristische Blöcke auf das Reuss-Eis nieder.

Auch die von einem markanten Moränenwall begrenzten Kar-Hochflächen vom Rufiberg NNE von Arth und vom Mostelberg oberhalb Sattel entstanden schon im frühesten Eiszeitalter durch Auskolken der vom Gnipen bzw. vom Hochstuckli abgeflossenen und vom Reuss-Gletscher gestauten Zuschüssen. Dazwischen bildeten sich noch im letzten Höchststand, in der Birrfeld-Kaltzeit, Mittelmoränen-Ansätze.

4.7 Das eiszeitliche Geschehen im Vierwaldstättersee

In den Becken des Vierwaldstättersees zeichnet sich eine lange erdgeschichtliche Entwicklung ab.

Schon in der ersten Kaltzeit stiess der von Brunnen gegen Westen vorrückende Reuss-Gletscherarm im Seebecken von Gersau auf den am südlichen Bürgenstock sich aufspaltenden und mit einem Arm gegen Osten sich wendenden Buochser Arm des Engelberger Gletschers. Dieser stammte aus vergleichbarem Einzugsgebiet, nahm noch Eis aus den Beckenrieder Alpen und aus dem Choltal, den östlichen Nidwaldner Bergen, auf. Die beiden gegen einander fließenden Eisströme schütteten den Kern der unterseeischen Chindli-Moräne (Abb. 8). Da sich dies in jeder Kaltzeit bei entsprechendem Eisstand stets an der gleichen Stelle wiederholt hatte, wurde die Moräne sukzessive höher geschüttet. Von HEIM (1894a) wurde diese bei der Auslotung des Vierwaldstättersee-Grundes festgestellte Moräne (HÖRNLIMANN 1886) und jene von Vitznau als Rückzugsstadien des Reuss-Gletschers, als *Vitznau-* und *Chindli-Stadium*, gedeutet. Noch über ein Jahrhundert (HEIM 1919 und HANTKE 1958, 1980, 1983) wurden die beiden unterseeischen Wälle als Rückzugsstadien der letzten Kaltzeit gedeutet.

Der vom Schwibogen am Südufer des Gersauer Beckens bogenartig in den See vorspringende Wall verläuft dann geradlinig als mächtiger subaquatischer

Wall mit etwas flacherem Gefälle auf der Ost- und steilerem auf der Westseite zur *Chindli-Moräne* am Nordufer (Abb. 8). HANTKE (1987, 1991) deutete diese zunächst ebenfalls noch als beim letzteiszeitlichen Vorstoss zwischen Reuss- und Chol/Engelberger Eis geschüttete Moräne. Doch diese Lage wurde bei *jedem* Vorstoss und Abschmelzen von den beiden gegenläufigen Eisarmen eingenommen. Der Wall wurde sukzessive höher geschüttet. Das rund 500-mal grössere Volumen als in den zeitlich entsprechenden Reuss-Endmoränen in der Talung Brunnen–Ibach–Goldau mit den Ständen von *Goldau* und *Ibach-Grossstein* weist darauf hin, dass der Wall weder als spätglazialer, kurzfristig aktiver Wiedervorstoss noch als nur letzteiszeitliches Geschehen zu interpretieren ist. Eine derart erhöhte Schuttlieferung, etwa durch Berg- und Felsstürze, müsste sich auch dort abzeichnen. Eine solche Schuttmenge ist nur durch wiederholtes Aufeinandertreffen von zwei Gletschern aus vergleichbaren Einzugsgebieten, eines Reuss- und eines Buochser Arms des Engelberger Gletschers mit Zuschüssen aus den Nidwaldner Bergen zu erklären. Es bildete sich ein eigener Morärentyp, eine *persistente Kollisionsmoräne* (HANTKE 2003, 2007, 2007c; Abb. 8).

Der durch die Talung Brunnen–Ibach–Lauerzersee vorrückende Reuss-Gletscher wurde zunächst bei Ibach vom austretenden Muota-Gletscher gebremst und der Abfluss von Reuss-Eis zum Lauerzersee–Zugersee beeinträchtigt, sodass der Vierwaldstättersee-Arm bei wachsendem Eisstand jenen des Buochser Armes des Engelberger/Chol-Gletschers über der Chindli-Kollisionsmoräne zu überwinden vermochte. Auch dieses Geschehen wiederholte sich bei jeder Kaltzeit.

In der Talung Brunnen–Ibach–Goldau zeichnet sich die der unterseeischen Chindli-Moräne entsprechen-



Abb. 8. Die Bildung der subaquatischen Chindli-Kollisionsmoräne zwischen Reuss-Gletscher und gegen Osten vorrückendem Buochser Arm des Engelberger Gletschers mit Zuschüssen von der Schwalmis–Oberbauen-Kette, nach HANTKE 2003, ca. 1:300'000.

de Moräne im Stand von *Ibach-Grossstein* ab. Sie liegt, wie auch weiter südlich, als Randmoräne auf heute weitgehend abgebauten Kame-Schottern, verschwemmter Obermoräne.

Die Verbindung zwischen den beiden Nasen, die das Gersauer vom Weggiser Becken trennt, war einst ein von Klüften und einer Scherstörung (Abb. 8) durchsetzter Felsriegel. Der Riegel wurde wohl bei jedem Vorstoss vom Eis etwas abgebaut und das Schuttgut nördlich der beiden Nasen in die ebenfalls mächtige subaquatische Vitznauer Moräne im Weggiser Becken integriert. Diese wurde im Osten des Beckens halbkreisförmig in einen Eisstausee geschüttet. Am schattigen Ost-Ende der Bürgenstock-Kette dagegen dürfte sich eine *Kollisionsmoräne* zwischen Reuss-Eis und dem weiter vorgerückten Stansstader Arm des Engelberger Gletschers gebildet haben. Da sich dies bei analogem Eisstand in jeder Kaltzeit stets an derselben Stelle wiederholt hatte, wurde auch die Vitznauer Moräne – mindestens ihr westlicher Teil – ebenfalls zur *persistenten Kollisionsmoräne* (Abb. 9).

Der Stansstader Arm des Engelberger Gletschers drängte das westliche Obwaldner- und das über den Brünig übergeflossene Aare-Eis ins Tal der Kleinen Emme und in die westlichen Täler des Luzerner Mittellandes. Das östliche Obwaldner Eis floss ins Luzerner Becken und ins mittelländische Reusstal, das Stansstader Engelberger Eis gegen Nordosten ins Küssnacher Becken und gegen Osten ins tiefere Weggiser Becken. In den eigentlichen Kaltzeiten stiessen die beiden von Küssnacht weiter vor und



Abb. 9. Die Bildung der subaquatischen Vitznauer Moräne zwischen dem Buochser Arm/Chol/Reuss-Gletscher und dem durch das Weggiser Becken ihm entgegen geflossenen Stansstader Arm des Engelberger/Brünigarm des Aare- und Obwaldner Gletschers. Bei Vitznau, dem heute und wohl schon damals wärmsten Ort am Vierwaldstättersee, vermochte sich im östlichen Weggiser Becken zeitweise noch ein kleiner See zu halten, nach HANTKE 2003, ca. 1:300'000.

vereinigten sich mit dem Muota/Reuss-Eis der Zugersee-Talung.

Noch in den letzten Warmzeiten waren Küssnacher- und Zugersee miteinander verbunden. Seelehme und Schotter wurden bei Eisvorstössen nur bescheiden ausgeräumt. Die Verbindung zwischen den beiden Seen wurde seichter, was KOPP mit Bohrungen belegt und der Autobahnbau bestätigt hat.

Im ausgehenden Hochglazial reichte der Küssnachersee noch 1 km weiter gegen Nordosten. Der Dorf-bach-Fächer von Seeboden hat den NE-Teil – teilweise schon in früheren Warmzeiten – zugeschüttet und das See-Ende gegen SW verlegt.

Der mit dem Muota-Eis vereinigte Ibacher Arm des Reuss-Gletschers stiess im Vitznauer Stand bis Goldau vor (Abb. 9). Die dem Chindli-Wall entsprechende Moräne zeichnet sich in der Talung Brunnen–Ibach–Goldau im Stand von *Ibach-Grossstein* ab, wo sie – wie weiter südlich – als bescheidene Randmoräne über heute grösstenteils abgebauten Kame-Schottern, verschwemmter Obermoräne, liegt.

Die neue Deutung der unterseeischen Moränen wurde in den Erläuterungen zu Blatt Rigi nicht übernommen, doch dann 2008 in einem Prospekt «Geologie und Morphologie bis auf den Seegrund» ergänzt.

An der Strasse Brunnen–Gersau fallen bei der Mündung des Geisstales, 1 km NE der Chindli-Moräne, verkittete, hangparallel einfallende Schotter mit gerundeten Geröllen auf, die wohl ebenfalls dem Chindli-Stand zuzuweisen sind. Der Aufschluss ist wegen der Kleinheit auf Blatt Rigi nicht eingetragen.

Bei weiter angewachsenem Eisstand stiess der Ibacher Arm des Reuss-Gletschers in den Zugersee vor, zugleich wurde das Gleichgewicht zwischen Engelberger/Reuss- und Stansstader Engelberger Gletscher an die NE-Ecke des Bürgenstock verlagert. Dort hat sich zwischen den beiden Gletschern, die schon von BUXTORF (1910K) erkannte persistente Mittelmoräne gebildet, die sich subaquatisch in den Vierwaldstättersee fortsetzt (Abb. 10).

Dass Vitznauer und Chindli-Moräne beim Zurückschmelzen in den Spätphasen der jeweiligen Kaltzeiten wieder als Barrieren wirkten, zeigt sich in der Talung von Goldau. In ihr setzt am Weidstein nördlich des Urmiberg eine linke Randmoräne ein, die dem Vitznauer Stand entspricht und sich mit Granit- und Gneis-Erratikern über Lauerz gegen Goldau verfolgen lässt. Dort fand sie J. GASSER (1987, 2003) als bescheidene Stirn beim Nationalstrassenbau über älterem Goldauer Sturzgut und unter Trümmern von Röten- und Goldauer Bergsturzes.

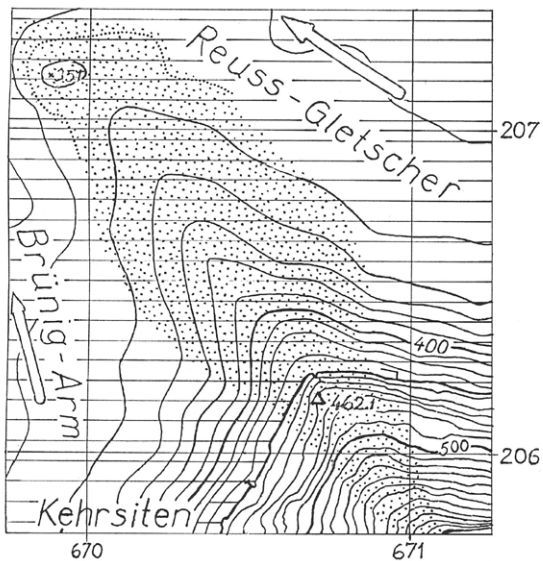


Abb. 10. Die an der NE-Ecke des Bürgenstock entstandene Mittelmoräne zwischen Reuss- und Brünig-Arm des Aare-Gletschers setzt sich in den Vierwaldstättersee fort. Ca. 1:20'000.

Ein nächst jüngerer Stand als die Chindli-Moräne zeichnet sich vom Kloster Ingenbohl über Wilen als unterseeische Moräne *Seewinkel Brunnen* zur Felsenase Treib als bescheidener subaquatischer, von der mündenden Muota teilweise überschütteter Wall ab.

Schutt vom Nietenbach und von Muota-Schmelzwasser verfüllten bei sinkendem Seespiegel die Bucht von Ibach-Brunnen. Anhand von Sedimentationsraten hat HEIM (1894b) versucht, die Dauer seit dem Abschmelzen des Reuss-Eises nach dem Chindli-Stand zu ergründen. Auch das Seebecken von Stans-Buochs wurde in jedem Kalt/Warmzeit-Zyklus von Schmelzwasserschutt des vorstossenden und wieder zurückweichenden Engelberger Gletschers sukzessive zugeschüttet.

Auslotungen im Küssnattersee haben gezeigt, dass sich im Vierwaldstättersee zwei nacheiszeitliche Pegel abzeichnen: ein prähistorischer bei 431 m und ein frühmittelalterlicher um 433–434 m (alter Horizont) = 427,4 bzw. 429,4–430,4 m. In Luzern wurde der Seespiegel in geschichtlicher Zeit lange vom Kriembach-Fächer bestimmt, der als Wildbach die Stadt schon im 13. Jh. gefährdete. Heute liegt der mittlere Wasserstand auf 433,58 m. 1999 erlebte der See mit 434,94 m erneut einen Höchststand.

4.8 Die hochglazialen Kollisionslagen in den Bergen der Vierwaldstättersee-Gegend?

Wenn bei einem bestimmten Eisstand, in der Chindli-Moräne, sich Reuss- und Engelberger Gletscher einander gegenüber standen, stellt sich die Frage, wo sich die beiden Gletscher über dem Gersauer Becken

in den Hochglazialen getroffen haben. WAGNER sieht dieses Zusammentreffen im Norden im Bereich des Gätterli, im Süden am westlichen Niederbauen, bei Brueder-Weid, wo von 1060–950 m eine Moränen-nase vorspringt. Dabei wurde das Gebiet Brandegg-Seelisberg-Seeli-Brennwald noch vom Reuss-Eis überfahren.

Beidseits des Gersauer Beckens liegen zwischen 1200 und 1300 m kristalline Blöcke, NE von Gersau, im Gebiet Gschwend-Gätterli-Nüobermatt, gar so viele, dass sie dort beim Bau des Alpsträsschens für die bergseitige Stützmauer verwendet worden sind. Ein Wall eines älteren, eines Beringen/Koblenz- oder Birrfeld-Standes ist nicht zu erkennen; ebenso liegen Blöcke und Blockschwärme vom Brüggwald gegen Brügg auf einem von Moräne gekrönten Rücken. Wohl stiessen schon damals, wie noch in der Birrfeld-Eiszeit, auch Eiszungen von der Rigi-Scheidegg (1656.1 m) gegen Süden vor und vereinigten sich mit dem Buochser Arm des Engelberger Gletschers und dem Gersauer Arm des Reuss-Gletschers. Die Wälle bei Altstafel sind – wie die schon von KOPP (1962) SSE von Kaltbad erkannten – *spätglaziale* Rigi-Moränen.

Im *Teuffitobel* kartierte BUXTORF (1913K) lokal verkittete, mit Moräne verzahnte Schotter, deren Genese er (1916) offen liess; auch diese sind wohl verschwemmtes Mittelmoränengut.

In der *grössten mittelpleistozänen Kaltzeit* lag die Eisoberfläche und damit auch der Kontakt der gegeneinander gestossenen Eismassen noch um 200 m höher als im letzteiszeitlichen Höchststand, was die Möhlin-eiszeitlichen Kristallin-Erratiker vom Aar-Massiv auf der Ostseite des Gotterli belegen. Ebenso liegt am weniger steil abfallenden Grat zwischen Hochflue und Gätterli sowie zum Ostgrat der Rigi-Scheidegg präletzteiszeitliches Mittelmoränengut (BUXTORF 1913K, HANTKE 2006K).

In der *östlichen Zentralschweiz* hat sich nördlich von Einsiedeln eine Möhlin-eiszeitliche und vor allem Birrfeld-zeitliche Kollisionsmoräne zwischen dem ins Sihltal eingedrungenen Linth/Rhein- und dem Sihl-Gletscher gebildet. Diese ist, wie Bohrungen belegen, mindestens 70 m mächtig. Ebenso drang Linth/Rhein-Eis ins Wägital ein und staute den Trepfen- und den Wägital-Gletscher, was Erratiker von Glarner Verrucano NNE von Rempen bekunden. Wiedervorstösse während des generellen Zurückschmelzens sind durch Stauterrassen belegt (OCHSNER 1969K, 1975).

4.9 Moränen präletzzeitlicher Vergletscherungen im Vierwaldstättersee-Gebiet

Neben dem Moränengut mit Möhlin-eiszeitlich verfrachteten Reuss-Erratikern am Gottertli östlich der Rigi-Hochflue (BUXTORF 1913K, 1916K), liegen präletzzeitliche Moränen auch westlich von Rigi-Kaltbad, NW vom Gätterli und nördlich der Hochflue. Auf J. Kopps Originalkarte zum Blatt Rigi (1962) sind grosse Gebiete oberhalb Seeboden südlich Küssnacht als präletzzeitlich kartiert, da sie vom Reuss-Gletscher verfrachtete Blöcke – Schratenkalk und Kristallin – enthalten. Doch diese wurden – zusammen mit Rigi-Moränengut – später vom Rigi-Eis teilweise wieder talwärts verfrachtet, sodass die Areale als *Lokalmoräne* der Birrfeld- (= Letzte) Kaltzeit zu interpretieren sind.

Südlich des Vierwaldstättersees bildeten sich in der Möhlin-Kaltzeit Rundhöcker auf der Ostseite des Choltal SE von Emmeten: P. 1528, Schönenbüel (1508 m) und Hohbergbüel (1464 m). In der Birrfeld-Kaltzeit mündete der Chol-Gletscher unterhalb Herti, um 1150 m in den Reuss-Gletscher.

4.10 Küssnacht-Schotter

Altersmässig einzuordnende Schotter sind auf Blatt Rigi die Küssnacht-Schotter (HANTKE 2006). Die teilweise verkitteten Schotter – an der Strasse Greppen–Küssnacht, bei der Gesslerburg und im ehemaligen Kieswerk – zeichnen sich durch eingelagerte *Schieferkohlen* aus. Die Schotter ziehen sich vom Rotenhof südlich von Küssnacht über 3 km gegen die Hohle Gasse hin und werden von Moräne und Schwemmgut von Bächen des Hinterberg bedeckt. Die Schotter unter der untersten Kohle belegen einen späten letzteiszeitlichen Vorstoss der Reuss-Gletscherarme. Die Schieferkohlen bekunden, aufgrund ihres Polleninhaltes, vorwiegend Nadelhölzer – *Picea* – Fichte, *Pinus* – Föhre und *Abies* – Tanne, etwas *Alnus* – ? *A. viridis* (CHAIX) DC. – Grün-Erle und *Betula* – Birke (LÜDI 1953) – ein spätes Interstadial vor dem letzteiszeitlichen Vorstoss zum Maximalstand des Reuss-Gletschers.

4.11 «Oberflächendrumlins» (= Mittelmoränen) und Rundhöcker auf Blatt 1151 Rigi

Westlich Weggis-Unterdorf treten quer zu den Nagelfluhrippen der westlichen Rigi verlaufende, langgestreckte, sandige Kieshügel auf (HANTKE 2006), «Oberflächendrumlins» im Sinne HEIMS (1919). WAGNER (2001, 2014) deutet sie richtig als auf Grund gelaufene Mittelmoränen. Ihre Achsen schwenken von NW (Höchi) nach NNE (Pfaffenbächli) um: Sie markieren – wegen des Zuschusses von Stansstader

Engelberger Eis zum Chrüztrichter – das Umbiegen von Teilen des Reuss-Eises vom Weggiser- ins Küssnachter Becken.

Tektonisch verscherte Schichtrippen zwischen Weggis und Greppen liessen auf beiden Seiten des Küssnachtersees SW–NE-orientierte, vom Eis überschlifene Felsbuckel, *Rundhöcker*, entstehen.

4.12 Mittelmoränen auf Seeboden, auf Rufiberg und auf Mostelberg

Auf Seeboden SSE von Küssnacht, auf Rufiberg NNE von Arth und auf Mostel SE von Sattel hat schon KAUFMANN (1872) Moränenwälle erkannt. Diese wurden in der Folge stets als rechtsufrige Seitenmoränen von Reuss-Gletscherarmen gedeutet (BRÜCKNER in PENCK & BRÜCKNER 1909; BUXTORF 1913K, 1916; HANTKE 1958, 1967, 1980, 1983; O. KELLER & E. KRAYSS 1996, in HABBE 1997 und noch vom Redaktor in HANTKE 2006K). Die Seeboden-Moräne ist aber *kein durchhaltender* rechtsufriger Moränen-

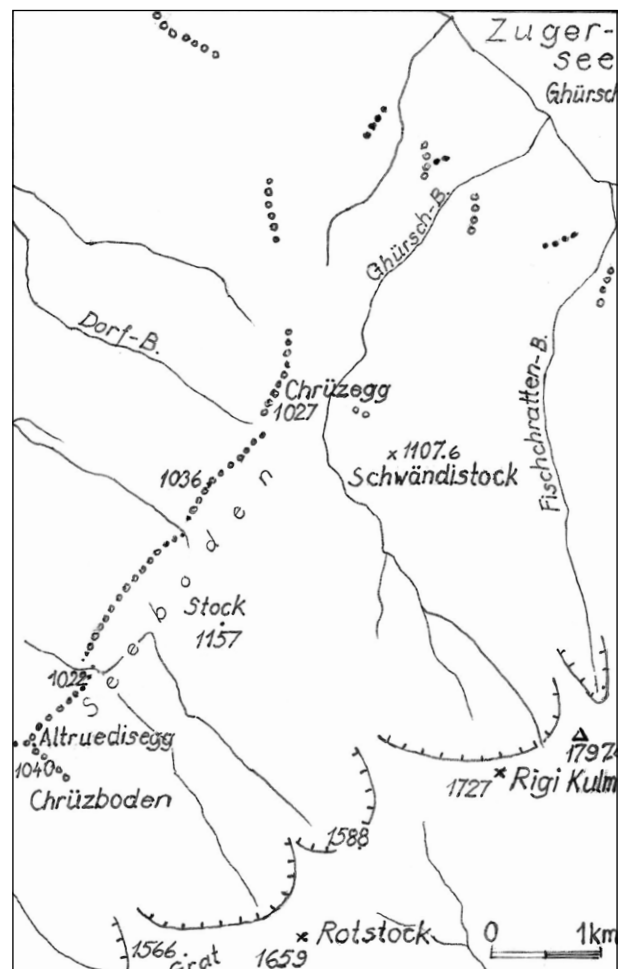


Abb. 11. Die auf Seeboden durch den Küssnachter Reuss-Gletscherarm gestauten Rigi-Kargletscher.

wall des Küssnachter Reuss-Gletscherarmes, sondern setzt sich aus mehreren *Mittelmoränen-Abschnitten* zusammen zwischen dem Küssnachter Arm und den von ihm gestauten Rigi-Gletschern (Abb. 11). Dabei fällt die Oberfläche auf der über 2 km langen Strecke nur von 1040 auf 1020 m ab. Zugleich werden die einzelnen Wallstücke der Seeboden-Moräne mit zunehmender Höhe des Einzugsgebietes der Rigi-Gletscher stufenweise weiter gegen NW gedrängt (Abb. 11–14). Zwischen den Wallstücken blieben kleine Durchlässe offen. Diese sind nicht erst später durch Erosion entstanden, sondern existierten schon bei ihrer Anlage als Austrittsstellen der bescheidenen Schmelzwässer des Rigi-Gletschers. Die bis zum NE-Ende der Chrüzegg NNE von Seeboden verlaufenden Wälle mit Rigi-Nagelfluhblöcken aus Abbruchgebieten mit verschiedenem Geröllinhalt sind als Mittelmoränen zwischen Reuss- und Rigi-Eis zu deuten.

Bei der Darstellung des Quartärs auf Blatt Rigi wurden, vor allem durch Weglassen wesentlicher Teile in den Erläuterungen, wichtige Fakten unterschlagen. Dem Lokal-Eis von Rigi und Rossberg wurde kaum Rechnung getragen. Dabei hat schon KOPP (1947, 1948) an der Rigi und am Rossberg eine Lokalvereisung erkannt. Für Eiszungen von Rigi-Kulm (1797.5 m) bzw. vom Rossberg (1580 m) zum Reuss-Gletscher ergeben sich Gleichgewichtslagen im letzten Höchststand, klimatische Schneegrenzen: in der östlichen Hochflue-Kette, auf Schwand, um 1170 m, im Hinter Boden SE von Altruedisegg-Färberegg um 1080 m, am Rossberg-Westhang um 1070 m. An der Rigi und am Rossberg waren also NW- bis E-Lagen noch weit hinter vergletschert. Aufgrund dieser Gleichgewichtslinie der Lokalgletscher bekunden die auf Blatt Rigi (KOPP 1962) eingezeichneten Endlagen der Gletscherzungen *jüngere, späthochzeitliche Eisstände*, also Wiedervorstöße der Lokalgletscher während des generellen Zurückschmelzens. Die auf Blatt Rigi als Reuss-Randmoränen dargestellten Wälle sind *Mittelmoränen* zwischen dem durch die Küssnachter Talung fließenden Reuss-Eis und Rigi-Gletschern, jene am Rossberg solche zwischen Rossberg- und Muota/Reuss-Eis und jene am Hochstuckli zwischen diesem und Hochstuckli-Eis (Blatt Ibergeregg).

Bei Gleichgewichtslagen von Nähr- : Zehrgebiet von 2 : 1 – wie sich solche bei kleinen Gletschern beobachten lassen – ergeben sich für die Rigi-Gletscher bei Zungenenden in der Nähe des Zugersees Höhen der Gleichgewichtslagen um 1100 m und bei NW- bis NE-Expositionen solche um gut 1000 m. Schon beim Hombrechtikon-Vorstoss stiessen die Rigi-Gletscher so weit vor, was Rigi-Lokalmoränen im unteren Ghürsch- und Fischchrottentobel belegen. Dann, im Hochglazial, wurden die Rigi-Gletscher von dem in



Abb. 12. Birrfeld-zeitliche Mittelmoränen-Abschnitte auf Seeboden ob Küssnacht, Foto: R. Hantke.



Abb. 13. Birrfeld-zeitliche Mittelmoränen-Abschnitte auf Färbersegg ob Küssnacht, Foto: R. Hantke.

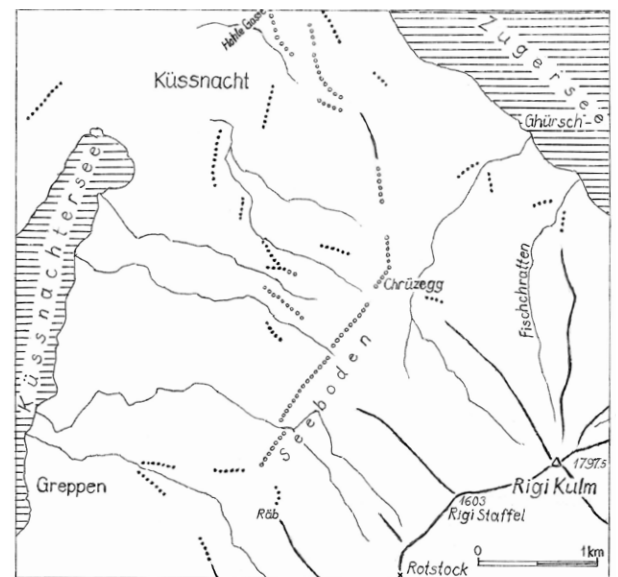


Abb. 14. Birrfeld-zeitliche Mittelmoränen auf Seeboden zwischen Altruedisegg und Chrüzegg, nach HANTKE 2006 ergänzt.

die Becken des Küssnacher- und Zugersees vorge-
stossenen Engelberger/Reuss- bzw. Muota/Reuss-Eis
sukzessive zurückgestaut. Dank der Zuschüsse von
der Rigi, vor allem aber wegen der im Hochglazial
über immer längere Zeit als Schnee gefallenem Nie-
derschläge und dank der vor Ablation schützenden
Obermoräne, konnte der Reuss-Gletscher bis Bir-
menstorf AG vorstossen und dort die *Birrfeld*-Schot-
ter schütten.

Wie die Seeboden-Mittelmoräne sind auch die Glet-
scher vom Rufiberg in der Zugersee-Talung und von
Mostelberg in der Talung Sattel–Rothenthurm als
Birrfeld-zeitliche Mittelmoränen früherer Gleich-
gewichtslagen zwischen Gnipen- bzw. Hochstuckli-
Gletschern und Armen des stauenden Muota/
Reuss-Eises zu deuten, was ihre Lage und Begren-
zung sowie ihre Erratiker belegen (Abb. 15).

Bei Klimaveränderungen reagieren kleine Gletscher
rascher als grosse. Die Rigi-Eiszungen konnten da-
her vor dem Hochglazial in noch eisfreie Räume vor-
stossen, ebenso nach dem Hochglazial, als das ab-
schmelzende Muota/Reuss-Eis das Gelände wieder
frei gab. Gestaut wurden die Rigi-Eiszungen nur im
Hochglazial. Auch Gnipen- und Hochstuckli-Glet-
scher reagierten auf kurze Rückschläge rascher als
der trägere Muota/Reuss-Gletscher. Gnipen- und
Hochstuckli-Gletscher endeten – wegen ihrer weni-
ger hohen Nährgebiete – im entsprechenden Stand im
Rufibach- bzw. im Lauibachtobel. Im letzten Hoch-
glazial vermochten sie den Rufiberg- (Blatt Rigi)
bzw. den Mostelberg-Wall (Blatt Ibergereg) kaum
mehr zu durchbrechen.

Von der Chrüzegg auf Seeboden verlaufen Mittelmo-
ränen zwischen Küssnacher- und Zugersee-Arm des
Reuss-Gletschers hinab gegen die Hohle Gasse NE
von Küssnacht mit Blöcken von Nagelfluh, helveti-
schen Kalken, Aare-Granit, Altdorfer- und Taveyan-
naz-Sandstein (Abb. 14).

Im Küssnacher Arm sind konform zur höchsten Eis-
randlage verlaufende tiefere Wälle, das Stetten- (=
Schlieren-) und das Bremgarten (= Zürich)-Stadi-
um kaum entwickelt, im Gegensatz zum Walchwiler
Berg, wo sich in diesen Stadien deutliche Wäl-
le gebildet haben. Dies hängt einerseits mit dem
steileren Abhang, andererseits mit dem nur wenig
Schutt-Nachschub liefernden Vierwaldstätter-Arm
des Reuss-Gletschers zusammen.

4.13 Mittelmoränen im Muotatal

Im Gegensatz zum mündenden Schächental zeichnet
sich im Muotatal schon am Talausgang, östlich des
Wissfluetobels auf 1100 m, eine Mittelmoräne zwi-
schen Reuss- und Muota-Gletscher ab. Eine weitere
Mittelmoräne des Birrfeld-Maximalstandes ist östlich
des Stoos auf Blüemlisegg und – ihre Fortsetzung –
nördlich des Stoosbaches mit P. 1186 (fehlt auf Blatt
Muotathal, HANTKE 2013) zwischen Muota-Gletscher
und Eis von der Chlingenstock–Fronalpstock-Kette zu
erkennen (HANTKE 2003b, 2013; Abb. 16).

Eine markante jüngere Randmoräne, wohl das Brem-
garten-Stadium, verläuft von ausgangs Hürital über
Äbnet zur Frutt. Auf Hellweid wird diese zur Mittel-
moräne zwischen Hüri/Muota-Gletscher und Eis von

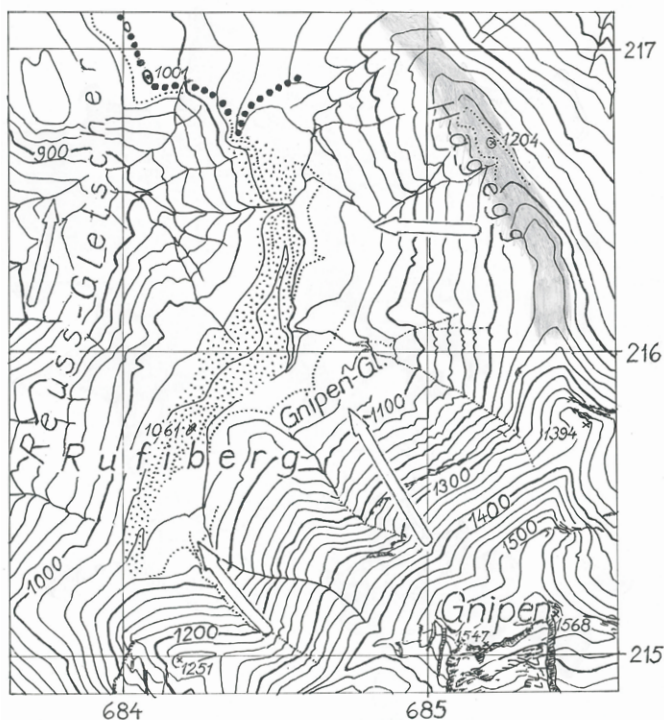


Abb. 15. Die Möhlin-eiszeitliche Mittelmoräne zwischen dem Ober Rossberg-Gletscher und dem Zugersee-Arm des Muota/Reuss-Gletschers auf Hagegg (grau) – Möhlin-zeitliche Mittelmoräne zwischen Zugersee-Arm und Hüri/Ägeri-Arm des Muota/Reuss-Gletschers (grau) und die Birrfeld-zeitliche Mittelmoräne zwischen diesem und dem Gnipen-Gletscher (fein-punktiert), Rand des Gnipen-Gletschers und Fortsetzung der Reuss-Moräne gegen NW (mit dicken Punkten und Pfeilen).

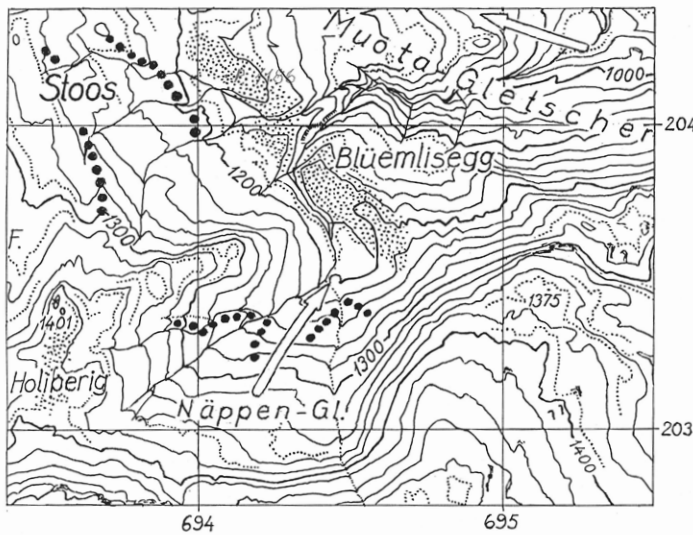


Abb. 16. Die Blüemlisegg-Mittelmoräne und ihre nordwestliche Fortsetzung mit P. 1186 zwischen Muota-Gletscher und Gletscher von der Fronalstock-Chlingenstock-Kette und auf Holberig eine solche zwischen Fronalp- und Näppen-Gletscher von der Chlingenstock-Kette.

der Blüemberg–Wiss Nollen-Kette (HANTKE 2003b, Abb. 5.3, 2013), einem Grindsblacken-Gletscher. Auch südlich des First fehlt auf HANTKE (2013) südlich Sperlenweid eine Mittelmoräne zwischen dem Starzlen-Gletscher und einem Zuschuss von der First-Kette, vom Wilde Maa.

Im Bisistal hat sich auf Dürenboden eine Mittelmoräne zwischen Muota- und Robutzli-Gletscher gebildet. Eine weitere Mittelmoräne verläuft zwischen Ruosalper- und Gwalpeten-Gletscher: sie fällt von Gitschboden über Eggen gegen Tröli ab. Konform dazu verläuft im Waldiegggen eine weitere zum Saliboden.

4.14 Der Talkessel von Schwyz und der Zuschuss von Mythen-Eis

Im Talkessel von Schwyz wirkte der gegen Norden über Rothenthurm vorgestossene Arm des Muota/Reuss-Gletschers stauend auf das von den Mythen zufließende Eis. Ebenso staute das aus der Zürichsee-Talung gegen Einsiedeln vorgestossene Linth-Eis, sodass das Mythen-Eis mit seinen Sturzblöcken nicht abfließen konnte. Die Blöcke blieben im östlichen Talkessel von Schwyz auf bewegungsarmem Eis liegen. Da auch im Alptal Eis mit niedergebrochenem Sturzgut nördlich Einsiedeln durch den Linth/Rhein-Gletscher gestaut wurde, konnte dieses in den Hochglazialen ebenfalls nicht abfließen, und da sich dies – wie im Talkessel von Schwyz – in jeder Kaltzeit wiederholt hat, lässt sich der Abtrag der Mythen anhand dieser Blöcke seit der Platznahme einigermaßen abschätzen. Wohl wurde seither am Wahrzeichen von Schwyz – wie an den Sturzblöcken – Karbonat gelöst. Doch hielt sich dies – selbst über längere Zeiträume – im schutt- und in Warmzeiten vegetationsbedeckten Gebiet in Grenzen. Der Schuttmantel hat wohl eine beachtliche Mächtigkeit erreicht; doch in den Mythen blieb von der Klippen-Decke noch weit über 90 % erhalten (HANTKE 2011).

Im frühesten Spätglazial erreichten W-exponierte Eiszungen von den Mythen eben noch den Goldauer Arm des Muota/Reuss-Gletschers.

4.15 Mittelpleistozäne Ablagerungen im Gebiet nördlich des Rossberg: Brandflue-«Schotter»

3 km nördlich des Gnipen, vom Grossmattstollen gegen Brandflue, finden sich verkittete, 30 m mächtige Ablagerungen. Diese werden gegen oben gröber, enthalten bis über 1 m³ grosse Blöcke von Bunter Nagelfluh, Flysch-Gesteinen und Kalken der helvetischen Kalkalpen (D. KÄLIN in HANTKE 2006, Fig. 6). Der Ausdruck «Schotter» ist daher mit Vorsicht aufzunehmen; es ist ausgeschmolzene Obermoräne eines im Mittelpleistozän vorgestossenen Gletschers. OTTIGER et al. (1990K) haben die östlich des Grossmattstollen um 1150 m einsetzenden Brandflue-«Schotter» als Moräne des «Riss-Maximums» (= Möhlin-Eiszeit) kartiert. Die darüber liegende Moräne, die gegen Norden in den Wall des Nollen ausläuft, ist als *Mittelmoräne* zwischen Zugersee-Arm des Muota/Reuss-Gletschers und von dessen Ägeri-Arm gestautem Hüri-Gletscher zu deuten. Die Moränen beidseits dieses Walles sind Randmoränen, jene gegen Bernerener eine solche des Hüri-Gletschers, jene mit P. 998 eine des Zugersee-Armes des Muota/Reuss-Gletschers. Da beide gut 70 m über der höchsten letzteiszeitlichen liegen, sind sie älter, wohl solche der Beringen/Koblenz-Kaltzeit (GRAF 2009b, KELLER, KRAYSS 2010).

ROMAN FREI (1912, 1914) hat die Brandflue-«Schotter» als Schüttung des Reuss-Gletschers betrachtet, doch auch die Möglichkeit einer Zugehörigkeit zu den Deckenschottern erwogen. Mehrere Fakten lassen die Interpretation als Deckenschotter als plausibler erscheinen: Die Schotter erinnern an den Strang der Albis–Ütliberg-Deckenschotter (GUBLER 2009K) und erwecken den Eindruck einer durch Schmelz-

wässer verfrachteten, zementierten Moräne zwischen Zugersee- und Ägerisee-Arm des Muota/Reuss-Gletschers. Das linienförmige Auftreten von (Decken-) Schotter innerhalb des Eisstromnetzes deutet darauf hin, dass die Gletscher in tektonisch vorgezeichneten Tälern flossen und vom Eisrand aus verschwemmtes Mittel- und Obermoränengut als *Kame-Schotter* geschüttet wurde. Auch das starke Gefälle ist typisch für Deckenschotter auf der *Eisoberfläche* eines zungenwärts schwächer werdenden Gletschers, und *nicht für extramoränische Schotterfluren*. Dies trifft auch für die Albis-Ütliberg-Deckenschotter zu. Diese sind mit ihren zum Teil recht grossen Geschieben zu interpretieren als von randlichen Schmelzwässern aus Obermoräne früherer Muota/Reuss-Gletscher an stauendes Linth/Rhein-Eis in der Zürichsee-Talung geschüttet (GRAF in BOLLIGER ed. 1999). Damit wird das Ausmass der Erosion plausibel: für kurzfristige Schmelzwässer im Lockergut gewaltig, für Fließgewässer im Molassefels um mindestens eine Zehnerpotenz geringer.

Das Eintiefen durch vorstossende Gletscher war also auch in den Becken des Vierwaldstättersees tektonisch vorgezeichnet und ist seismisch belegt.

4.16 *Früheste, durch vom Eis verfrachtete Erratiker belegte Felsstürze am Rossberg*

Vor der Aufrichtung der Rigi/Rossberg-Schuppe konnten weder an der Rigi, noch am Rossberg Bergstürze niederfahren; das Relief fehlte. Die im NW gelegene aufgerichtete Molasse brach am SW-Rand als Steilzone auf und wurde von der subalpinen Rigi/Rossberg-Schuppe angefahren und darunter gepresst (Abb. 1, Profil 3 und 4).

Seit dem Emporstau der Rigi/Rossberg-Schuppe vor 5 Ma ereigneten sich an der Rigi und am Rossberg, wohl über das Pliozän und in Warmzeiten des Eiszeitalters bei fehlendem Permafrost, Bergschliffe und in Kühl- und Kaltzeiten Felsstürze auf in tektonisch angelegten Tälern fließende Gletscher. Sturzblöcke von Rossberg-Nagelfluh, deren Geröllinhalt aus Mittelbünden stammt, finden sich bis in die mächtigen Höheren Deckenschotter am Heitersberg zwischen unterem Reuss- und Limmattal, und ältere Moräne mit «günz- und mindelzeitlichen Relikten» (JÄCKLI 1966) in frühest- und früh-glazialen Lockergesteinen (Abb. 17). Da WAGNER (2005) die Deckenschotter als Ausschwemmung von auf Eis verfrachteten, auf Grund gelaufenen Mittelmoränen deutet, steht die Natur der Mittelmoränen und jene der Deckenschotter, mit WAGNER (2014) erneut zur Diskussion.

Der am westlichen Rossberg niedergebrosene Molasseschutt folgte in der Zugersee-Talung dem rech-

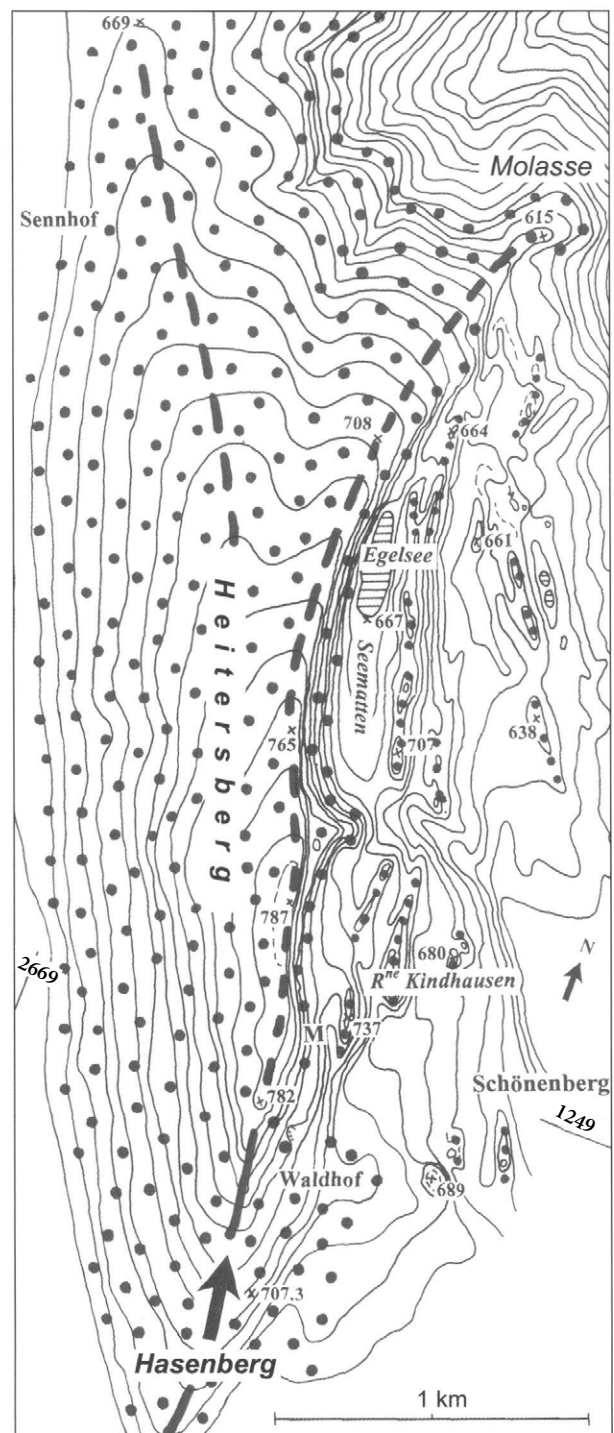


Abb. 17. Den Heitersberg mit aufgesetztem, bis 100 m mächtigem Lockergestein deutet G. WAGNER als riesige Mittelmoräne des Muota/Reuss- und des Linth/Rhein-Gletschers aus frühesten Eiszeiten. Die rechte Flanke ist als Sackung niedergebrosen. Der vom Hasenberg ansteigende Sporn, die W-Abdachung und in der Fließrichtung vorgestreckte «Finger» sind noch intakt. Die Molasse steht im Norden um 580 m, im Süden bei P. 782 auf 740 m an. Da der E-Abhang des Heitersberg durch mehrere Sackungen tiefer gesetzt worden ist, sind dort Mittelmoränen allerdings mit Vorsicht aufzunehmen. Aus WAGNER 2005, Abb. 7.

ten Rand des Muota/Reuss-Gletschers. Dieser vereinigte sich bei Baar mit dem Ägeri-Arm und einem von Sihlbrugg gegen Nordwesten, ins Knonauer Amt, vorgestossenen Linth-Eislappen. Der Linth/Muota/Reuss-Gletscher floss weiter durchs Knonauer Amt, der Muota/Reuss-Gletscher durchs Reusstal und der Stansstader Engelberger/Reuss-Gletscher durch die NNW-orientierten Mittelland-Täler. Der Linth/Muota/Reuss-Gletscher mit ausbleibenden und wieder einsetzenden Mittelmoränen zwischen den Eisströmen fuhr mit rechtsufrigem Schuttgut am Heiters-

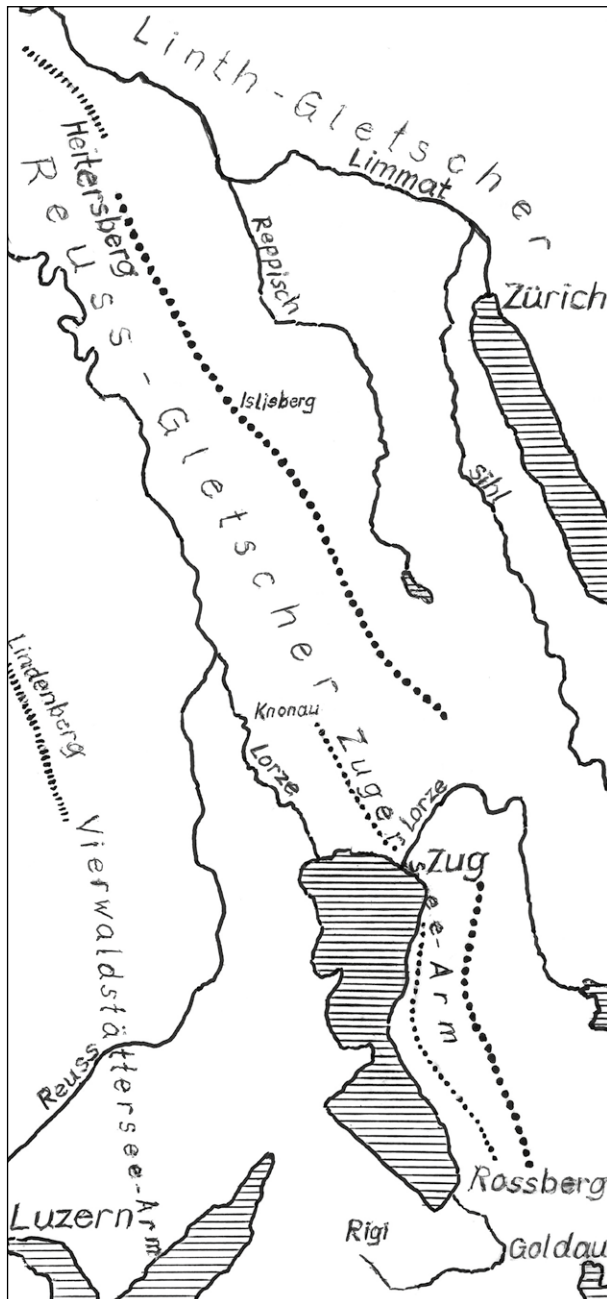


Abb. 18. Der eiszeitliche «Wanderweg» der Sturzblöcke von Rossberg-Nagelfluh ins Mittelland am rechten Rand des Zugersee-Armes des Muota/Reuss-Gletschers zum Heitersberg: punktiert, Mittelmoräne auf Heitersberg und Lindenberg: quergestellte Strichel, ca. 1: 400'000.

berg auf Grund (**Abb. 17 und 18**). Da in den letzten Phasen der alpinen Orogenese auch im Mittelland Talanlagen gestaltet wurden, erging es Ur-Reuss- und Ur-Limmattal, in denen Ur-Muota/Reuss- und Ur-Linth/Rhein-Gletscher schon in frühesten Kaltzeiten flossen, kaum anders; die zwischen den beiden sich bildende Mittelmoräne fuhr am Heitersberg auf Grund.

Findlinge von Rossberg-Nagelfluh – Bohnen- und Haldenacker-Stein – liegen in einer die Deckenschotter bedeckenden vorletzteiszeitlichen Moräne (Habsburg-Eiszeit). Diese erreichte bis 100 m Mächtigkeit (JÄCKLI 1966: 11). Dabei ist aber nicht belegt, ob «darin untergeordnet auch noch ältere Moränenrelikte (Günz oder Mindel) einbezogen worden sind». JÄCKLI hat wohl so bereits mit dem Gedanken von Mittelmoränen gespielt. Diese dürften in Eishochständen bei ähnlichem Relief und Klima schon in früheren Kaltzeiten einen vergleichbaren Verlauf genommen haben. Auch BUGMANN (1958, 21) betont die Schwierigkeit der Abgrenzung liegender Schotter von hangender Moräne, da kein interglazialer Boden und auch kein Hiatus festzustellen sei.

Rosshorn-Findlinge sind auch von Islisberg (JÄCKLI 1966K) und aus dem Knonauer Amt bekannt. Zusammen mit solchen vom Walchwiler- und vom Zugerberg wurden diese zwischen dem letzteiszeitlichen Höchststand vor 23'000 a (Birrfeld-Eiszeit) und der Rückzugslage von Knonau vor rund 19'000 a (Hurden-Vorstoss) verfrachtet (HANTKE 1980) und belegen letztkaltzeitliche Felsstürze am Rossberg.

In den Höchstständen der grössten mittelpleistozänen, der Möhlin-Kaltzeit, reichte das Muota/Reuss-Eis am westlichen Rossberg, am Gnipen (1568 m), bis gegen 1300 m hinauf. Ein späterer mittelpleistozäner Stand, wohl in der Beringen/Koblenz-Kaltzeit, zeichnet sich NW der Rigi am Schwändistock und südlich des Wildspitz auf 1234 m ab (die beiden fehlen auf HANTKE 2006).

In der letzten, der Birrfeld-Kaltzeit, reichte das Muota/Reuss-Eis am Rossberg bis gegen 1100 m und im Knonauer Stand noch bis auf 800 m, also bis 250 m (Möhlin-Kaltzeit), 350 m (Beringen/Koblenz-Kaltzeit), 450 m (Birrfeld-Kaltzeit), bzw. 750 m (Knonauer Stand) unter den Gipfelgrat. Damit sind für Kaltzeiten innerhalb von insgesamt über 2½ Ma, Felsstürze am Rossberg mindestens für die letzte Ma sehr wahrscheinlich. Die Niedergänge erfolgten jeweils meist im frühen und späten Hochglazial bei wachsender Differenz zwischen Abbruchstelle und Muota/Reuss-Eis, auf dessen Rücken beachtliche Blöcke ins Freiamt und ins Knonauer Amt verfrachtet wurden; jener östlich der Station Knonau ist 8 m lang und 4,5 m hoch (HANTKE 1980). Solche Blöcke

stürzten wohl auf Firn; bei Sturz auf Fels wären sie in Stücke zerbrochen.

Trotz tektonischer Vorzeichnung, oft mit Geröll-durchschneider Klüftung, kam es seit der Aufrichtung der Rossberg-Molasse in Kaltzeiten kaum zu grösseren Bergschlipfen. Erst in Schlussphasen, am Ende der letzten Eiszeit, als das Muota/Reuss-Eis mindestens bis Goldau zurückgeschmolzen war, haben sich bei schwindendem Dauerfrost je nach Abbruchstelle bis 1000 m hohe Sturzbahnen gebildet, und durch Abgleiten auf Mergel konnten sich bei Starkregen Bergschlipfe ereignen.

Das interglaziale Geschehen um Goldau ist noch weitgehend unbekannt. GASSER (2003) erwähnt unter Goldauer Bergsturzgut einen älteren spätglazialen Vorstoss des Reuss-Gletschers mit Sturzgut, wohl aus Abschmelzphasen der letzten Eiszeit. NEAT-Bohrungen brachten Hinweise auf einen Kalt/Warmzeit-Wechsel, aber nicht auf älteres, durch Moräne getrenntes Sturzgut.

4.17 Grosse Reuss-Erratiker im Rigi-Gebiet

Neben dem grössten, einem Kieselkalk-Block von 200 m³ im obersten Ghürschobel SE von Küssnacht (HANTKE 2006: 41) und einem 50 m³ grossen Aare-Granit am NE-Ende der Seeboden-Moräne, der zu Ehren von Albert Heim als Albert-Heim-Stein bezeichnet wurde, erwähnt TH. REICHLIN (2006 schr. Mitt.) den Dächli-Stein (Koord. 2681.875/1211.075/860), ebenfalls ein Aare-Granit. Mit 70 m³ soll dieser der grösste in der Gemeinde Arth sein; er ist – zusammen mit kleineren Blöcken – im Bremgarten (= Zürich) -Stadium abgelagert worden.

Der Einwand, Reuss-Erratiker wären an der Rigi auch noch höher anzutreffen als die Seeboden-Moräne, trifft zu; zur Zeit der grössten Vergletscherungen wurde das Rigi-Eis vom mächtigeren Reuss-Gletscher noch höher hinauf zurückgedrängt. Umgekehrt drangen die Rigi-Gletscher *vor* und *nach* dem letzten Maximalstand in zuvor und danach vom Reuss-Gletscher eingenommene Räume vor.

4.18 Lauerzer- und Zugersee im letzten Interglazial und in der Jetztzeit

Noch im letzten Interglazial und im frühen Spätglazial waren Küssnachter- und Zugersee miteinander verbunden, was J. KOPP mit Bohrungen belegt und der Autobahnbau bestätigt hat. Im ausgehenden Spätglazial reichte der Küssnachtersee noch 1 km weiter gegen Nordosten. Der Dorfbach-Fächer von Seeboden hat den nordöstlichsten Teil – teilweise schon in früheren Warmzeiten – zugeschüttet und das See-Ende gegen SW verlagert.

Auch der Lauerzersee hing noch im letzten Interglazial über Seewen mit dem Vierwaldstättersee zusammen. Mit dem Zurückschmelzen des Muota/Reuss-Gletschers bildete sich noch im letzten Spätglazial in den weichen Stad-Schiefern, in der Anden-Formation und dem subalpinen Randflysch östlich der Endlage von Goldau ein Ur-Lauerzersee zwischen Rossberg-Molasse und der ebenfalls SE-einfallenden Kreide/Eozän-Platte des Urmiberg. Der See war vor der Abtrennung durch die Murfächer von Siechen-, Nieten- und Ibach noch doppelt so gross. Durch den Schuttfächer der Steiner Aa wurde sein Nordufer 2 km südwärts verlagert. Mit dem Eintiefen der Seeweren ins Lockergut von Siechen- und Nietenbach fiel der Spiegel auf 460 m, mit der Tieferlegung von 1668 auf 451 m.

Vor dem Goldauer Bergsturz von 1806 hat der See noch 1 km weiter gegen Nordwesten gereicht, also erneut $\frac{1}{2}$ an Fläche eingebüsst (ZAY 1807). Seit der topographischen Aufnahme 1892 wurde er durch mündende Bäche, vor allem durch die Steiner Aa, bei einem Spiegel auf 447 m auf 3 km² reduziert. In der NW-Bucht treiben sapropelischer Grund mit Seerosen-Beständen die Verlandung voran. Wohl flossen Muota/Reuss-Gletscher und ihre Schmelzwässer durch diese Talung. Doch die Muota verlief, infolge des Vorschubes der Silberer-Teildecke von der Chaiserstock-Kette als Urmiberg-Schuppe an den Alpenrand, in tektonisch vorgezeichneter Schlucht und mündete in die Ibacher Bucht des Vierwaldstättersees. Nach Bohrungen erreicht der Felsgrund in Oberarth unter dem 1806er Bergsturz und dem Oberarther Bergschlipf die höchste Höhe; das Wasser floss daher zum Lauerzersee (Th. Reichlin mdl. Mitt. 2013).

Dass schon nach der Aufrichtung der Rossberg-Molasse Berg- und Felsstürze niedergegangen sind, ist aufgrund der intensiven Klüftung an den Flanken (HANTKE & SCHEIDEGGER 2003) wahrscheinlich.

Der Südteil des *Zugersees* ist östlich der Halbinsel Chiemen durch eine Rinne mit dem gegen Norden seichter werdenden See verbunden. Der von Klüften durchsetzte Molasseriegel bei Cham (HANTKE & SCHEIDEGGER 2003) liess den Spiegel abfallen. KELTS (1978) hat vor Immensee und vor St. Adrian subaquatische Rutschungen erkannt. Diese waren allenfalls durch Erdbeben ausgelöst worden. Da der Fels bis 25 m tiefer liegt, liessen die seismischen Resultate KELTS annehmen, das Becken wäre *prä-letzt-eiszeitlich* «ausgeschürft» worden. Das Becken ist aber weit älter; es entstand schon bei der Aufrichtung der Molasseplatten durch ihr Auseinanderrücken an Scherstörungen. In den Kaltzeiten wurde das Becken vom jeweils vorgestossenen Muota/Reuss-Gletscher überprägt.

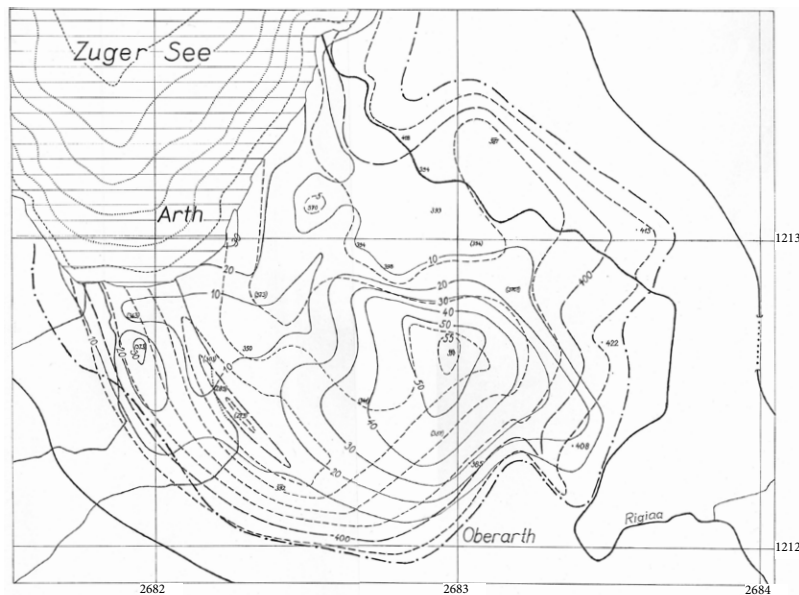


Abb. 19. Das Becken am Süd-Ende des Zugersees von Oberarth–Arth nach Bohrresultaten von JÄCKLI (1983, 1986), Geoelektrik und Seismik von MEYER et al. und geologischen Untersuchungen von KORNER (1995) 1:25'000.

- a Das Felsrelief im Becken von Oberarth–Arth. Zwischen Felsoberfläche und Schottern liegen Seesedimente und Moräne.
 - b Die grundwasserführenden Schotter haben im Becken von Oberarth–Arth den Felsgrund erreicht.
- Äussere Begrenzung des Grundwasser-Gebietes nach JÄCKLI
 () Lage geoelektrischer Tiefensondierungen mit ± verlässlichen Felstiefen
 ---- Höhenlinien der vermuteten Molasse-Oberfläche (Äquidistanz 20 m)
 — Tiefenlinien des Grundwasser führenden Schotters (Äquidistanz 10 m)

Am SW-Ende des Sees haben Bohrungen (JÄCKLI 1983, 1986), Geoelektrik und Seismik (MEYER, RÜEGG & FREI in KORNER 1995) gezeigt, dass bis in 66 m Tiefe ein mit sandigen Schottern gefülltes, durch Schwellen getrenntes Becken im Gebiet *Oberarth–Arth* vorliegt (Abb. 19). Schmelzwasserschutt des Goldauer Stadiums des Muota/Reuss-Gletschers hat das Seeufer nordwärts verschoben.

Im frühen Spätglazial reichte der Zugersee noch bis Oberarth. KOPPS (1950) äusserster Seestand NW von Immensee entspricht einem Spiegel um 450 m, dem Rotkreuz–Holzhäusern (= Hurden)-Stadium. Noch bei einem Pegel um 440 m war der See um 1/3 grösser. Die von KOPP skizzierten früheren Strandlinien lagen im Magdalénien, um 12'000 v. Chr., bei einem Stand auf 429–430 m. In Arth zeichnet sich eine 6 m hohe, frühmesolithische Terrasse ab. Uferböschungen hiezu hat KOPP bei Rütli und beim Kloster, rechtsseitig bei Sagenmatt SE von Walchwil und St. Adrian, linksseitig bei Fischratten, südlich und NW von Immensee erkannt. Um 8000 v. Chr. lag der Seespiegel um 420 m; BÜTLER (1941) hat für das Mesolithikum einen Spiegel von 418 m angegeben. Im Neolithikum lag dieser zuerst um 417–415, dann auf 414 m. Für die frühe bis mittlere Bronzezeit hat BÜTLER über 200 Jahre einen Spiegel um 411 m angenommen, was Weisstannen–Strünke bei Cham in 411,3–412 m und Funde im Pfahlbau von «Sumpf» östlich Cham belegen (SPECK 1955). Dass der See ohne Abfluss gewesen wäre, die Verdunstung den Zufluss übertroffen hätte, hat schon LÜDI (1935) verneint. Nach den prähistorischen Ständen erfolgten 1442 und 1673 Tieferlegungen der Lorze um 1,6 m. 1999 erreichte der See (mittlerer Pegel 413,59 m) mit 414,48 m einen Jahrhundert-Höchststand.

4.19 Prähistorische Erdbeben im Gebiet Vierwaldstättersee–Zugersee

Jüngst sind im Gebiet Vierwaldstättersee–Zugersee Arbeiten zu Seesedimenten und ihre Aussage für das prähistorische Erdbeben geschehen (SCHNELLMANN et al. 2002, 2005), THURO et al. 2005, BUSSMANN 2006) verfasst worden. Diese rücken das Geschehen in ein ergänzendes Licht: Im aktiven Erdbebengebiet des Vierwaldstättersees haben SCHNELLMANN et al. vier durch Erdbeben ausgelöste Massenbewegungen erkannt. Sie haben sich am Seegrund mit Chrüztrichter-, Zinnen-, Weggis- und St. Niklausen-Rutsch über 0,25–6,5 km² ausgedehnt. Aus seismisch ermittelten *subaquatischen Rutschungen* schloss SCHNELLMANN (2004) auf *prähistorische Erdbeben* mit Magnitude über 6. Mit 8 Kullenberg- und 2 Kolbenlot-Kernen wurden Seesedimente bis 20 m Tiefe beprobt und das Geschehen über 15'000 Jahre nachgezeichnet. ¹⁴C-Daten und zwei vulkanische Aschenlagen erlaubten eine Datierung der Sedimente. In den Seebecken wurden an nach unten sich versteilenden Hangpartien bis 6 m hohe Abrisskanten festgestellt. Die abgerutschten Pakete umfassen die gesamte Sedimentbedeckung; häufigste und umfangreichste liegen am Fuss von 10–20° geneigten Hängen. Flachere Hänge sind meist stabil, Hänge >25° zu steil, um genügend Sediment für grössere Rutschungen zu akkumulieren. Während des Abgleitens zerfielen die Rutschungen relativ rasch und wurden als keilförmige Schuttfächer am Hangfuss abgelagert. Der distale dünne Teil überlagert meist ungestörtes Beckensediment, das am Hangfuss oft deformiert ist; Falten- und Überschiebungsgut in 10–20 m Sedimenttiefe zeigen Décollements und frontale Überschiebungen mit bis 5 m vertikalem Versatz. Die Deformation erfolgte

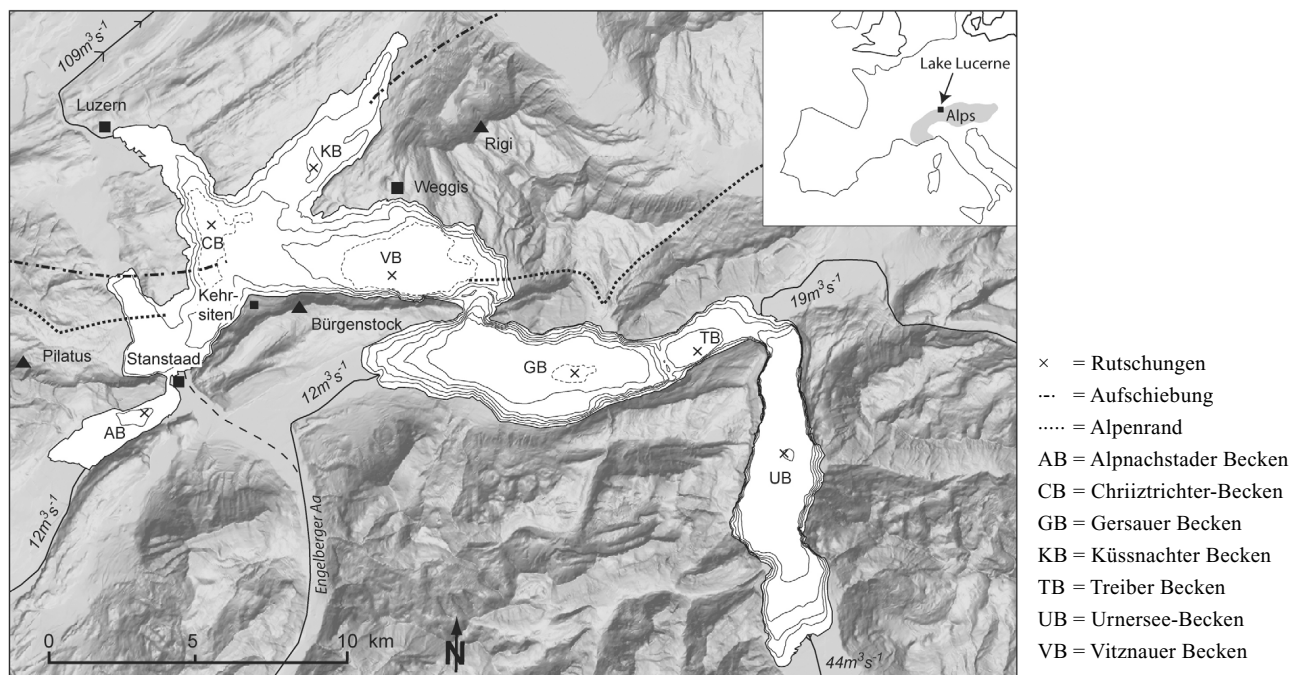


Abb. 20. Geologie und Morphologie bis zum Seegrund: Interpretation der Morphologie; aus SCHNELLMANN et al. 2005 (Fig. 1).

durch erhöhte statische und dynamische Belastung der Beckensedimente bei den Rutschungen. Deformierte Sedimente und Rutschungen enthalten Blöcke mit transportierter, intern ungestörter Abfolge. Diese sind oft nur durch schmale Scherzonen voneinander und vom autochthonen Sediment getrennt.

SCHNELLMANN kartierte Abrisskanten und Schuttkegel von gegen 100 Rutschungen. Dabei zeigten sich Gebiete mit erhöhter Rutsch- und Bergsturz-Aktivität (Abb. 20 und 21). Seismisch-stratigraphisch korrelierend fand er 6 multiple Rutschhorizonte, die je aus 7 oder mehr synchronen Rutschsedimenten bestehen; der jüngste Horizont entstand anlässlich des Bebens von 1601. Analog wurden fünf prähistorische multiple Rutschablagerungen Erdbeben zugeordnet. Ihre Datierung ergab mittlere Alter von 2300, 9870, 11'730, 13'710 und 14'590 Jahren, eine unregelmässige Beben-Wiederkehr und eine erhöhte Seismizität im Spätglazial.

Neben Gefährdung durch Erschütterung gingen von Erdbeben Wasserbewegungen aus. Das Beben von 1601 erzeugte bis 4m hohe, am Ufer Schäden anrichtende Wellen (HILBE et al. 2008).

Am 15. Juli 1795 löste sich am SW-Fuss der Rigi nach wochenlangem Dauerregen ein Schlammstrom von 0,6–0,7 Mio. m³ längs einer NNW–SSE-streichenden Horizontalverschiebung zwischen einer 50m mächtigen Nagelfluhwand und einer mergeligen Silt-Abfolge (LOUIS et al. 2008). Der Schlamm bewegte sich als dickflüssige Mure zum Vierwaldstättersee,

zerstörte 28 Wohnhäuser und 15 Landwirtschaftsgebäude. Am Ausbruch trat an Klüften Wasser aus. Geophysikalische Daten haben gezeigt, dass darunter steil stehende Brüche existieren, welche Wasserausstritte aus grösserer Tiefe ermöglicht haben. Untersuchungen im Seebecken ergaben eine subaquatische Fortsetzung von 140'000 m³.

4.20 Abflusslose Becken und Dolinen

Ein *abflussloses* Becken entstand in der Blattverschiebung *Talgüetli* nördlich Küssnacht. Darin bildete sich ein später verlandeter See.

Die grösste *Doline* der Zentralschweiz, ein gut 25 m tiefes, abflussloses Becken von 80m Durchmesser, bildete sich am Urmiberg, am Rengpass, im Drusberg-Member an Querstörungen in 920m Höhe. Bei einer Lösungsrate von 1cm/1000a (HANTKE 1997, 2003a, 2011) hätte die Bildung schon zu Beginn des Eiszeitalters eingesetzt.

4.21 Höhlen und Balmen

Die Anlagen der Höhlen und Balmen reichen tief ins Eiszeitalter zurück; ihre Benützung ist holozän, jettzeitlich. In der Randkette liegen NW von Brunnen die *Heinzer Höhle*, zwischen Gersau und Brunnen die *Vierwaldstättersee-Höhle* und an der Nordseite des Vitznauer Stock, oberhalb Stockrübi, das *Dra-chenloch*.

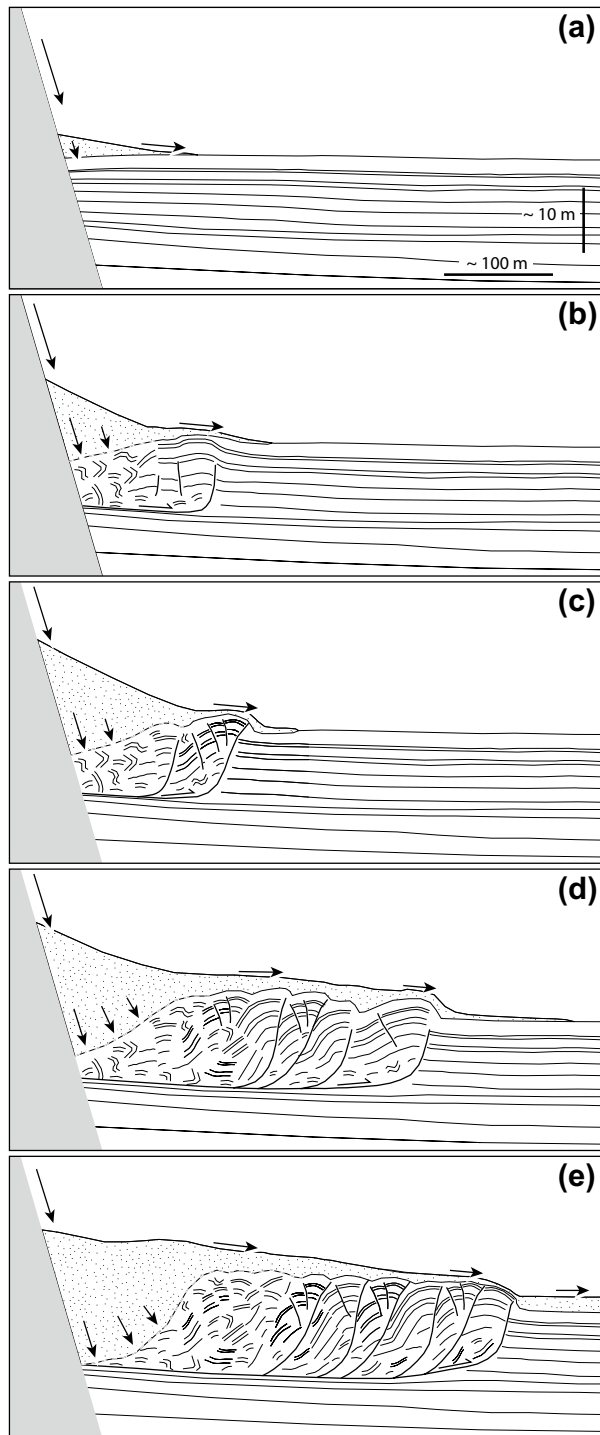


Abb. 21. Kinematisches Modell zur Entwicklung der Deformation der Beckensedimente im Vierwaldstättersee. Massenbewegungssedimente (punktiert) wurden auf den Rand des Beckenbodens geschüttet und gegen das Becken sich verlagernde Falten- und Überschiebungsverformungen erzeugt. Im hangfussnahen Bereich kann die Grenze (gestrichelte Linie) zwischen Massenbewegungs- und verformten Beckensedimenten in seismischen Profilen – wegen ihrer chaotisch sich durchpausenden Fazies – nicht festgelegt werden; aus SCHNELLMANN et al. 2005 (Fig. 14).

Die Bildung von *Balmen* wird durch Schichtlage und Klüftung begünstigt. Östlich Gersau bildete sich SW der Unter Nas an der Chilchenflue auf Seeniveau die *Ruederbalm*. In der Rigi-Molasse haben sich unter Nagelfluhbänken *Teufibalm* nördlich Vitznau und *Bruedersbalm* südlich Rigi-Kulm gebildet. Netzen der Wasserstaub lockert die Mergel; Frost und Wind räumen sie aus. Ein austretender Quellbach hat in der 170 m langen *Gruebismalm* ihr Wachstum gefördert.

Steigelfadbalm ob Vitznau und *Gruebismalm* lieferten – neben fossilen Faunen – urgeschichtliche Zeugen (AMREIN 1939). In der *Chrapfenbalm* steht ein Wohnhaus; in der *Tönelisbalm* südlich der Gruebismalm und in der Bruedersbalm lebten Waldbrüder. Östlich Freibergen liegen *Schafbalm*, *Tiefe Balm* und *Chesselbachbalm*, östlich Gäbetswil die *Ziltener-Balm*, eine noch um 1900 als «Alphütte» genutzte Doppelbalm. In der West- und Südflanke des *Dossen* sind sechs grössere Balmen bekannt.

Am *Rossberg* sind Schicht- und Hanglage für Balm- und Höhlenbildung ungünstig. Die 75 m lange *Weidhöhle* bei Ecce Homo (Koord. 2688.780/1213.650/805) verläuft längs Schichtung und Klüftung.

Noch im 20. Jh. vergletscherte Gebiete sind schon in der Zeit von vor 10'000 bis vor 1000 Jahren durch ein Dutzend markanter Rückschmelzphasen geprägt. Die subglazialen Sedimente enthalten eingeschwemmte Hölzer und Torfe, die dendro-chronologisch und/oder ^{14}C -datiert worden sind. Sie belegen höher reichende Bergwälder und Moore (JOERIN, STOCKER & SCHLÜCHTER 2006).

In Höhlen der Muotataler Berge fanden sich artspezifisch zuzuordnende, ^{14}C -datierte Tierknochen und -zähne. Aus mehreren Höhlen ist durch IMHOF (2012, 2013) die frühere Wildfauna – Braunbär, Wolf und Luchs – bekannt geworden. ^{14}C -datierte Holzkohlen belegen frühestes Sömmern von Haustieren und Unterkünfte von Jägern.

4.22 Verlandete Zentralschweizer Seen, Moore, Seekreide und Kalktuffe

Im Gebiet Wagenmoos–Hasenried–Teufried, im Schlittenried SE bzw. südlich Udligenswil, bei Oberbach und Schwanden–Haltikon NW von Küsnacht konnten sich über Moräne Seen bis ins Holozän halten, was Torf belegt. Im Fänn zwischen Immensee und Meierskappel dämmte schmelzendes Eis eine seichte Bucht von 1,5 km² ab; in ihr fiel Seekreide aus.

Beim Abschmelzen des jungpleistozänen Eises bildeten sich im Randbereich von Küsnachter und Zuger Arm des Reuss-Gletschers seichte, verlan-

dende Seen. Auf Seeboden belegen 8 m Torf knapp 9000 Jahre (WYNISTORF 1985, 1989); auf Rufiberg, Walchwiler und Rotenflue-Allmig liegen in den Senken Wagenmoos–Hasenried–Teufried, im Schlittenried und Schwanden–Haltikon *Flachmoore*: 7 m Torf über Moräne. Zwischen Arth und Oberarth belegt erbohrter Torf einen verlandeten Tümpel.

Flachmoore entwickelten sich nördlich von Ecce Homo, auf Halsegg, im hinteren Hürital, auf Allmig NE des Dossen, bei Greppen, Merlischachen und im Sägel (O. WILDI in BAUMGARTNER ed. 2002). Im Ägerital staute im späten Früh-Birrfeld- und im Bremgarten (=Zürich)-Vorstoss Muota/Reuss-Eis Moore bei Chäsgraden auf Alp Hürital. In Rigi- und Rossberg-Karen sowie im Quellgebiet des Rufibaches bildeten sich *Hangmoore*.

Im niederschlagsreichen Alpen-Vorland bildeten sich über undurchlässigem Grund *Hoch-, Übergangs- und Flachmoore, Sauerwiesen und Moorwälder* (FRÜH & SCHRÖTER 1904, BAUMGARTNER ed. 2002, M. KÜCHLER et al. 2007). *Meliorierte Moore* hielten sich im Gebiet Weggis–Hertenstein–Greppen, nördlich Küssnacht auf Moräne und NW des Küssnacher Sees auf Mergel.

Kalktuff wurde bei Langflue zwischen Weggis und Greppen, am Austritt kalkreicher Quellen, abgelagert. Ein kleines Vorkommen liegt SE von Walchwil, östlich Obergraden.

4.23 Felsstürze an der Bürgenstock-Nordflanke und am Urmiberg

Felssturzgut – Kieselkalk und Seewen-Kalk – liegt am *Nordfuss des Bürgenstock* von Kehrsiten gegen Untermatt. NW der Unter Nas ragen Schwyzer- und Kneipp-Stein aus dem See. Im Steinbruch *Obermatt* ereigneten sich nach dem Felssturz von 1955 weitere: 1963: 20'000 m³, 1964: 70'000 m³, hievon 60'000 m³ als einzelner Block. Dabei richtete die erzeugte Grundwelle am Ufer von Weggis verheerende Schäden an (DAHINDEN 1970, MÜLLER-VONMOOS & SCHINDLER 1973). 1992 brachen erneut 2000 m³ ab. Am *Urmiberg* fuhren im *Fallenbach-Steinbruch* 1971 8'000 und 1982 70'000 m³ als Felsrutschung ab (MÜLLER 1992).

4.24 Prähistorische Bergstürze am Rossberg, Vorböten und Schuttmenge des 1806er Sturzes

Am Rossberg sind noch spät- und nacheiszeitlich über 30 Bergstürze niedergegangen (KOPP 1948, HANTKE 2006). *Bergschlipfe* erfolgten seit der Schrägstellung der Rossberg-Molasse, gegen die durch Scherstörungen angelegten Abbrüche zur Zugersee-Talung bis an die Miozän/Pliozän-Wende vor 5 Ma; Felsstürze

gingen eher in Kaltzeiten auf in den Tälern fließende Gletscher nieder.

GASSER (2003) hat um Goldau – neben kleineren Abrissen – zwei prähistorische und zwei historische Bergstürze erkannt und unter der Moräne von Goldau noch älteres Sturzgut festgestellt, von einem weiteren Sturz, der sich nach dem Abschmelzen des Reuss-Eises vor rund 18'000 Jahren in Goldau ereignet hatte. Im Westen ging der prähistorische *Sturz von Oberarth* nieder, der vom 1806er teilweise überschüttet wurde.

Der *1806er Sturz* zerstörte Goldau, forderte 457 Menschenleben und löste im Lauerzersee eine Flutwelle aus. Im Osten, ausserhalb der Reichweite des *Sturzes von Rötten* von 1222, liegen Trümmer des *Rubenen-Sturzes* (ca. 9. Jh. n. Chr.).

BUSSMANN (2006) konnte ältere Sturz-Ereignisse am Rossberg und Zeiten von Starkniederschlägen klären: Er fand in einem Bohrkern von 10 m vom östlichen Grund des Lauerzersees eine Ereignislage um 850 ± 60 n. Chr., jene des *Rubenen-Sturzes*. Aufgrund vergleichbarer Sedimentationsraten und daraus resultierender geringer zeitlicher Abdeckung konnte BUSSMANN keine weiteren prähistorischen Rossberg-Stürze nachweisen. Die Basis von zwei Kernen nahe der Trümmerfront des 1806er Sturzes besteht aus torfartigem Sediment, was auf gravitatives Auspressen des sumpfigen Untergrundes hindeutet. Die Mobilisierung des Sumpfgutes war verantwortlich für das Auslösen katastrophaler Impulswellen auf dem Lauerzersee. Noch im distalen Bereich wurde durch den 1806er Sturz ein Horizont mit umgelagertem organischem Material gebildet. Im Kern waren drei Perioden mit erhöhter Häufigkeit von Flutlagen bei Starkregen zu erkennen: 580–850, 990–1420 und 1630–1940 n. Chr. Sechs der 54 festgestellten Flutlagen belegen Starkniederschläge: 610, 1160, 1290, 1660, 1850 und 1876 n. Chr.; das letzte Datum ist mit den höchsten Niederschlägen in der östlichen Zentralschweiz zu verbinden.

GASSER (2003) hat versucht, die beiden geschichtlichen Goldauer Bergstürze von 1222 und 1806 (ZAY 1807, HEIM 1932, ZEHNDER 1988) sowie zwei vorgeschichtliche Stürze gegeneinander abzugrenzen. Die Ergebnisse von BERNER (2004) wurden ins Geologische Atlasblatt 1151 Rigi (HANTKE 2006K) einbezogen, in den Erläuterungen – wie jene von THURO et al. (2005) – aber nicht vermerkt, ebenso die Tatsache, dass Felsstürze am Rossberg in der Erdgeschichte weit zurückreichen, auch wenn ihre Auswirkungen viel bescheidener waren als jene der prähistorischen und historischen Niedergänge.

Die Ergebnisse von BERNER (2004) zum Goldauer Bergsturz von 1806 sowie jene des Unwetters vom August 2005 (Th. Reichlin, schr. Mitt. 2006), welche

auf die noch immer latente Gefahr hinweisen, wurden zu summarisch dargestellt. Auch die Erkenntnisse von SCHNELLMANN (2004) und BUSSMANN (2006) fehlen. Von LOUIS et al. (2008) liegt wenigstens eine Kurzfassung vor.

Hinweise auf einen möglichen Niedergang des 1806er Sturzes gab es schon früh: «1712 drohte durch eine von der Höhe niedertobende Stein-Lawine grosse Gefahr in der Gegend vom benachbarten Arth.» Dasselbe Spiel «vom Berge herabkollernder Felsen, Tannen und Erdhaufen» wiederholte sich im Juli 1795 (ZSCHOKKE 1836: 77). Weitere Vorboten zeigten sich am Gnipen in den nassen Jahren 1799, 1804 und 1805. Nach grossen Regen im Juli und in der zweiten August-Hälfte 1806 öffneten sich Risse, die sich mit Wasser füllten, was schon Jahre zuvor der Luzerner Topograph General L. PFYFFER und Pfarrer KÖNIG von Sattel als bedrohlich erkannt hatten.

Über die Menge des 1806 niedergebrochenen Gesteins gehen die Angaben von 6 bis 90 Mio. m³ weit auseinander; selbst bei Fachleuten streuen die Werte beachtlich, so bei ALB. HEIM (1882): 15 Mio. m³, (1919): 35–40 Mio. m³, (1932): 40–50 Mio. m³, bei KOPP (1937): 10. Mio. m³, bei LEHMANN (1942) und STEINER-BALTZER (1943): 15–20 Mio. m³, bei ZEHNDER (1956) und bei GASSER (2003): 40 Mio. m³.

BERNER (2004) hat beim 1806er Sturz festgestellt, dass dieser sich distal in Schuttströme aufgespalten hat und einen riesigen *Schlupf* darstellt; drei verwitterte Mergellagen seien verantwortlich. Im Labor fand er eine Abhängigkeit von Verwitterung und Reibungswinkel. Der Ablöseprozess ereignete sich an Trennflächen. Solange diese nur wenig Wasser enthalten, bleibt der Berg stabil; bei erhöhtem Bergwasserdruck sinkt die Sicherheit in den instabilen Bereich. Nagelfluhen besitzen hohe Festigkeit und sprödes Verhalten ohne direkte Beteiligung bei der Ablösung; doch destabilisiert die durch Zug bewirkte Öffnung der Klüfte den Verband und öffnet Wege fürs Bergwasser. Modelle haben gezeigt, dass die Reibung auf Gleitflächen knapp halb so gross war wie die innere Reibung; der Bergschlupf benötigte einen Trigger, allenfalls ein schwaches Erdbeben, um ausgelöst zu werden. Berechnungen ergaben Spitzen von über 200 km/h bei geringer Reibung am Übergang in den Talboden.

Nach Rekonstruktion der einstigen Geländeoberfläche hat Berner den 1806er Sturz auf 36–38 Mio. m³, den Röthen-Sturz auf 20–25 Mio. m³ geschätzt; zugleich hat er eine Gefahrenkarte der Abrissnische erstellt und ist zum Schluss gekommen, dass wohl Steinschläge und kleinere Felsstürze wie im Oktober 2002 mit 5000–10'000 m³, aber kein grösserer Sturz zu erwarten wäre, nach Starkniederschlägen

allenfalls einer von 20'000 m³. Doch schon die August-Unwetter 2005 mit regenreicher Vorgeschichte haben verwitterte Mergel in Fahrt gebracht. Th. Reichlin (mdl. Mitt.), sieht, aufgrund neuester Bohrungen, ein weit geringeres Volumen des 1806er Sturzes als noch Berner.

Noch unsicherer sind Prognosen über einen allfälligen künftigen Niedergang. Da von den vier Ereignissen nur die letzten drei datiert sind – ergibt sich zwischen den beiden letzten knapp 600, zwischen dem vorletzten und dem 3.letzten gut 400 Jahre.

TH. REICHLIN (schr. Mitt. 2006) hat auf Gribisch und Rufiberg – Gängiger Berg – Bräpfit Muren erkannt. Unterhalb des Ochsenboden wälzte sich eine Steinlawine gegen Roren, die sich bei Gantli geteilt hatte: Ein Ast zwängte sich durch den SBB-Durchlass und kam zum Stehen; der andere überschüttete die Bahnlinie Zug–Goldau und wälzte Schlamm zur Rigi-Aa. Oberhalb Gribisch löste sich in 1000 m Höhe eine Mergelbank, stürzte über die Abbruchkante des 1806er Sturzes, pflügte den Wald vor sich her und kam im Goldbach kurzzeitig zum Stehen. Hochwasser verwandelten die aufgewühlten Mergel in eine Schlammlawine. Diese fuhr zu Tal und walzte den Wald über eine Breite von 60 m nieder. Auf 680 m Höhe wurde sie durch Blöcke des 1806er Sturzes und mitgeführte Bäume zu einem Schlammteich gestaut, zerstörte zwei Häuser, durchbrach das Hindernis, füllte eine Senke, trieb gegen Goldau und überschüttete Grosswyer. Waren die Ereignisse von 2005 gegenüber jenen von 1806 relativ bescheiden, so haben sie doch gezeigt, dass am Rossberg *noch immer* Gefahr lauert. Im Gribisch deuten Risse und Senken auf potenzielle Rutsche; verwitterte Mergel stehen bereit zur Talfahrt. Die Unwetter vom Sommer 2005 sind am Rossberg und in Goldau nicht spurlos vorbeigegangen; doch ist Panik fehl am Platz. RYF hat schon 1983 eine Überwachung postuliert; wie 1806, dürften auch künftig bei einem bevorstehenden Sturz warnende Anzeichen zu erkennen sein. Während geologische Fakten über lange Zeit kaum variieren, können Niederschläge in Menge und Intensität sich rasch ändern. Jahrhundert-Katastrophen, wie sie in den letzten Jahrzehnten in weit kürzeren Intervallen und stärkerer Intensivität aufgetreten sind, steigern das Gefahrenpotenzial.

Bei der Überbauung Harmettlen in Goldau wurden 2012 Skelettreste von drei erwachsenen Personen gefunden (MEYER, S. et al. 2013). Eine ¹⁴C-Datierung und ihre Fragmentierung mit multiplen perimortalen Frakturen sprechen für deren Tod beim Bergsturz. Eine Nachgrabung ergab, dass alle drei am Boden eines bretternen Troges lagen, der durch den aufgeworfenen Fussboden eines vom Sturz verfrachteten Holzhauses gebildet wurde. Östlich des Fussbodens

fand sich das Skelett eines Kalbes, im Süden eine mit 1651 datierte Kranzkachel eines Ofens, gegen Norden, nach 5 m, die abgeknickte Hauswand. Alters- und Geschlechtsbestimmung der Skelette liessen sie einem engen Kreis in ZAYS (1807) Personenliste zuordnen.

4.25 *Bachverläufe, Bachverlegungen und tote Schuttfächer*

Die Quellläste der *Rigiaa* folgen dem Nagelfluh-Streichen, von Blätzen gegen Goldau Querstörungen. Solche haben auch dem Rotenfluebach den Weg vorgezeichnet. Diese setzen sich südlich des Dossen ins System von Hinterbergen fort. Wo Störungen fehlen, haben sich Bäche seit dem Abschmelzen des Eises vor 18'000 Jahren nur wenige Dezimeter in die Molasse eingetieft. Von Goldau zum Zugersee pendelte die *Rigiaa* zwischen Grenzblättern in der Rigi/Rossberg-Nagelfluh und verfüllte Teile der Talung Oberarth–Arth.

Bergstürze und Eisränder führten zu *Bachverlegungen*. SE des Rossberg liegt die Alluvialebene von *Ecce Homo–Talacher*; KOPP hat sie der Steiner Aa zugeschrieben. Das Muota/Reuss-Eis staute die von

Schmelzwässern geschütteten Alluvionen zu einer Terrasse in 700 m Höhe. Oberhalb *Ecce Homo* und Moos bedeckt Sturzgut die Oberläufe einstiger Bäche; nur ihre Schuttfächer sind noch zu erkennen. Im Rutschgebiet von Nageldach NE von *Steinen* zeichnen sich zwei ehemalige Bachläufe ab. Südlich *Udligenswil* wandte sich der Würzenbach von Walmatt ins Chüelochtobel.

Der *Vitznauer Altdorf-Bach* floss früher SE von Buholz und erreichte den Vierwaldstättersee südlich von Vitznau-Altdorf. Der bei *Hinter Lützelau* mündende Bach wandte sich vom Felsentor ostwärts; Felsstürze von Orenfad drängten ihn zweimal gegen Westen ab. Zwischen Greppen und Küssnacht bildeten sich bei Leimgruebi Schuttkegel. Der Bach vom *Chlösterli* ins Chli Breitfeld floss früher zum Rotenhof. Auf 620 m bog der Dorfbach um, schüttete bei Loch einen Schuttkegel und mündete unterhalb Färestatt in den Dürrenbach.

Auch der Goldauer Sturz von 1806 hat noch Bachläufe verändert: Bei Schwand bog ein Lauf der *Rigiaa* gegen SE ab, umfloss den Hügel oberhalb der Kirche und fand sein heutiges Bett wieder; ein anderer Lauf wandte sich gegen NNE und bog gegen NW um.

Literatur und Karten (K)

- AGASSIZ, L. 1840: Etudes sur les glaciers. – Neuchâtel et Soleure, Jent & Grossmann. 346 pp. + Atlas – Reprint: Dawsons of Pall Mall, 1966.
- AMREIN, W. 1939: Urgeschichte des Vierwaldstättersees und der Innerschweiz. – Mitt. natf. Ges. Luzern, 13: 1–181.
- BAUMGARTNER, H. et al. 2002: Moore und Moorschutz in der Schweiz. – BUWAL, Bern, 68 S.
- BECKER-HAUMANN, R. 1997: Der Arlesrieder Schotter – Ein weiterer Beleg für die biberzeitliche Iller in Bayerisch Schwaben. – Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, 114: 59–75.
- BERNER, CH. 2004: Der Bergsturz von Goldau. – Geologie, Ausbreitung und Dynamik des grössten historischen Bergsturzes der Schweiz. – Dipl.-Arb. Dep. Erdwiss. ETH Zürich, 12 + 106 S.
- BLATTER, H. 1984: On thermal regime of arctic glaciers. – Diss. ETHZ, NW 7596. – Axel Heiberg Isl. Res. Rep. Glac. 6.
- BOLLIGER, TH., FEJFAL, O., GRAF, H.R. & KÄLIN, D. 1996: Vorläufige Mitteilung über Funde von pliozänen Kleinsäugern aus den Höheren Deckenschottern des Irchels (Kt. Zürich). – Eclogae geol. Helv., 89/3: 1043–1048.
- BOLLIGER, TH. ed. 1999: Geologie des Kantons Zürich. – Ott-Verlag, Thun, 163 S. und Exkursionsheft 56 S.
- BÜTLER, M. 1941: Über Strandverschiebungen des Zugersees. – Jb. Urgesch., 1940/41.

- BUGMANN, E. 1958: Eiszeitformen im nordöstlichen Aargau. – Mitt. aarg. natf. Ges., 25: 4–91.
- BUSSMANN, F. 2006: The sediments of Lake Lauerz (Central Switzerland) – a new approach to establish the timing of the Rossberg landslide, succession and chronology of exceptional rainfall events. – Dipl.-Arb. Dep. Erdwiss. Bibl. ETH Zürich, 82 pp.
- BUXTORF, A. 1910K: Geologische Karte der Pilatus-Bürgenstock-Rigihochfluhkette, Blatt II: Bürgenstock 1:25'000. – Geol. Spez.-Karte 27a. – Schweiz. geol. Komm.
- BUXTORF, A. mit Beiträgen von BAUMBERGER, E., NIEHAMMER, G. & ARBENZ, P. 1913K, 1916: Geologische Karte der Pilatus-Bürgenstock-Rigihochfluhkette, Blatt III: Rigihochfluhkette 1:25'000. – Geol. Spez.-Karte 29a; Erläuterungen 1916 – Schweiz. geol. Komm.
- BUXTORF, A., TOBLER, A., NIETHAMMER, G., BAUMBERGER, E., ARBENZ, P. & STAUB, W. 1916K: Geologische Vierwaldstättersee-Karte, 1:50'000. – Geol. Spez.-Karte 66a. – Schweiz. geol. Komm.
- DAHINDEN, K. 1970: 95 Jahre Wasserversorgung Weggis–Hug, Weggis.
- FICHTER, H. J. 1934: Geologie der Bauen-Brisen-Kette am Vierwaldstättersee und die zyklische Gliederung der Kreide und des Malms der helvetischen Decken. – Beitr. Geol. Karte Schweiz, N.F., 69.

- FINCKH, P., KELTS, K. & LAMBERT, A. 1984: Seismic stratigraphy and bedrock forms in perialpine lakes. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 95: 1118–1128.
- FREI, ROMAN 1912: Monographie des schweizerischen Deckenschotter. – *Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F.*, 37. – Schweiz. geol. Komm.
- FREI, ROMAN 1914: Geologische Untersuchungen zwischen Sempachersee und Oberem Zürichsee. – *Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F.*, 45/I.
- FREY, O. 1907: Talbildung und glaziale Ablagerungen zwischen Emme und Reuss. – *N. Denkschr. allg. Ges. ges. Natw.*, 41/2.
- FRÜH, J. & SCHRÖTER, C. 1904: Die Moore der Schweiz. – *Beitr. Geologie Schweiz, Geotech. Ser.*, 3.
- FURRER, H., GUBLER, TH., HOCHULI, P.A. & STÖSSEL, I. 2002: Goldau vor 25 Millionen Jahren. – *Schweizer Strahler*, 2002/3: 1–8.
- GASSER, J. 1987: Geologische Vergangenheit. – In: BORER, B. ed.: *Steinen – Ein Streifzug durch seine Landschaft, Geschichte, Kultur, Wirtschaft und Politik.* – Verkehrsver., Steinen. 34–47.
- GASSER, J. 2003: 200 Millionen Jahre Erdgeschichte. Region Arth–Goldau–Lauerz–Seewen–Ibach–Brunnen. – *Ber. schwyz. natf. Ges.*, 14: 63–82.
- GERBER, E.K. 1959: Form und Bildung alpiner Talböden. – *Geogr. Helv.*, 14/3: 117–237.
- GERBER, E.K. 1960: Zur Rekonstruktion alter Talböden. – *Eclogae geol. Helv.*, 52/2 (1959): 511–18.
- GRAF, H.R. 1993: Die Deckenschotter der zentralen Nordschweiz. – *Diss. ETH Zürich, NW*: 10'205.
- GRAF, H.R. 1999: In: GRAF, H. R. & MÜLLER, B.: *Das Quartär: Die Epoche der Eiszeiten.* – In: BOLLIGER, TH. ed.
- GRAF, H.R. 2007: Quartär. – In: BITTERLI-DREHER, P. et al.: *Erläuterungen zu Blatt 1070 Baden – Geol. Atlas Schweiz 1: 25'000, Karte 120.* – swisstopo, Wabern.
- GRAF, H.R. 2009: Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz. – *Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F.*, 168.
- GRUNDMANN, A. 2000: Zur Standorts- und Vegetationsentwicklung im Goldauer Bergsturz. – *Diss. Botan.*, 335 – Cramer in Bortraeger, Berlin/Stuttgart.
- GRUNDMANN, A. 2005: Die Vegetation auf trockenen Block- und Felsstandorten im oberen Bergsturzgebiet von Goldau. – *Bauhinia*, 19: 1–14.
- GUBLER, TH. 2009K: Blatt 1111 Albis – *Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 134, mit Erläuterungen.* – Geol. Landes-*aufn.*, swisstopo, Wabern.
- HANTKE, R. 1958: Die Gletscherstände des Reuss- und Linthsystems zur ausgehenden Würmeiszeit. – *Eclogae geol. Helv.*, 51/1: 119–49.
- HANTKE, R. 1978, 1980, 1983: Eiszeitalter 1, 2, 3. – Ott, Thun, 468, 703, 730 S.; 1–3 1992: *ecomed, Landsberg/Lech.*
- HANTKE, R. 1986: Zur Entstehung des Vierwaldstätter Sees. – *Schweizer Hotelj.*, 1986/2: 13–16.
- HANTKE, R. 1987: Die Alpen im Eiszeitalter. – *Mitt. natf. Ges. Luzern*, 29: 77–98.
- HANTKE, R. 1991: Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete – Erd-, Klima- und Vegetationsgeschichte der letzten 30 Millionen Jahre. – Ott, Thun. 309 S.
- HANTKE, R. 1997: Die erdgeschichtliche Entwicklung des Silberer–Bödmerer-Gebietes. – In: KÄLIN, W./SCAGNET, E., 80–87.
- HANTKE, R. 2003a: Mittelmoränen in der Zentralschweiz und in den westlichen Glarner Alpen. – In: *Grundlagen für ein Geotopinventar Kanton Schwyz.* – *Ber. schwyz. natf. Ges.*, 14: 99–105.
- HANTKE, R. 2003b: Zur Landschaftsgeschichte der Zentralschweiz und des östlichen Berner Oberlandes. – *Ber. schwyz. natf. Ges.*, 14: 110–18.
- HANTKE, R. 2006K: Blatt 1151 Rigi mit Nordteil von Blatt 1171 Beckenried. – *Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 116, mit Erläuterungen.* – B.-Amt Wasser u. Geologie, swisstopo, Wabern.
- HANTKE, R. 2007: Eiszeitliche Kollisions- und Mittelmoränen im Vierwaldstättersee. – *Vjschr. natf. Ges. Zürich*, 152/1–2: 1–10.
- HANTKE, R. 2011: Eiszeitalter – Kalt/Warmzeit-Zyklen und Eistransport im alpinen und voralpinen Raum. – Ott Verlag, Bern, 570 S.
- HANTKE, R. 2013K: Blatt 1172 Muotathal mit Teil von 1171 Beckenried. – *Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte mit Erläuterungen 127.* – swisstopo, Wabern.
- HANTKE, R. 2019a: Fossile Pflanzen aus den mittelmiozänen Fundstätten von Öhningen am Untersee (Baden-Württemberg) – Rekonstruktion von Klima und Umwelt vor gut 13 Ma (Millionen Jahren). – *Ber. schwyz. natf. Ges.*, 18: 7–34.
- HANTKE, R. 2019b: Wälder der östlichen Zentralschweiz vor 30–25 Millionen Jahren, rekonstruiert mit fossilen Pflanzenfunden vom Rossberg, Südfuss der Rigi, Gebiet um Rothenthurm, vom Rinderweidhorn und Höhrönen. – *Ber. schwyz. natf. Ges.* 18: 35–54
- HANTKE, R. & JÄGER, E. 1982: Protokoll der Exkursion nach Pedrinate–Chiasso, 14./25.4.1982. – *Isotopengeol., Univ. Bern.*
- HANTKE, R. & SCHEIDEGGER, A.E. 2003: Zur Morphotektonik der zentralschweizerischen Alpenrandseen – Richtungsbeziehungen zwischen Gewässern (Seen, Bächen) und Klüften. – *Ber. schwyz. natf. Ges.*, 14: 83–98.
- HANTKE, R. & SCHLANKE, S 2008: Geologische Profile durch das Gebiet von Atlasblatt Einsiedeln. – In: HANTKE, R., WYSSLING, G. & SCHLANKE, S. mit einem Beitrag von U. MENKVELD-GFELLER 2009: *Erläuterungen zu Blatt 1132 Einsiedeln des Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 129.* – B.-Amt Landestopogr. swisstopo, Wabern.
- HANTKE, R., TRÜMPY, R.† et al. 2013K: Blatt 1152 Ibergeregg. – *Geol. Atlas Schweiz 1:25'000 mit Erläuterungen.* – Manusk. Landesgeologie, swisstopo, Wabern.
- HANTKE, R., WAGNER, G., SCHATZ, W. & SEITTER, H.† 2000: Präglaziale Floren-Relikte im Rigi- und Briener Rothorn-Gebiet. – *Vjschr. natf. Ges. Zürich*, 145/2–3: 65–85.
- HEER, O. 1846, 1848: Über die an der hohen Rhonen entdeckten fossilen Pflanzen. – *Verh. Schweiz. natf. Ges.*: 36–38; *N. Jb. Mineral.*, 1848: 369–371.
- HEIM, ALB. 1882: Über Bergstürze. – *Njbl. natf. Ges. Zürich*, 84: 31 S.
- HEIM, ALB. 1894a: Die Entstehung der alpinen Randseen.– *Vjschr. natf. Ges. Zürich*, 39/1: 66–84.
- HEIM, ALB. 1894b: Über das absolute Alter der Eiszeit. – *Geologische Nachlese 2.* – *Vjschr. natf. Ges. Zürich*, 39/2: 180–186.

- HEIM, ALB. 1919: Geologie der Schweiz 1. – Tauchnitz, Leipzig, 704 S.
- HEIM, ALB. 1932: Bergsturz und Menschenleben. – Vjschr. natf. Ges. Zürich, 77, Beil. 20: 218 S.
- HERBORDT, O. 1907: Geologische Aufnahme der Umgebung von Rapperswil–Pfäffikon am Zürichsee. – Diss. Univ. Zürich.
- HILBE, M., ANSELMETTI, F.S., EILERTSEN, R.S. & HANSEN, L. 2008: Spuren der Massenbewegungen auf dem Grund des Vierwaldstättersees bei Weggis: – Die Ereignisse von 1601 und 1795. – Bull. angew. Geol., 13/1: 83–85.
- HILBE, M., ANSELMETTI, F.S., EILERTSEN, R.S., HANSEN, L. & WILDI, W. 2012: Subaqueous morphology of Lake Lucerne (Central Switzerland): Implications for mass movements on glacial history. – Swiss J. Geosci., 104/3: 425–443.
- HOCHULI, P.A. 1973: Pollenanalytische Untersuchungen der Fundstelle Greit am Höhrnen. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Zürich. – Dep. Geol. Inst. ETH Zürich, 60 S., 6 Taf.
- HOCHULI, P.A. 1978: Palynologische Untersuchungen im Oligozän und Untermiozän der Zentralen und Westlichen Paratethys. – Beitr. Paläontol. Österr., 4: 1–132.
- HÖRNLIMANN, J. 1886: Ueber Seetiefenmessungen. – Schweiz. Bauz. 7: 133–134.
- IMHOF, W. 2012: Bär, Wolf und Luchs im Muotatal – Knochenfunde aus Höhlen. – Akad. Naturw.; Schwyz, Triner AG, 108 S.
- IMHOF, W. 2013: Die ersten Muotataler – Spuren ur- und frühgeschichtlicher Jäger und Hirten aus Höhlen und Balmen. – Akad. Naturw.; Schwyz, Triner AG, 152 S.
- JÄCKLI, H. 1966K: Blatt 1090 Wohlen. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 50, mit Erläuterungen. – Schweiz. geol. Komm.
- JÄCKLI, H. 1998: Geologische Baugrunduntersuchungen Hauptstrasse A 371, Knoten Oberarth–Risch–Neubau Mühlebrücke Rigi Aa, Oberarth SZ. – Ber. 8.7.1998. Jäckli – Geologie – Geotechnik – Grundwasser.
- JÄGER, E. & HANTKE, R. 1983: Die Entwicklungsgeschichte der Alpen. – Naturw., 70/5: 209–215.
- JÄGER, E. & HANTKE, R. 1984: Evidenzen für die Vergletscherung eines alpinen Bergeller Hochgebirges an der Grenze Oligozän/Miozän. – Geol. Rdsch., 73/2: 567–575.
- JEANNET, A. 1934: Excursion No. 57: Einsiedeln–Iberg–Mythen. – Guide géol. Suisse 10: 750–765, Wepf, Bâle.
- JEANNET, A. 1953K: Manuskriptkarte Blatt Ibergereg. – Geol. Landesaufnahme, swisstopo, Wabern.
- JOERIN, U.E., STOCKER, Th.F. & SCHLÜCHTER, Ch. 2006: Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene. – Holocene, 16/5: 697–704.
- KELLER, O. 2014: Erwägungen zur Korrelation mittelpleistozäner Relikte des Rheingletschers mit der Nordschweizer Stratigraphie. – E&G, Quatern. Sci. J., 63/1: 15–43.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. 2010: Mittel- und spätpleistozäne Stratigraphie und Morphogenese in Schlüsselregionen der Nordschweiz. – E & G Quatern. Sci. J. 59/1-2: 88–119.
- KLEIBER, K. 1938: Geologische Untersuchungen im Gebiet der Hohen Rone. – Eclogae geol. Helv., 30/2 (1937): 419–430.
- KOPP, J. 1937: Die Bergstürze des Rossberges. – Eclogae geol. Helv., 29/2 (1936): 490–493.
- KOPP, J. 1945: Erläuterungen zu den Blättern 186 Beromünster–189 Eschenbach. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 18. – Schweiz. geol. Komm.
- KOPP, J. 1947: Die Vergletscherung der Rossberg-Nordseite. – Eclogae geol. Helv., 39/2 (1946): 274–277.
- KOPP, J. 1948: Der Rossberg in der Eiszeit. – Zuger Njbl., 1948: 57–59.
- KOPP, J. 1950: Seespiegelschwankungen des Zugersees. – Mitt. natf. Ges. Luzern, 16: 137–144.
- KOPP, J. 1960: Alte Flussläufe der Muota und Steiner Aa zwischen Rigi und Rossberg. – Eclogae geol. Helv., 53/2: 517–519.
- KOPP, J. 1962K: Geol. Atlasblatt 1151 Rigi – Molasse-Anteil. – Manuskriptkarte geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
- KORNER, M. 1995: Grundwasserbecken Gemeinde Arth – Geologisch-geophysikalische Untersuchungen. – Nr. 95-810 – Dr. M. Korner, Berat. Geologe Küssnacht a. R. – Kt. Schwyz, Dep. Innern, Amt Umweltschutz.
- KUHLEMANN, J. & RAHN, M. 2013: Plio-Pleistocene Landscape evolution in Northern Switzerland. – Swiss J. Geosci., 106: 451–467.
- KYBURZ, W. 1968: Untersuchungen in der unteren OSM im Raume Rüti–Eschenbach–Goldingen. – Dipl. Arb. Univ. Zürich – Dep.: Erdw. Bibl. ETH Zürich.
- LEHMANN, O. 1942: Über Böschungswinkel und Böschungshöhen im Hinblick auf den Bergsturz von Goldau. – Eclogae geol. Helv., 35/1: 55–65.
- LOUIS, K., BÄNNINGER, P., LUTERBACHER, J. & ZWYER, T. 2008: Der Schuttstrom vom 15./16. Juli 1795 in Weggis – Rekonstruktion des Ereignisses und Beurteilung des vorhandenen Gefahrenpotenzials. – Bull. angew. Geol., 13/1: 55–81.
- LUDWIG, A. 1930: Blatt 218–221 Flawil–Schwellbrunn, – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000. – Schweiz. geol., Komm.
- LÜDI, W. 1935: Das Grosse Moos im Westschweizer Seeland und die Geschichte seiner Entstehung. – Veröff. Geobot. Inst. Rübel, Zürich, 11: 208 S.
- LÜDI, W. 1953: Die Pflanzenwelt des Eiszeitalters im nördlichen Vorland der Schweizer Alpen. – Veröff. Geobot. Inst. Rübel, Zürich, 27: 344 S.
- MEYER, S., REICHLIN, Th., RÜHLI, F. & HÄUSLER, M. 2013: Drei Skelettfunde aus Harmettlen, Goldau (Kanton Schwyz): die ersten untersuchten Opfer des Bergsturzes von 1806. – B. Schweiz. Ges. Anthropol. 19/1: 23–35.
- MÜLLER, D. 1992: Felssturz Ölberg an der Axenstrasse – Untersuchung der Schwallwellengefahr im Urnersee. – Versuchsanst. Wasserbau, Hydrol. Glaziol. ETH Zürich, Ber. 4059: 87+30 S.
- MILANKOVITCH, M. 1941: Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. – Acad. Roy. Serbe, Sect. Sci. Math. et natur. 33. Ed. Spec. Acad. Roy. Serbe. 132 S.
- MÜLLER-VONMOOS, M. & SCHINDLER, C. 1973: Palygorskite im helvetischen Kieselkalk des Bürgenstocks. – Schweiz. min.-petr. Mitt., 53/3: 395–403.
- OCHSNER, A. 1969K, 1975: Blatt 1133 Linthebene. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 53, mit Erläuterungen. – swisstopo, Wabern.
- OTTIGER, R. et al. 1990K: Blatt 1131 Zug. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 89. – Hydrogeol. u. Geol., swisstopo, Wabern.

- PAVONI, N. 1953: Die rückläufigen Terrassen am Zürichsee und ihre Beziehungen zur Geologie der Molasse. – Geogr. Helv., 8/3: 217–226.
- PAVONI, N. 1957: Die Verbreitung des Niveaus des «Appenzeller Granites» und die wichtigsten Fossilfundstellen in der Zürcher Molasse. – Vjschr. natf. Ges. Zürich, 102/5.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E. 1901–09: Die Alpen im Eiszeitalter, 1–3. – Tauchnitz, Leipzig.
- PREUSSER, F., GRAF, H.R., KELLER, O., KRAYSS, E. & SCHLÜCHTER, C. 2011: Quaternary glaciation history of northern Switzerland. – E&G, Quatern. Sci. J., 60/2–3: 282–305.
- REICHLIN, TH. 2006: Der Dächlistei. – Briefl. Mitt.
- RÜTMEYER, L. 1869: Über Thal- und Seebildung – Beitrag zum Verständniss der Oberfläche der Schweiz. – Schweighauser, Basel, 144 S.
- RÜTMEYER, L. 1877: Der Rigi: Berg, Thal und See. – Georg's, Basel, Genf, Lyon, 160 S.
- RYF, W. 1983: Bergsturzgebiet Goldau – Bericht über die am 22. Juni 1983 durchgeführte Begehung. – Geol. Büro Dr. H. Jäckli AG, Zürich, 15 S., Unveröff. Manuskript.
- SCHAEFER, I. 1956: Sur la division du Quaternaire dans l'avant-pays des Alpes en Allemagne. – Actes INQUA IV, Rome 1.
- SCHAEFER, I. 1957: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Augsburg und Umgebung 1:50'000. – Bayr. Geol. L.-Amt, München.
- SCHUEENPFLUG, L. 1991: Die frühpleistozäne Augsburgener Altwasserscheide am Ostrand der Iller-Lech-Platte (Süd-deutsches Alpenvorland, Bayern). – Eiszeitalter & Gegenwart, 41: 47–55.
- SCHNELLMANN, M. 2004: Late Quaternary Mass-Movement in a Perialpine Lake (Lake Lucerne, Switzerland) – Sedimentary Processes, Natural Hazards and Paleoseismic Reconstructions. – Diss. ETH Zürich, 130 S.
- SCHNELLMANN, M., ANSELMETTI, F.S., GIARDINI, D. & MCKENZIE, J.A. 2005: Mass movement-induced fold-and-thrust Belt structures in unconsolidated sediments in Lake Lucerne (Switzerland). – Sedimentology, 52: 271–289.
- SCHNELLMANN, M., ANSELMETTI, F.S., GIARDINI, D. & MCKENZIE, J.A. 2006: 15'000 Years of mass-movement history in Lake Lucerne: implications for seismic and tsunami hazards. – Eclogae geol. Helv. 99/2: 409–428.
- SCHNELLMANN, M., ANSELMETTI, F.S., GIARDINI, D. & MCKENZIE, J.A. & WARD, S.N. 2002: Prehistoric earthquake history revealed by lacustrine slump deposits. – Geology, 30: 1131–1134.
- SPECK, J. 1955: Die spätbronzezeitliche Siedlung Zug-«Sumpf» – Ein Beitrag zur Frage der Pfahlbauten. – Monogr. Ur- u. Frühgesch. Schweiz, 11: «Das Pfahlbau-problem»: 273–334. Basel.
- STEINER-BALTZER, A. & BÜRGI, A. 1943: Das Bergsturzgebiet von Goldau. – Schweiz Lehrerver., Zürich.
- STÜRM, B. 1973: Die Rigi-Schüttung – Sedimentpetrographie, Sedimentologie, Paläogeographie, Tektonik. – Diss. Univ. Zürich.
- THURO, K., BERNER, CH. & EBERHARDT, E. 2005: Der Bergsturz von Goldau 1806 – Versagensmechanismen in wechsellagernden Konglomeraten und Mergeln. – In: MOSER, M. ed.: Veröffentl. 15. Tag. Ingenieurgeol., 6.–9. April 2005, Erlangen, Friedrich-Alexander-Univ., 303–308.
- TRÜMPY, R. 1975: Penninic-Austroalpine boundary in the Swiss Alps: a presumed former continental margin and its problems. – Amer. J. Sci. 275A: 209–238.
- TRÜMPY, R. 2006: Geologie der Iberger Klippen und ihrer Flysch-Unterlage. – Eclogae geol. Helv. 99/1: 79–121.
- WAGNER, G. 2001: Drumlins im Berner Mittelland? – Eine begrifflich-morphologische Studie. – Mitt. natf. Ges. Bern, N. F., 58: 97–114.
- WAGNER, G. 2003: Eiszeitliche Mittelmoränen im Kanton Zürich, 2. Teil: Linth/Rheingletscher im Glattal, Gletschergebiete von Thur/Rhein. – Vjschr. natf. Ges. Zürich, 148/3: 67–77.
- WAGNER, G. 2004: «Das Mittelmoränen-Modell aus wissenschaftlicher Sicht». – Duplik von WAGNER auf die Replik von GRAF et al. in der Vjschr. natf. Ges. Zürich, 149/2–3: 83–86.
- WAGNER, G. 2005: Eiszeitliche Mittelmoränen im Aargau. – Mitt. aarg. natf. Ges., 36: 5–25.
- WAGNER, G. 2014: Mittelmoränen – Heute und in der Eiszeit. – Haupt, Bern, 158 S.
- WÜEST, O. 1998: Die älteste Palme von Weggis. – Wochen-Z., 30.1.98, Vitznau.
- WYNISTORF, E. 1985: Beiträge zur Geomorphologie des Rigi-NW-Hanges und des nordwestlichen Teiles des Rigi-NE-Hanges – Geomorphologie – Palynologie. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Zürich, dep. Geogr. Inst. Univ. Zürich.
- WYNISTORF, E. 1989: Zur Landschaftsgenese, Vegetations- und Klimageschichte am Nordwesthang der Rigi. – Mitt. natf. Ges. Luzern, 30 (1988): 155–171.
- ZAUGG, A., LÖPFE, R., KRIEMLER, M. & KEMPF, TH. 2011K: Blatt 1114 Nesslau. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 141. – Erläuterungen: Zaugg & Löpfle.
- ZAY, K. 1807: Goldau und seine Gegend, wie sie war und was sie geworden, in Zeichnungen und Beschreibungen zur Unterstützung der übriggebliebenen Leidenden. – Orell Füssli, Zürich.
- ZEHNDER, J.N. 1956, 1974, 1988: Der Goldauer Bergsturz – Seine Zeit und sein Niederschlag. – Bergsturz-museum, Goldau. 3. stark erweiterte Aufl., 272 S. (1., 2., 3. Aufl.).
- ZSCHOKKE, H. 1836: Die klassischen Stellen der Schweiz. – Kunstverl. Karlsruhe.

René Hantke: Vorfahren, Eltern, Studium, Sammlungsarbeit, Forschung und Lehre

RENÉ HANTKE

Vorfahren

Mein Grossvater Paul Hantke (1865–1938) wurde, nachdem sein Vater Josef Wecker-Hantke, Instruktor in Preussischen Diensten in Berlin, zuvor verstorben war, in einem Berliner Waisenhaus untergebracht, dies im Gegensatz zu seinem um Jahre älteren Bruder Josef Wecker, Feldwaibel in Preussischen Diensten, später Bankangestellter. Im Waisenhaus verbrachte mein Grossvater nach preussischer Manier mit wenig Zuneigung Kindheit und Schulzeit. Immerhin konnte er dort noch eine Lehre als Buchbinder absolvieren. In seinen Wanderjahren kam er 1885 nach St. Gallen, fand dort im Betrieb Reichhart-Lehner Arbeit als Buchbinder und Pressvergolder und lernte dort seine spätere Gattin Berta Lehner (1865–1931), eine tüchtige Schneiderin, kennen. 1904 erwarb Paul Hantke-Lehner mit Paul (1890–1957) und Margrit (1893–1974) dank des Mitverdiensts seiner Frau Berta, die, neben dem Haushalt, wie ihr früh verstorbener Vater ein kleines Schneider-Atelier betrieb, mit zwei Jahreseinkünften in der Toggenburger Gemeinde Lütisburg das Schweizer Bürgerrecht.



Eltern, Geburt, Kindheit

Mein Vater absolvierte Primar- und Sekundarschule in St. Gallen, besuchte während eines Jahres ein Institut in Herisau, dann folgte eine kaufmännische Lehre in St. Gallen. Danach trat er ins Berufsleben ein und verheiratete sich 1919 mit Antonia Muttенzer (1894–1962).

Am 22. Januar 1925, einem stürmischen Wintertag, wurde ich, René Hantke, nach 6 kinderlosen Ehejahren in Rorschach geboren. Mein Vater Paul Hantke-Muttенzer arbeitete damals als Buchhalter in der Firma Raduner, Textilveredlung, in Horn TG. Die Mutter besorgte den Haushalt, in dem – nach dem Tod seiner Frau Crescentia geb. Bertle (1860–1919) – auch mein Grossvater Philipp Muttенzer (1865–1948), Bierbrauer, zuletzt Mitarbeiter bei seinem Sohn Edmund, Textildruck in St. Gallen, lebte.

Wie Vater und Mutter konnte auch ich in einer Familie aufwachsen, wobei allerdings auch ich nicht allzu viel Zuneigung empfangen hatte. Zu oft wurde

mir mit der Einweisung in eine Erziehungsanstalt gedroht, was mich dauernd betrübte. Gleichwohl konnte ich problemlos die Primarschule in Rorschach (1931–1936) absolvieren.

Im Herbst 1934 wurde mein Vater von den Rorschacher Stimmbürgern als Vermittler (Friedensrichter) und anschliessend vom Stadtrat als Armenpfleger (Fürsorgesekretär) gewählt. Zuvor hatte meine Mutter über Jahre in der Armenpflege mitgewirkt und zusätzlich führte ein pensionierter Fürsorgebeamter von Flawil meinen Vater kurzfristig ins neue Amt ein.

Nach der 6. Primarschulklasse konnte ich prüfungsfrei an die Sekundarschule wechseln. Doch erst als mein Pate sich einmal beim Vorsteher der Schule über mich erkundigte und ich von ihm als einer der Besten der ganzen Schule bezeichnet wurde, besserte sich das Verhältnis im Elternhaus. So musste ich nach der Sekundarschule nicht eine Banklehre antreten, sondern durfte mich an der technischen Abteilung der Kantonsschule in St. Gallen zur Matura (1944) weiterbilden.

Studium

Schon in der Kantonsschule begeisterten mich die Fächer Geographie mit Geologie und Biologie, besonders Botanik, die auch beim Studiengang an der Abteilung für Naturwissenschaften an der ETH (1944–1949) wegweisend blieben. Ein Studium war nur möglich, weil ich in den Ferien mit dem Einrichten von zwei Drogerien in St. Gallen Geld verdiente und meine Ausgaben auf das Allernötigste beschränkte.

Als Diplomarbeit wurde mir von Prof. Wolfgang Leupold die geologische Kartierung des Gebietes westlichster Glärnisch–Silberer–Bödmeren–Muotathal zugewiesen. Hiezu fand ich im Sommer 1947 Quartier auf Hinter Silberalp und Chäseren im Rossmattental. Da sich die Vorlesungen im Sommersemester 1948 auf die ersten zwei Wochentage beschränkten, reiste ich an diesen Tagen von Rorschach nach Zürich und verbrachte den Rest der Woche bei gutem Wetter mit Feldaufnahmen im Raum Muotathal–Bödmeren, bei schlechtem in Rorschach mit

Texten und Zeichnen für die Diplomarbeit. Schon zur Studienzeit wurde ich von Rudolf Trümpy und Lorenz Wyssling für die Reinzeichnung ihrer Dissertationsgraphica engagiert. Dies war wohl auch der Grund, weshalb mich später Prof. Rudolf Staub für Kartenbeilagen zu seinen Publikationen wählte – zuerst privat, später als Assistent.

Das vorletzte Wintersemester (1947/48) verbrachte ich an der Université de Grenoble bei den Professoren Gignoux und Moret, Kapazitäten in Geologie und Paläozoologie/Paläobotanik. Dort bekam ich eine Platte fossiler Pflanzen zu Gesicht, die das Geologisch-paläontologische Institut der Universität Freiburg i. Br. in grossem Stil im Schrotzburger Tobel, einer Öhninger Fundstelle auf der Nordseite des Schienerberges, abgebaut hatte. Die Fossilplatte hat mich begeistert und zurück in Zürich, wurde ich vom Konservator, Prof. Alphonse Jeannet, in die Sammlungen in den Katakomben des Geologischen Institutes geführt, wo über 10 Tonnen solcher Fossilplatten lagen. Diese hatte Hans Stauber nach seiner Diplomarbeit, einer geologischen Kartierung des Öhninger Fundstellengebietes, für eine vorgesehene Dissertation im Schrotzburger Tobel abgebaut, mit einem Arbeitslosen 100m hochgetragen, in einer Scheune antrocknen und zur Bearbeitung nach Zürich fahren lassen. Doch mit Staubers Inangriffnahme einer honorierten Dissertation in Nordost-Grönland war sein Interesse an der Bearbeitung des Schrotzburger Fossilgutes geschwunden. Für mich aber war klar, dass ich nach der Diplomarbeit – in Staubers Einverständnis – mich an die Bearbeitung dieses Fossilgutes wagen würde, was dank einer Halb-, dann einer Vollassistenz am Institut möglich wurde.

Dissertation

Die fossile Flora der Öhninger Fundstelle Schrotzburger Tobel lieferte mit über 15'000 Resten, die heutigen Pflanzen zuzuordnen waren, vorwiegend Bäumen, einen fundierten Einblick in die Altwasserläufe eines mittelmiozänen Flusses säumende Auenwälder: einen älteren, etwas wärmeliebenden, artenarmen und einen jüngeren, durch 50m Glimmersande getrennten, deutlich artenreicheren, etwas kühleren, doch – verglichen mit den von OSWALD HEER (1859) ermittelten Werten um gut 7°C, wegen der seither erfolgten Klimaerwärmung – heute noch um 6°C wärmeren Auenwald. Neben den auch durch Früchte belegten Neuzuweisungen von Blättern fanden sich drei das Altwasser dokumentierende Arten von Wasserpflanzen. Im Spätherbst 1952 war die Arbeit fertig und im Dezember die Doktorprüfung bestanden. Der Antrag des Korreferenten, Prof. Walo Koch, Botaniker, auf Auszeichnung mit silberner Medaille der ETH wurde vom Direktor des Geologischen Institutes, Prof. Rudolf Staub, warm unter-

stützt. Zugleich war damit auch die Unterbringung in einer bedeutenden wissenschaftlichen Zeitschrift und die Druck-Finanzierung gesichert.

Erste Berufsarbeit: Revision und Neugestaltung der Sammlung

Für die Ausstellung der in der Dissertation abgebildeten fossilen Pflanzenreste konnte – neben Heers Öhninger Flora – in der paläobotanischen Sammlung eine ganze Vitrinenreihe für die ebenfalls mittelmiozäne Schrotzburger Flora hergerichtet werden, und in den Schubladen darunter fanden die weiteren Platten ihren Platz, sodass der Präparator und Zuständige für die Sammlungen der Doktoranden, Victor Messerli, befriedigt feststellen konnte «c'est la seule collection qui soit en ordre».

Doch dann galt es auch die übrigen Sammlungen des Geologischen Institutes, die seit Albert Heims und Louis Rolliers Zeiten vom nachfolgenden Konservator, Prof. Jeannet, im Wesentlichen «konserviert» worden waren, zu revidieren und modern zu präsentieren. So wurde neben den übrigen fossilen Pflanzensammlungen in der stratigraphisch-paläozoologischen Sammlung mit der Trias begonnen. Dabei wurde auch mein Nachfolger in der Vorlesungsassistenten, Hans Heierli, von Jeannets Nachfolger, Prof. R. Trümpy, als neuer Dozent für Stratigraphie und historische Geologie sowie als Konservator der Sammlung eingesetzt. Doch mit den aufkommenden Umbauplänen hielt sich die Sammlungsbegeisterung bald in Grenzen. Der Lichthof des Naturwissenschaftlichen Gebäudes, wo der Hauptteil der Sammlungen nach dessen Fertigstellung 1914 vom Hauptgebäude der ETH untergebracht worden war, drohte in Hörsäle, die Seitenflügel in Laboratorien umgebaut zu werden. Auch ein erneuter Umzug, allenfalls in die im Bau befindlichen Räume auf dem Hönggerberg, und damit die Zukunft der Sammlungen waren äusserst ungewiss.

Geologische Forschung: Habilitation

Die weitere Zukunft sah ich in einer Vorbereitung auf das Lehramt mit einer Habilitation. Didaktisch konnte ich mich hierzu in den Frühjahrs-Semesterferien 1953 an der Sekundarschule Rorschach bei einer dreiwöchigen Stellvertretung in Biologie und 1955 bei einer solchen in Geographie-Geologie am Freien Gymnasium Zürich etwas vorbereiten.

Im November 1956 erfolgte der Umzug von Rorschach mit dem todkranken Vater ins neue Eigenheim in Ürikon/Stäfa. Damit hörte der Zwiespalt zwischen Zimmernehmen in Zürich und fast täglicher Zugfahrt von Rorschach nach Zürich auf. Von Ürikon gelangte ich weit schneller ans Institut nach Zürich und für die

Feldaufnahmen ins Glarnerland und in die Zentralschweiz. Da als Mitarbeiter am Geologischen Institut nur eine bedeutendere geologische Arbeit zählt, hatte ich mich schon während der Drucklegung der Dissertation mit der wissenschaftlichen Ausdehnung der Diplomarbeit nach Westen und nach Osten beschäftigt. Neben paläobotanischen und geologischen Arbeiten verfasste ich in den Wintermonaten 1955–1957 zahlreiche Artikel zur helvetischen Kreide für das internationale stratigraphische Lexikon, das aber erst 1966 erschien. Im Winter 1958/59 beschäftigte mich die Niederschrift der «Tektonik der helvetischen Kalkalpen zwischen Obwalden und dem St. Galler Rheintal» (1961), mit der ich mich im Herbst 1959 habilitiert hatte. Darin konnte die Tektonik zwischen Urnersee- und Linth-Hochzone fein-stratigraphisch geklärt werden. Zwischen Urnersee–Glärnisch-Hochtor und Chaiserstock–Rossmattental, in der Bisistal-Depression, blieben die höchsten, ursprünglich südlichen Bereiche der Axen-Kreide, als Bächistock- und Silberer-Teildecken auf der nördlicheren Axen-Kreide liegen. An den beiden Rändern wurden diese jedoch von der weiter südlich beheimateten Drusberg-Decke seitlich abgeschert und an den Alpenrand gestaut. Im Osten wurde die Silberer-Teildecke als Chalberstock–Aubrig–Gugelberg-Schuppe erkannt, im Westen war diese als Urmiberg–Bürgenstock–Muoterschwanderberg-Einheit abgeschert und an den Alpenrand verfrachtet worden, was ihre Detailstratigraphien – vor allem der Siltstein-Horizont im Dach des Rawil-Members sowie Ausbildung und Mächtigkeit der Garschella-Formation – bestätigten. Der Bächistock-Teildecke entspricht im Osten nördlich des Walensees der ebenfalls an den Alpenrand verfrachtete Mattstock, im Westen, im Pilatus, die Matthorn-Abfolge; das dort nördlich anschliessende Esel–Tomlishorn-Element entspricht am Urnersee dem Axen-Nordlappen, weiter östlich der nicht abgescherten Axen-Kreide; das nördlichste Pilatus-Element, die Klimsenhorn-Kette, am Urnersee dem «Axen-Südlappen».

Gegen die Linth-Hochzone wurde auch der Stirnbeereich der Mürtschen-Decke, die Mürtschen-Kreide, nördlich des Walensees von ihrer Jura-Unterlage abgeschert, und vom Jura-Kern der Walenstadt-Zwischendecke und der Lüsis-Stirn wurde gleich die gesamte ihr ursprünglich aufliegende Kreide von der Churfürsten-Decke (= östliches Äquivalent der Drusberg-Decke) abgeschert und als synklinale Faltenstrukturen, als mittlere und nördliche Säntisketten an den Alpenrand verfrachtet.

Vertiefung der paläobotanischen Kenntnisse

Ein Aufenthalt am Botanischen Institut der Universität Kraków bei Prof. Wladislaw Szafer, Spezialist für tertiäre Früchte und Samen, brachte mit der Durchsicht seiner Sammlungen aus dem polnischen Jung-

tertiär weitere paläobotanische Kenntnisse. Zugleich wies Szafer darauf hin, dass bei einigen von HEERS Gattungszuweisungen sich eine Neuuntersuchung lohnen würde.

Lehr- und Forschertätigkeit

Die Lehr- und Forschertätigkeit (1959–1992) am Geologischen Institut der ETH und Universität Zürich gestaltete sich mannigfaltig. Einerseits Geologie: Stratigraphie, Tektonik und später vor allem Quartärgeologie, und andererseits Paläobotanik: Überprüfung von HEERS Molassepflanzen-Gattungen und beginnende Paläopalynologie. Neben einem Kurs zur erweiterten Habilitationsarbeit: «helvetische Kalkalpen» wurde eine Vorlesung über Paläobotanik mit Übungen aufgebaut, dann eine solche zur Quartärgeologie der Schweiz und ihrer Nachbargebiete mit Übungen im Feld. 1965 wurde – nach einem kurzen Einführungskurs bei der Shell in Den Haag – auch «Präquartäre Pollen» in den Paläobotanik-Lehrplan eingebaut und dazu eine Vergleichssammlung in die Wege geleitet. Nach PETER HOCHULIS palynologischer Diplomarbeit am Höronen (1973) und der Dissertation im Oligozän und Untermiozän der Ostalpen (1978) konnte er vollumfänglich mit der präquartären Palynologie betraut werden.

Heirat, Familiengründung

Im März 1962 verstarb meine Mutter. Im Herbst verheiratete ich mich mit Berta Wipf. Auch von ihren Eltern, Jakob und Paula Wipf-Riegger, Landwirt in Seuzach, den beiden Schwestern und vom Bruder wurde ich liebevoll angenommen. Im August 1963 kam zu aller Freude Christine und im März 1966 Stefan zur Welt.

Mit der Offerte, das Neujahrsblatt für 1965 der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich zu verfassen, konnte die Revision der fossilen Eichen und Ahorne aus der Molasse der Schweiz und von Öhningen verwirklicht werden. 1966 verlieh mir der Bundesrat die Würde eines Titularprofessors.

1967 konnte – dank zahlreicher Spender – nach eigenen Feldarbeiten in den noch fehlenden Bereichen, Hinweisen von Kollegen und jahrelanger Zeichenarbeit mit Samuel Kappeler die «Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete 1:50'000» in 7000 Exemplaren gedruckt werden. Innert 10 Jahren war die gesamte Auflage verkauft.

Im Sommer 1967 hatte ich Gelegenheit, am Internationalen Kongress für Quartärforschung an der University of Colorado in Boulder, Colorado, und anschliessend an mehrwöchigen Exkursionen in den Rockies als Vertreter der Schweiz teilzunehmen. Auf dem Heimweg wurde ich von Werner Brückner, dem

Aufnahmegeologen von Blatt Schächental, meines südlichen Nachbargebietes, für einen Besuch auf Neufundland eingeladen, wo er mir seine Quartärprobleme zeigte.

Visiting-Professor an der University of Colorado in Boulder

Ein Jahr darauf folgte 1968/69 ein zwei-semesteriger Austausch-Lehraufenthalt als Visiting-Professor an der University of Colorado mit Vorlesungen in Sedimentology, Stratigraphy, Geodynamics und eine Geology of the Alps, für den dort wirkenden Dozenten, Prof. Ted Walker, der sein Sabbatical-Year für sein Red Bed-Projekt in Zürich mit Feldarbeit-Möglichkeiten in den Alpen verbringen wollte, und so konnten wir auch die Häuser tauschen.

Die Vorlesungen an der University of Colorado in Boulder haben mich recht gefordert. Der Aufenthalt hat mich in neue Gebiete der Geologie eingeführt, und ich konnte ein Land, dessen Geologie und Leute etwas kennen lernen. Für die am Institut in Zürich neu aufzubauende Pollensammlung sammelte ich Pollen nordamerikanischer Arten, die ich zur Präparation nach Zürich schickte.

Christine konnte den Kindergarten besuchen, lernte American English und auch für meine Frau war der Aufenthalt in den USA eine einmalige Abwechslung. Während ich in der Karwoche die Klausurarbeiten meiner Studenten durchsah, fuhr sie mit den Kindern in öffentlichen Bussen – leider mit einigen Mühen – zum Grand Canyon. Während der Semester konnte die Familie an Wochenenden auf Exkursionen mit einem versierten Kollegen freie Plätze in von Studenten gefahrenen Trucks belegen und so Rockies und den Yellowstone-Nationalpark kennen lernen. Unsere Rückreise in die Schweiz war noch von mehreren Stationen im Südosten gekrönt.

Die Kinder wachsen heran und werden selbständig

Wieder zurück in der Schweiz besuchten die Kinder zunächst Kindergarten und Primarschule in Ürikon und – nach dem Umzug an die Glärnischstrasse – Primar- und Sekundarschule in Stäfa. Christine machte darnach eine Lehre als Pharma-Assistentin in Zürich, die sie als Beste ihres Jahrgangs abschloss. Stefan besuchte nach der Sekundarschule die mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung der Kantonsschule in Zürich. Nach der Matura wandte er sich dem Studium der Geographie zu. Christine zog es nach einigen Jahren als Pharma-Assistentin in Zürich in die weite Welt hinaus, zunächst nach England, dann nach Neuseeland.

Erneuter Ausbau der Lehre: Quartärgeologie

Nach meinen Aufenthalten in Nordamerika wagte ich in Zürich – neben den bisherigen Kursen in Paläobotanik und über das Schweizer Quartär – eine Vorlesung über das Quartär von Nord- und Südamerika aufzubauen. Schon vor meiner Lehrtätigkeit zeigte sich, dass die bisher vertretenen Auffassungen über das Quartär in den Alpen und ihrem Vorland verschiedentlich revisionsbedürftig waren und leider bei vielen Zeitgenossen es noch immer sind. So konnten 1978, 1980 und 1983 drei Bände zum «Quartär der Schweiz und ihrer Nachbargebiete» erscheinen. Im Anschluss an meine Forscher- und Lehrtätigkeit verfasste ich eine «Landschaftsgeschichte der Schweiz» und eine «Flussgeschichte Mitteleuropas», die beide vor allem in Deutschland reichen Zuspruch fanden.

Besuch bei Christine auf Neuseeland, Stefans Tätigkeit

Im Winter 1993 konnten meine Frau und ich Christine besuchen, zusammen mit Stefan, der sich nach dem Studium der Reisebranche zuwandte. Eines Abends anfangs Februar trafen wir uns in New Plymouth an der Westküste der Nordinsel von Neuseeland und lernten – teils zusammen, teils getrennt – das ferne Land etwas kennen. Christine kehrte nach einem weiteren Neuseeland-Jahr in die Schweiz zurück; sie besuchte Kurse in der Tourismus-Branche, bereiste Peru und Chile. 2002 verheiratete sie sich mit Raúl Alvarez (*1959). Stefan wirkte zunächst in Verkehrsbüros, dann als Verkehrsdirektor, dann als Marketing-Chef bei der Matterhorn-Gotthard-Bahn. 2003 verheiratete er sich mit Cornelia Haller (*1965). 2006 kam unser Enkel Sven zur Welt.

Kartierungen für die Geologische Landesaufnahme, eigene Schüler

Die neuen Fakten über die helvetischen Kalkalpen wurden nach der Habilitationsarbeit in jahrzehntelanger Kleinarbeit zum Teil im Auftrag der Geologischen Landesaufnahme 1:10'000 weiter auskartiert und die Ergebnisse sukzessive – im Vorland – zusammen mit Diplomanden: M. AMMANN (1979), W. RELLSTAB (1978), R. WEBER (1978) – auf den Blättern St. Margrethen (W-Hälfte)–Diepoldsau (W-Hälfte)–Feldkirch (NW-Ecke, 2003K) festgehalten. Bei der subalpinen Molasse von Atlasblatt Rigi (2005K, 2006) war BRUNO STÜRM (1969, 1973), bei jener von Blatt Einsiedeln (2009K, 2010) waren seinerzeit als Diplomanden: E. MÜLLER (1978), H.-P. MÜLLER (1967), A. RISSI (1968) und an Doktoranden H.-P. MÜLLER (1971) und S. SCHLANKE (1974) beteiligt.

Zwischen Zürichsee und Toggenburg wirkten als Diplomanden W. KYBURZ (1968), H.-P. FREI (1976), CH. GRÜNIGER (1972), B.-F. ISELI (1975) und J.-R. KLÄY (1965), als Doktoranden J.-R. KLÄY (1969), O. KELLER (1974) und H.-P. FREI (1979). C. SIDLER (1988) arbeitete über Jahre palynologisch an KENNETH HSÜS Zürichsee-Bohrungen und Schieferkohle führenden südöstlichen Abfolgen. H.M. BÜRGISER (1980) beschäftigte sich mit dem «Appenzeller Granit» über dem Meilener Kalk als «Hüllstein-», Degersheim- und Abtwil-Konglomerat, seit U.P. BÜCHI (1950 ff.) und relativ kleingeröllige Muren von gewaltigen Ausdehnungen. Im benachbarten Vorarlberg arbeitete M. EBERHARD (1982, 1984) zunächst als Diplomand, später als Doktorand (1987, 1989) zwischen Arlberg und Adelegg (Allgäu). Zugleich wurden dabei fossile Floren entdeckt, deren Reste rezenten Gattungen zugeordnet werden konnten.

Ebenso wurden Teile der Erläuterungen zu W. BRÜCKNER †, P. ZBINDEN et al. (2010) Blatt Schächental verfasst, hatten doch Werner Brückner und ich uns während Jahren im Sommer im Klausenpass-Hotel, im Herbst in Spiringen bei leidem Wetter über die Geologie von Blatt Schächental unterhalten. Ferner wurden Blatt Muotathal (2013), die Blätter Linthal, Klöntal und Ibergereg des Geologischen Atlas der Schweiz auf 1:25'000 reduziert reingezeichnet, durch Profile und Erläuterungen ergänzt (Manuskripte bei der Geol. Landesaufnahme). Doch beim Druck haben die Redaktoren mit ihrem Tektoniker und obersten Chef in den tektonischen Karten und Erläuterungen immer wieder versucht, alte, nie durch Fakten belegte Auffassungen – entgegen jahrzehntelanger sorgfältiger Aufnahmen – durchzusetzen.

Fakten zum Abtrag, jungoligozäne Erratiker in der Comasker Molasse

In den Erläuterungen wurde auch versucht, konkrete Hinweise über den Abtrag der untersuchten Gebirgsketten aufzuzeigen, doch von den Redaktoren – möglicherweise auf Anweisung der Geologischen Kommission – weggestrichen, da diese nicht in ihre gelernten und über Jahrzehnte verbreiteten Vorstellungen passten. Dabei wird etwa der Abtrag der mittelpenninischen und ostalpinen Decken für die Molasseschüttungen ins Feld geführt. Doch die einstigen Bündner Gebirgsbäche und -flüsse sind – selbst bei Hochwasser – ein viel zu bescheidenes Transportmedium, um derart gewaltige Geröllmassen zu schütten. Nur ausbrechende Gletscherseen – entstanden hinter von Gletschereis gestauten Riegeln – konnten plötzlich soviel Wasser freisetzen, dass Lawinenschutt und an Scherstörungen niedergefahrener Bergsturz-Schutt als katastrophale Geröll-Muren ins Alpenvorland verfrachtet wurden. Die Ausbrüche erfolgten kühl- bis kaltzeitlich, besonders die

Höhronen-Schüttung mit ihrem extrem hohen Gehalt an Kristallin-Geröll, das von einem durchs Ur-Engadin geflossenen Ur-Inn-Gletscher mit Transfluenzen über die Pässe Ur-Septimer, Ur-Julier und Ur-Albula stammt. Dies belegen auch die jungoligozänen Riesen-Erratiker um Como, die durch die Talungen Bergell – Piano di Chiavenna – Veltlin – Comersee dorthin gelangt waren (HANTKE & E. JÄGER 1982, JÄGER & HANTKE 1983, 1984). Ebenso hat sich 1987 gezeigt, dass auch die Jura-Nagelfluhen kaltzeitliche Ausbrüche von Vogesen- und Schwarzwald-Gletschern sein müssen, die in schon damals verfirnten Gipfelregionen der beiden Gebirge ihren Anfang nahmen.

Im Silberen-Bödmeren-Gebiet konnte schon 1982 auf 2000 m Höhe bei SW-Exposition ein Lösungsabtrag von 1 cm/1000a ermittelt werden: unter letztspäteiszeitlich verfrachteten Erratikern entstanden 12 cm hohe Kalkschemel. Im Oberseetal, auf Rautalp, finden sich gar solche auf noch etwas höheren Kalkschemeln, sodass jene Erratiker schon bei einem älteren Eisstand verfrachtet worden waren.

Das Roggenstöckli, eine Klippe, die durch eine Felschwelle den Anschluss an die Hauptmasse der Druesberg-Decke verpasst hatte, lieferte – nach Abzug des Weitergleitens der Decke und später erfolgten Sackungen – einen Abtrag der Druesberg-Südwand von 0,16 mm/a, ein Wert, der sich auch an anderen Steilwänden der helvetischen Kalkalpen bestätigt hat.

Im Jahr 2000 wurde meine Forschung im alpinen Quartär an der Tagung der Deutschen Quartärvereinigung in Bern mit der Verleihung der Albrecht-Penck-Medaille gewürdigt.

Erneute paläobotanische Forschung

2005 erschien die von Urs Oberli im Aushub der Baugrube fürs Altersheim Risi gesammelte, von H.-J. GREGOR und mir bearbeitete frühmittelmiozäne (terrestrisches Burdigalien) Flora von Wattwil SG. 2011 konnte ein Ergänzungsband, «Eiszeitalter» mit den seit 1982 erfolgten Erkenntnissen erscheinen, so über warmzeitliche Floren und die Bedeutung immer zahlreicher erkannter Mittelmoränen, die sich bei alpinen Gletschern an deren Zusammenfluss durch von steilen Flanken auf die Gletscher niedergebrochenem Lockergut gebildet hatten. In der Folge wurde, teils mit GERHART WAGNER, teils von ihm (1997ff., 2014), das Mittelmoränen-Modell entwickelt und damit Auswirkungen auf weitere quartäre, kaum zu deutende Bildungen – Deckenschotter und Drumlins – einer sinnvollen Erklärung näher gebracht. Bei der Nordischen Vereisung und bei jener europäischer Mittelgebirge – Plateau Central, Vogesen, Schwarzwald, Böhmer Wald, Riesengebirge –, deren Kuppen von Eis bedeckt waren, konnte kaum Schutt auf die

Gletscheroberfläche gelangen. Schuttfluren in deren Vorfeld bestehen daher dort nicht aus Schottern, sondern aus Sand und Feinkies, was Penck richtig erkannt hatte.

Talbildung

Bei der Bildung alpiner und Mittelland-Täler kam weder dem fliessenden Wasser (ALBERT HEIM 1919) noch den Gletschern (A. PENCK & E. BRÜCKNER 1901–1909) die entscheidende erosive Bedeutung zu, sondern vor allem der Tektonik, der alpinen Gebirgsbildung. Wasser und Eis nutzten die Anlagen. Dabei wirkten besonders die Gletscher ausweitend. In den Alpen bewegten sich Deckenteile nicht nur gegen NNW, in ihrer generellen Schubrichtung, sondern nach dem grössten Gefälle. So öffnete sich das oberste Sihltal durch Abgleiten von Schrattekalk und aufliegender höherer Kreide auf Drusberg-Mergeln vom Fluebrig zum Mieserenstock gegen Westen. Klöntal und Brienersee-Talung entstanden durch Aufbrechen und Vorgeiten der Kreide auf deren ältesten Mergel-Abfolgen und im Glärnisch bzw. in der Faulhorn-Kette zurückgebliebenen Jura-Kernen.

Während die nordalpinen Gewässer der Unteren Süsswassermolasse noch über eine jungoligozäne Ur-Donau gegen Osten zur Paratethys entwässerten, wandten sich jene der Oberen Süsswassermolasse – ein mittelmiozäner Ur-Hochrhein mit Öhninger Altläufen – zunächst noch gegen WSW, weiter im Westen gegen Süden, wo er als Ur-Ain nordöstlich von Lyon ins damalige Mittelmeer mündete. Der Anschluss des Hochrhein an den Oberrhein erfolgte erst Jahrmillionen später.

Schicksalsschlag

Leider blieben auch mir Schicksalsschläge nicht erspart. Während der Tod von Grosseltern und Eltern im Nachhinein als normal empfunden wird, traf mich der Verlust meiner geliebten Tochter im Dezember 2007 besonders hart. Mit der Niederschrift einer ihrem Andenken gewidmeten Ergänzung zum Eiszeitalter (2011), konnte ich den Schmerz halbwegs überwinden.

Jüngste paläobotanische Arbeiten

2013 wurden Teile der fossilen Öhninger Flora erneut angegangen, die von OSWALD HEER (1855–1859) bearbeitet worden waren. Dabei zeigte sich, dass Reste von Weissdorn, Erle, Esche, Buche, Hopfenbuche und ein mit dem Gagelstrauch verwandter Strauch, sowie Fiederblättchen einer Rose im Oberen Schrotzburger Pflanzenlager wohl vorkommen, jedoch zahlenmässig stark zurücktreten. Vielleicht lag der Öhninger Maarsee und der etwas weniger wärme-

liebende, aber etwa gleichaltrige Schrotzburger Auwald schon nahe an der Vorkommengrenze dieser Arten. Öhninger Blätter, die HEER noch einem lindenblättrigen Feigenbaum zuschrieb, stammen nach E. KNOBLOCH & Z. KVAČEK (1965a, b, KNOBLOCH 1969) allenfalls von einem mit einer Sterculiacee verwandten, feuchte Standorte liebenden Baum. Doch ist dieser allenfalls einem in Mitteleuropa in der jungmiozänen Kalt- und Trockenzeit ausgestorbenen, kaum gezähnten Lindengewächs zuzuordnen, da auch Linden eine derartige Epidermis besitzen. A.N. KRISTOFOVICH (1957) hat in seinem posthum erschienenen Lehrbuch ein sehr ähnliches, aber weit älteres Fossil als Lindenblatt bezeichnet und es mit ostasiatischen Linden verglichen.

Eine Schrotzburger Pflanzenart, eine feuchte standortliebende Gleditschie, konnte nomenklatorisch richtiggestellt, und die spät-oligozänen Floren der östlichen Zentralschweiz, die PAUL MENZEL vor mehr als 100 Jahren (in BAUMBERGER & MENZEL 1914) bearbeitet hat, konnten jüngst teilweise noch revidiert werden.

Ergänzungen zu den Erläuterungen der Atlasblätter

Eine Zusammenfassung und eine Ergänzung zu den Erläuterungen der Geologischen Atlasblätter Rigi, Einsiedeln und Muotathal können ebenfalls im Band 18 der Berichte der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons Schwyz dargelegt werden. Damit wird meine publizistische Tätigkeit während 70 Jahren im Gebiet zwischen Berner Oberland und St. Galler Rheintal ihr Ende finden.

Literaturzitate (eigene siehe Wissenschaftliche Arbeiten und Publikationen von René Hantke)

- BAUMBERGER, E. & MENZEL, P. 1914: Beitrag zur Kenntnis der Tertiärflora aus dem Gebiete des Vierwaldstätter Sees. – Mém. Soc. paléontol. Suisse 40 (1914): 84 S., 4 Taf.
- BRÜCKNER, W. † & ZBINDEN, P. et al. 1987: Blatt 1192 Schächental. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 83. – Landeshydrolog. u. -geol., swisstopo Wabern.
- BÜCHI, U.P. & WELTI, G. 1950: Zur Entstehung der Degersheimer Kalknagelfluh im Tortonien der Ostschweiz. – Eclogae geol. Helv. 43/1.
- BÜRGISSER, H.M. 1980: Zur mittel-miozänen Sedimentation im nordalpinen Molassebecken: Das «Appenzellergranit»-Leitniveau des Hörnli-Schuttfächers (Obere Süsswassermolasse, Nordostschweiz). – Diss. ETH Zürich. – Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. 232: 196 S., 3 Taf.

- EBERHARD, M. 1987: Entwicklung von Sedimentation, Flora, Fauna, Klima und Relief von Mittelmiozän bis Quartär zwischen Arlberg (Vorarlberg/Tirol) und Adelegg (Allgäu). – Diss. Univ. Zürich. – Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. 267: 224 S., Anh. 18 S. + quartärgeol. Karte.
- EBERHARD, M. 1989: Klimaänderungen vom Mittel- bis Obermiozän aufgrund makroskopischer Pflanzenreste in Altwasser-Ablagerungen der Adelegg (Allgäu). – Geol. Bavar., 94: 459–484.
- FREI, H.-P. 1979: Geologie und Sedimentpetrographie der subalpinen Molasse der Nordost-Schweiz zwischen Wägitaler Aa und Urnäsch. – Diss. Univ. Zürich. – Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. 233.
- HEER, O. 1855–59: Flora tertiaria Helvetiae, Bde. 1–3. – Wurster Winterthur: 117, 110, 378 S., 50, 50, 56 Taf.
- Heim, ALB. 1919: Geologie der Schweiz I. – Tauchnitz, Leipzig.
- HOCHULI, P.A. 1978: Palynologische Untersuchungen im Oligozän und Untermiozän der Zentralen und Westlichen Paratethys. – Beitr. Paläontol. Österr., 4: 1–132.
- KELLER, O. 1974: Untersuchungen zur Glazialmorphologie des Neckertales (Nordostschweizer Voralpen). – Jb. st. gall. natw. Ges. 80.
- KLÄY, J.-R. 1969: Quartärgeologische Untersuchungen in der Linthebene. – Diss. ETH, Uster, Zimmermann: 87 S., 3 Beil. – Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. 106.
- KNOBLOCH, E. 1969: Tertiäre Floren von Mähren. – Moravské Museum Brno: 201 S.
- KNOBLOCH, E. & KVAČEK, Z. 1965a: Einige neue Erkenntnisse über «*Ficus*» *tiliaefolia* (A. BRAUN) HEER. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 121: 201–208.
- KNOBLOCH, E. & KVAČEK, Z. 1965b: *Byttneriophyllum tiliaefolia* (AL. BRAUN) KNOBLOCH et KVAČEK in den Tertiärfloren der Nordhalbkugel. – Sbornik geol. ved., Reihe P 5: 123–166, Praha.
- KRISHTOFOVICH, A.N. 1957: Paleobotanika. – Leningrad, Gostoptechizdat.: 650 pp.
- MÜLLER, E. 1978: Aufbau und Zerfall des würmeiszeitlichen Linth- und Reussgletschers im Raum zwischen Zürich- und Zugersee. – Eclogae geol. Helv. 71/1: 163–191.
- MÜLLER, H.-P. 1971: Geologische Untersuchungen in der subalpinen Molasse zwischen Einsiedeln und oberem Zürichsee (Kt. Schwyz). – Diss. Univ. Zürich – Vjschr. natf. Ges. Zürich 116/1: 1–153.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E. 1901–09: Die Alpen im Eiszeitalter, 1–3. – Tauchnitz, Leipzig.
- SCHLANKE, S. 1974: Geologie der Subalpinen Molasse zwischen Biberbrugg SZ, Hütten ZH und Ägerisee ZG, Schweiz. – Diss. Univ. Zürich – Eclogae geol. Helv. 67/2: 243–331.
- SIDLER, C. 1988: Signification de la palynologie appliquée aux sédiments détritiques et organogènes du Pléistocène supérieur: Eem–Tardiglaciaire würmien et de l'Holocène entre Zoug, Zurich et Baden (Suisse). – Diss. Univ. Zurich. – Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. 280.
- STÜRM, B. 1973: Die Rigi-Schüttung – Sedimentpetrographie, Sedimentologie, Paläogeographie, Tektonik, – Diss. Univ. Zürich.
- WAGNER, G. 1997: Eiszeitliche Mittelmoränen im Berner Mittelland. – Mitt. natf. Ges. Bern, N.F., 54: 91–137.
- 2014: Mittelmoränen, Heute und in der Eiszeit. – Haupt, Bern: 158 S.

Wissenschaftliche Arbeiten und Publikationen von René Hantke

Nach einer ersten Arbeit über die im Laboratoire de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Grenoble liegenden Sammlungen von Aptychen, mehrere 10'000 Exemplare aus den französischen Westalpen und ihrem Vorgelände, die ich während meines dortigen Studienaufenthaltes vorwiegend nach deutschsprachiger Literatur zu klassieren suchte, und der Diplomarbeit:

- HANTKE, R. 1949: Geologische Untersuchungen im Silbergebiet (Kantone Schwyz und Glarus). – Unveröff. Dipl.-Arb. ETH, Zürich, 88 S. – Dep.: erdwiss. Bibl. ETH Zürich, seien die Publikationen aufgelistet:
- HANTKE, R. 1951: Pflanzliche Fossilreste aus dem Dorfbach Wattwil. – In: BÜCHI, U.P. & WELTI, G.: Zur Geologie der südlichen mittelländischen Molasse der Ostschweiz zwischen Goldingertobel und Wattwil. – Eclogae geol. Helv. 44/1: 195–196.
- 1952a: Die wahre Natur von *Carpinus pyramidalis*, *Dodonia pteleaefolia*, *Laurus princeps* und *Hiraea expansa*. – Eclogae geol. Helv. 45/2, 350–351.
- 1952b: Obermiozäne Pflanzengesellschaften. – Eclogae geol. Helv. 45/2: 351–356.
- 1953a: Vom Werden der Alpen. – Schweizer J. 1953/8: 3 S.
- 1953b: Gliederungsversuch der Oberen Süsswassermolasse im Gebiet der Hörnlischüttung. – Eclogae geol. Helv. 46/1: 1–8.
- 1953c: Die Blattreste fossiler *Crataegus*-Arten aus der Oberen Süsswassermolasse von Oehningen (Südbaden) und Le Locle (Neuchâtel). – Ber. schweiz. bot. Ges., 63: 390–396.
- 1953d: *Celtis*-Fruchtreste aus der Oberen Süsswassermolasse von Littenheid (Kanton Thurgau). – Ber. schweiz. bot. Ges. 63: 397–398.
- 1953e: Ein Blattrest einer Fiederpalme aus dem untersten Burdigalien von Wattwil (Toggenburg). – Ber. schweiz. bot. Ges. 63: 399–401.
- 1954a: Die fossile Flora der obermiozänen Öhninger Fundstelle Schrotzburg (Schienerberg, Süd-Baden) – Denkschr. schweiz. natf. Ges. 80/2: 26–118.
- 1954b: Die Entwicklungsgeschichte des Rheinsystems. – Schweizer J. 1954/3: 2 S.
- 1954c: Die fossilen Betulaceen-Reste aus der Oberen Süsswassermolasse von Oehningen (Süd-Baden). – Ber. schweiz. bot. Ges. 54, 210–218; Verh. schweiz. natf. Ges., Altdorf 1954: 134–135.
- 1956a: Fossile Floren des Buechbergs (Oberer Zürichsee). – Ber. schwyz. natf. Ges. 5: 7–23.
- 1956b: Die geologische Entstehungsgeschichte des Berner Oberlandes. – Schweizer J. 1956/5: 2 S.
- 1958a: *Ptychodus*-Zähne aus dem Seewerkalk von Grabs (Kt. St. Gallen). – Eclogae geol. Helv. 51/1: 61–64 + 1 Taf.
- 1958b: Die Gletscherstände des Reuss- und Linth-Gletschers zur ausgehenden Würmeiszeit. – Eclogae geol. Helv. 51/1: 119–149.
- 1958c: Zahlreiche Artikel zur Helvetischen Kreide: Berner Oberland – Zentralschweiz – Ostschweiz. In: Stratigraphisches Lexikon der Schweiz., 2 Bde. – Manusk., dep. Geol. Inst. ETH u. Schweiz. Geol. Komm. – Druck 1966 in: PRUVOST, P., RUTSCH, F.R. (eds.): Lexique stratigraphique international: Europe, Suisse, 7c: Alpes suisses et Tessin méridional: 1357 pp.

- HANTKE, R. 1959a: Zur Altersfrage der Mittelterrassenschotter – Die riss/würm-interglazialen Bildungen im Linth/Rhein-System und ihre Äquivalente im Aare/Rhone-System. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 104/1: 1–47.
- 1959b: Der spätglaziale Vorstoss des Glärnischgletschers. – Ggr. Helv. 14/2: 76–78.
- 1959c: Zur Phasenfolge der Hochwürmeiszeit des Linth- und des Rhein-Systems, verglichen mit demjenigen des Inn- und des Salzach-Systems sowie der nordischen Vereisung. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 104/4: 390–402.
- 1960a: Verzeichnis der wissenschaftlichen Publikationen von Rudolf Staub 1914–1959. – Eclogae geol. Helv. 52/2 (1959): 403–406.
- 1960b: Zur Jura/Kreide-Grenze im mittel- und südhelvetischen Faziesbereich der Ostschweiz. – Eclogae geol. Helv. 52/2 (1959): 547–554.
- 1960c: Zur Gliederung des Jungpleistozäns im Grenzbereich von Linth- und Rheinsystem. – Ggr. Helv. 15/4: 239–248.
- 1961a: Tektonik der helvetischen Kalkalpen zwischen Obwalden und dem St.Galler Rheintal. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 106/1: 1–212, 9 Profiltaf. + tekton. Karte 1:100'000.
- 1961b: Die Nordostschweiz zur Würm-Eiszeit. – Eclogae geol. Helv. 54/1: 123–132.
- 1961c: Zur Quartärgeologie im Grenzbereich von Reuss- und Linth/Rheinsystem. – Ggr. Helv. 16/4: 212–223.
- 1962a: Zur Altersfolge des höheren und tieferen Deckenschotters in der Nordostschweiz. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 107/4: 221–232.
- 1962b: Die geologische Sammlung der ETH. – In: Die öffentlichen naturhistorischen Sammlungen und die medizinische Sammlung beider Hochschulen in Zürich. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 107/4: 256–258.
- 1963a: Frühjahrsexkursion der Geologischen Gesellschaft in Zürich vom 27. April 1963 nach Bäch und an den Buechberg. – Exkursionsbeilagen, 6 S.
- 1963b: Ergebnis der pollenanalytischen Untersuchung der dunkelbraunen Lebertorfschicht unmittelbar unter der Bimsstaublage. – In: HOFMANN, F.: Spätglaziale Bimsstaublagen des Laachersee-Vulkanismus in schweizerischen Mooren. – Eclogae geol. Helv. 56/1: 158.
- 1963c: Aus der Urzeit. – In: Chronik der Gemeinde Seuzach. – Seuzach: 7–9.
- 1963d: Chronologische Probleme im schweizerischen Quartär. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 45: 45–60.
- 1963e: Zur Erdgeschichte von Weiach. – Weiacher Kies – Festschr. Einweihung Kieswerkes Weiach 7. Dez. 1963, Kieswerk Weiach AG. – Buchdr. Stäfa, 14 S.
- 1963f: Naturschutzobjekte von wissenschaftlicher Bedeutung: Die schieferkohleführenden Schotter am Buechberg (Zürcher Obersee). – In: 18. Jahresbericht der Naturschutzkommission der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich für das Jahr 1962. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 108/4: 455–458.
- 1964: Die fossilen Eichen und Ahorne aus der Molasse der Schweiz und von Öhningen (Süd-Baden). – Eine Revision der von Oswald Heer diesen Gattungen zugeordneten Reste. – Njbl. natf. Ges. Zürich (1965) 167: 140 S.
- 1965a: Die Geologische Sammlung der ETH. – In: Die öffentlichen naturhistorischen Sammlungen und die medizinische Sammlung beider Hochschulen in Zürich im Jahre 1964. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 110/4, 494–498.
- HANTKE, R. 1965b: Zur Chronologie der präwürmeiszeitlichen Vergletscherung in der Nordschweiz. – Eclogae geol. Helv. 58/2: 877–899.
- 1966a: Der 7. Kongress der Internationalen Assoziation für Quartärforschung (INQUA). – Ggr. Helv. 21/1: 32–35.
- 1966b: Eine neue geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete. – NZZ: 8. Okt. 1966, Bl. 5/6.
- 1966c: Die fossilen *Liquidambar*-Reste (Amberbaum) aus der Molasse der Schweiz und von Öhningen (Südbaden). – Eclogae geol. Helv. 50/2: 981–988.
- 1966d: Artikel zur Helvetischen Kreide: Berner Oberland – Zentralschweiz – Ostschweiz – In: PRUVOST, P., RUTSCH, F.R. (eds.): Lexique stratigraphique international 1, Europe 7c/1, 2: Alpes suisses et Tessin méridional.
- et coll. 1967a: Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete 1:50'000 mit Erläuterungen. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 112/2: 91–122 + 2 Karten 1:50'000.
- 1967b: Teilstrecke 4: Schwyz–Flüelen. – In: Exkursion Nr. 31: Umgebung von Zürich–Einsiedeln–Ibergereggen–(Mythen)–Brunnen–Flüelen. – Geol. Führer Schweiz 7: 568–571. – Schweiz. Geol. Ges. – Wepf, Basel.
- 1967c: Exkursion Nr. 32: Vierwaldstätter See mit Variante 32a: Aaldorf–Isleten–Bauen. – Geol. Führer Schweiz 7: 572–582 – Schweiz. Geol. Ges. – Wepf, Basel.
- 1967d: Die würmeiszeitliche Vergletscherung im oberen Toggenburg (Kt. St. Gallen). – Vjschr. natf. Ges. Zürich 112/4: 223–242.
- 1967e: Die neue geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete. – Eclogae geol. Helv. 60/2: 617–620.
- 1967f: Die geologische Sammlung der ETH. – In: Die öffentlichen naturhistorischen Sammlungen und die medizinische Sammlung beider Hochschulen in Zürich im Jahre 1966. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 112/4: 250–251.
- 1968a: Allgemeines zur Erd- und Vegetationsgeschichte. – In: Die Ältere und Mittlere Steinzeit. – Ur- u. frühgesch. Archaeol. Schweiz 1: 1–6.
- 1968b: Erdgeschichtliche Gliederung des mittleren und jüngeren Eiszeitalters im zentralen Mittelland. – In: Die Ältere und Mittlere Steinzeit. – Ur- u. frühgesch. Archaeol. Schweiz 1: 7–26.
- 1968c: Features of Pre-Würm-Glaciations in Northern Switzerland. – Proceed. VII, 14e Congr., Internat. Union Quatern. Res., Boulder Colo. 1965, Boulder.
- 1968d: Die Diffluenz des würmeiszeitlichen Rheingletschers bei Sargans (Kt. St. Gallen) und die spätglazialen Gletscherstände in der Walensee-Talung und im Rheintal. – Eiszeitalter & Gegenwart 19: 219–226.
- 1969: Zur Datierung spätwürmeiszeitlicher Gletscherstände am Rande des Säntisgebirges. – Verh. schweiz. natf. Ges. 1969: 140–141.
- 1970a: Zur Diffluenz des würmeiszeitlichen Rheingletschers bei Sargans und die spätglazialen Gletscherstände in der Walensee-Talung und im Rheintal. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 115/1: 101–126.
- 1970b: Geschichte der Landschaft. – In: Die Jüngere Steinzeit. – Ur- u. frühgesch. Archaeol. Schweiz 2: 5–16.
- 1970c: Aufbau und Zerfall des würmeiszeitlichen Eisstromnetzes in der zentralen und östlichen Schweiz. – Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. 60: 5–33.

- HANTKE, R. 1970d: Pollenspektrum aus der cineritischen Tonfraktion einer holozänen Malmschutthalde vom Lang Randen (Kt. Schaffhausen). – Mitt. natf. Ges. Schaffhausen 29 (1968/70): 3–6.
- 1970e: Les stades tardiwürmiens sur le versant nord des Alpes suisses. – Rev. Géogr. Alpine 58/3: 429–434.
- 1970f: Die spätwürmzeitlichen Stadien auf der schweizerischen Alpennordseite. – Eiszeitalter und Gegenwart 21: 71–80.
- 1970g: Zur Datierung spätwürmzeitlicher Gletscherstände am Rande des Säntisgebirges. – Eclogae geol. Helv. 63/2: 501–509.
- 1972: Spätwürmzeitliche Gletscherstände in den Romanischen Voralpen (Westschweiz). – Eclogae geol. Helv. 65/2: 279–291 + Falztaf.
- 1973a: Des dépôts du Quaternaire le plus ancien dans la région frontière France-Allemagne-Suisse, indiquent-ils des glaciations remarquables du SW de la Forêt-noire? – Ann. scient. Univ. Besançon, 3e sér. 18, Géol.: 191–195.
- 1973a: *Keteleeria hoehnei* KIRCHH., ein Zapfenrest aus der Unteren Süsswassermolasse des Buechbergs (Kt. Schwyz). – Eclogae geol. Helv. 66/3: 739–742.
- 1973b: *Apeibopsis laharpei* HEER, eine Styracacee? – Eclogae geol. Helv. 66/3: 743–753.
- 1974: Zur Erdgeschichte des Weinlandes. – In: Zürcher Weinld., Andelfingen: 69–81; 2. erweit. Aufl.: 1987: 68–79.
- 1977: Eiszeitliche Stände des Rhone-Gletschers im westlichen Schweizerischen Mittelland. – Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. 67: 75–83.
- 1978a: Eiszeitalter 1 – Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete: Klima, Flora, Fauna, Mensch, Alt- und Mittel-Pleistozän, Vogesen, Schwarzwald, Schwäbische Alb, Adelegg. – Ott, Thun: 468 S.
- 1978b: Blatt 82: Zentralschweiz: Geol. Karte und Profil Hölloch/Muotatal. – In: IMHOF, E.: Atlas der Schweiz. – Eidg. Landestopogr., Wabern.
- 1978c: Die kartographische Darstellung würmzeitlicher Gletscherrandlagen. – Jb. Schweiz. natf. Ges., wiss. Teil: 66–75.
- 1978d: Erdgeschichtliche Naturdenkmäler. – In: WILDERMUTH, H.: Natur als Aufgabe. – Leitfaden für die Naturschutzpraxis in der Gemeinde. – Basel: 230–240.
- 1978e: The Rhone Glacier Moraines in the Uppermost Valley. – INQUA-Symp. Genesis and Lithology Quaternary Deposits. Zurich 10–20 Sept. 1978, Guidebook: 42–45.
- 1979a: Zur erdgeschichtlichen Entstehung der Zürcher Seenlandschaft und des Walensees. – In: Der Zürichsee und seine Nachbarseen. – Office du Livre, Fribourg; NZZ, Zürich.
- 1979b: Synoptic History of the Quaternary of Switzerland. – Moraines and Varves, Origin/Genesis/Classification – Proceed. INQUA-Symp. Genesis and Lithology Quaternary Deposits, Zurich 10–20 Sept. 1978: 383–385.
- 1979c: Zur Geologie von Molasse und Quartär der Nordost-Schweiz (Exkursion A am 17. April 1979). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 61: 31–40.
- 1979d: Die Geschichte des Alpen-Rheintales in Eiszeit und Nacheiszeit. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 61: 279–295.
- HANTKE, R. 1980a: Eiszeitalter 2 – Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete, Letzte Warmzeiten, Würm-Eiszeit, Eisabbau, Nacheiszeit der Alpen-Nordseite vom Rhein- zum Rhone-System. – Ott, Thun: 703 S.
- 1980b: De Gletsch à Sierre. Stationnement du glacier du Rhône et des glaciations latérales dans le Haut-Valais. – In: Glaciations quaternaires dans les Alpes franco-suissees et leur piedmont. – Géogr. Alpine 56: 259–263.
- 1980c: Die Obere Süsswassermolasse der Schweiz, ihr Paläorelief und ihre stratigraphische Fortsetzung in die Vogesen-Schüttung. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 125/4: 365–374.
- 1980d: Hans Suter 3. Dezember 1892–20. September 1980. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 125/4: 413–414.
- 1980e: Die Bedeutung der als ausgestorben betrachteten Leguminosen-Gattung *Podogonium* HEER (= *Gleditsia* L.) für die Obere Süsswassermolasse und für die Vogesen-Schüttung im Delsberger Becken (Jura). – Eclogae geol. Helv. 73/3: 1031–1043.
- 1981: Les conséquences géologiques de la découverte de *Gleditsia lyelliana* et de *Liquidambar europaea* dans la Molasse d'Eau douce supérieure suisse. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg 50: 51–53, Frankfurt am Main: 31.12.1981.
- 1982a: Die Molasseablagerungen im Schweizer Mittelland. – NZZ 203/15 (20. Jan.): 65–66.
- 1982b: Zur Talgeschichte des Gebietes zwischen Pragel- und Klausenpass. – In: BETTSCHART, A. (ed.): Die Karstlandschaft des Muotatales. – Ber. schwyz. natf. Ges. 8: 3–12.
- 1982c: Hans Suter (1892–1980): Publikationen. – Eclogae geol. Helv. 75/1: 223–225.
- 1982d: Cime alpine alte oltri 6000 metri. – Natura e Civiltà, Assoz. difesa della Natura, Canzo (Como) 19/6: 61.
- 1982e: Landschaftsentwicklung am oberen Zürichsee. – In: MAISCH, M. & SUTER, J.: Exkursionsführer, Teil a: Ostschweiz. – Phys. Geogr. Univ. Zürich 6: 44–49.
- 1982f: Die jüngstoligozäne Molasse im Bergsturzansriss der Beichlen (Gemeinde Flüfli, Kt. Luzern). – Ein Vergleich mit weiteren Floren der Unteren Süsswassermolasse und stratigraphische, paläoklimatische und paläogeographische Schlussfolgerungen. – Mitt. natf. Ges. Luzern 27: 25–39.
- 1983a: Eiszeitalter 3 – Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete: Westliche Ostalpen mit ihrem bayerischen Vorland bis zum Inn-Durchbruch und Südalpen zwischen Dolomiten und Mont-Blanc. – Ott, Thun: 730 S.
- 1983b: Erdgeschichtlicher Aufbau und Entstehung der Schächentaler Berge. – In: ITEN, K. (ed.): Das Schächental – Das grosse Buch vom Klausen und von der Verbindung zwischen Uri und Glarus. – Gamma, Altdorf: 137–154.
- 1983c: Oswald Heer 1809–1883. – ETH Zürich, Presse-Info.: 15.9.1983.
- 1983d: 100. Todestag des Naturforschers Oswald Heer (1809–1883) – Pflanzenwelt der Glarner Berge war ihm lieb. – Vaterland, Reg.-Ausg. Glarus, 20. Sept. 1983.
- 1983e: Zum hundertsten Todestag von Oswald Heer. – Der Zürcher Oberländer 26. Sept. 1983: 7 S.
- 1983f: Erforscher der Schweizer Urwelt Oswald Heer 1809–1883. – NZZ: 30. Sept. 1983.
- 1983g: Oswald Heer 1809–1883. – ETH, Bull. Eidg. Techn. Hochschule 181: Okt. 1983.

- HANTKE, R. 1984a: Zur Erdgeschichte der Albiskette. – In: Der Üetliberg. – Silva-Verlag, Zürich (2. Aufl. 1986).
- 1984b: Florenzhalt, biostratigraphische Gliederung und Paläoklima der mittelmiozänen Oberen Süßwassermolasse (OSM) der Schweiz und ihrer nördlichen Nachbargebiete. – *Molasse-Forschung '84* – August Wetzler-Gedenkb. – *Heimatl. Schr. Lkr. Günzburg* 2: 47–53.
- 1984c: Zur tertiären Relief- und Talgeschichte des Bergeller Hochgebirges, der Südalpen und der angrenzenden Gebiete. – *Eclogae geol. Helv.* 77/2: 327–361.
- 1984d: Die Fächerpalmreste aus der Molasse der Schweiz und ihrer nordöstlichen Grenzgebiete sowie ihr paläoklimatischer Aussagewert. – *Diss. Bot.* 72 (Festschr. Welten): 137–175.
- 1984e: Zur Morphogenese des unteren Sihl- und des Reppischtals (Kt. Zürich). – *Ggr. Inst. ETH, Ber. Skripten* 17: 1–5.
- 1984f: Der Rhein-Durchbruch zwischen Rüdlingen und der Töss-Mündung (Kte. Schaffhausen und Zürich). – *Ggr. Inst. ETH, Ber. Skripten* 17: 6–12.
- 1984g: Vermochten an nie vereisten Lagen des Randen (Kanton Schaffhausen und badische Grenzgebiete) jüngst-tertiäre Florenzrelikte die Eiszeiten zu überdauern? – *Eclogae geol. Helv.* 77/3: 707–719.
- 1985a, b: Zur Relief-, Tal- und Klimageschichte der zentralen und östlichen Schweizeralpen, 1. u. 2. Teil. – *Vjschr. natf. Ges. Zürich* 130/1: 92–114, 130/2: 144–156.
- 1985c: Vor Millionen von Jahren: Eiszeiten in der Schweiz. – *Schweizer Hotel-J.* 15/2 (1985): 13–16.
- 1985d: Zur Erdgeschichte des Gebietes um Rothenthurm – Moor-Exkursion Rothenthurm–Altmatt. – *Natf. Ges. Zürich, Exkursionsbeilage*.
- 1985e: Halt 1: Schindellegi–Wäni am Etzel: Überblick und Einführung. – *INQUA Subcomm. Europ. Quatern. Stratigr. Symp.* 1985 ETH Zürich – *Guidebook*: 10–14.
- 1985f: Belege für alt- und präquartäre Kaltzeiten in der NW-Schweiz und am Südalpenrand. – *INQUA Internat. Union Quatern. Res. Subcomm. Europ. Quatern. Stratigr. Symp.* 1985 ETH Zürich, *Abstr.*: 11–12.
- 1985g: Histoire du relief et des cours d'eau entre le Rhin et le Danube (Canton de Schaffhouse et régions limitrophes badoises). – *Bull. Assoc. franç. étude Quaternaire* 1985/2–3: 141–149.
- 1985h: Alpine Conglomerates Sequences and Miocene Climates. – *News Reports – Episodes* – 8/3: 183–184.
- 1985i: Dapi millions onns Epocas glazialas en Svizra. – *Annalas Soc. retorumantscha* 98, 551–563.
- 1986a: Zur Entstehung des Vierwaldstätter Sees. – *Schweizer Hotel-J.* 16/2 (1986): 13–16.
- 1986b: Die Schweizer Jura-Nagelfluh – mehrere Schüttungen in kühl- und kaltzeitlichen Klima-Einbrüchen im Mittelmiozän? – *Mitt. aarg. natf. Ges.* 31: 53–73, Aarau.
- 1987a: Anwendung der topographischen Karte Urwald-Reservat Bödmeren 1:2000 für wissenschaftliche Untersuchungen – In: THEE, P., HANTKE, R., KÄLIN, W., LEIBUNDGUT, H. & SCHWARZENBACH, F.H.: *Das Kartenprojekt Urwald-Reservat Bödmeren 1:2000*. – *Ber. Eidg. Forsch.anst. WSL* 299: 24–29.
- 1987b: Zur Talgeschichte zwischen Domodossola und Locarno: Valle d'Ossola, Val Vigezzo (Prov. di Novara)–Centovalli (Kt. Tessin), 1. u. 2. Teil. – *Ggr. Helv.* 42/1: 15–22; 42/4: 277–285.
- HANTKE, R. 1987c: Zur Tal- und Reliefgeschichte des Churfirsten-Alvier-Gebietes. – *Ggr. Helv.* 42/2: 159–168.
- 1987d: Von der Forschungsarbeit des Vorweltbotanikers. – *Aus der Vegetationsgeschichte*. – *Schweiz. Hotel-J.* 17/3: 25–26.
- 1987e: Die Alpen im Eiszeitalter. – *Mitt. natf. Ges. Luzern* 29: 77–98.
- 1987f: Zur Entstehung der Landschaft von Obwalden. – *Mitt. natf. Ges. Luzern* 29: 237–250.
- 1987g: Der Alpstein im Eiszeitalter. – In: HEIERLI, H.: *Der geologische Wanderweg am Hohen Kasten (Säntis-Gebirge)*. – *Haupt, Bern*: 98–103.
- 1987h: Alexander Wettstein als Geologe und Paläontologe, 1. Teil Wettstein als Geologe. – *Küsnachter Jbl.* 1987: 60–76.
- 1987i: Zur jungtertiären Geschichte des Alpen-Rheintales. – *Mitt. österr. geol. Ges.* 80: 207–228, Wien.
- 1987k: Faksimile Herausgabe von Alexander Wettstein (1885): *Geologische Karte von Zürich und Umgebung*. – Orell-Füssli, Zürich.
- 1987l: Relief- und Talgeschichte des Randen-Berglandes (Kt. Schaffhausen und badische Grenzgebiete zwischen Schwarzwald und Hegau). – *Eiszeitalter & Gegenwart* 37: 47–56.
- 1988a: Können wir unseren Kiesbedarf aus schweizerischen Böden decken? – In: ALTHER, E.W. ed.: *Raumplanung und Bodenschutz: Der Boden der Schweiz und seine Nutzung heute und morgen*. – *Publ. 132 Forschungsst. Wirtschgr. Raumpl. Hochschule St. Gallen*, 61–85.
- 1988b: Können wir unseren Kiesbedarf aus schweizerischen Böden decken? – *Natur u. Mensch* 30/1/2: 1–13.
- 1988c: Alexander Wettstein als Geologe und Paläontologe, 2. Teil: Wettstein als Paläontologe. – *Küsnachter Jbl.* 1988: 73–84.
- 1988d: La formazione delle valli tra Domodossola e Locarno: La Val d'Ossola, La Val Vigezzo (Prov. di Novara) e le Centovalli (Ct. Ticino). – *Boll. Soc. ticin. Sci. natur.* 78 (1988): 123–139.
- (1989a): Mögliche Abläufe der alt- und präquartären Klima- und Landschaftsgeschichte in der NW-Schweiz und am Südalpen-Rand. – *Proceed. INQUA-Subcomm. Europ. Quatern. Stratigr. Symp. – Quaternary Typ Sections: Imagination or Reality?* – Zürich 14–15. October 1985. – Balkema, Rotterdam.
- 1989b: Zur Landschaftsgeschichte. – In: VOGEL, A., HANTKE, R.: *Zur Geologie des Riggebietes*. – *Mitt. natf. Ges. Luzern* 30 (1988): 47–49.
- 1989c: Der Ur-Inn. – In: *Stadthallen GmbH Rosenheim (ed.): Der Inn*. – *Verlagshaus, Rosenheim*: 27–31.
- 1989d: Kühl- und kaltzeitliche Klimaindizien im Jungtertiär der Schweiz, des Allgäues und einiger Nachbargebiete. – *Geol. Bavar.* 94: 447–457, München.
- 1989e: Unteres Glattal vor 7000 Jahren. – In: *Schulkarte Kanton Zürich*. – *Lehrmittelverl. Kt. Zürich*.
- 1991, 1992a: *Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete*. – *Ott, Thun; ecomed, Landsberg/Lech*: 309 S.
- 1992b: *Eiszeitalter 1–3: Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete*. – *ecomed, Landsberg/Lech, unveränd. Nachdruck, 1901 S.*
- 1992c: *Die Talgabelung von Sargans*. – *Ggr. Helv.* 47/2: 51–56.

- HANTKE, R. 1992d: Zur Genese des Alpen-Rheintals. – Jb. GBA 135/4: 847–856.
- 1993a: Die aufgerichtete mittelländische Molasse der äussersten Nordost-Schweiz und ihre Überprägung durch den Bodensee-Rhein-Gletscher (Exkursion I am 17. April 1993). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 75: 187–196.
 - 1993b: Flussgeschichte Mitteleuropas – Skizzen zu einer Erd-, Vegetations- und Klimageschichte der letzten 40 Millionen Jahre. – Enke, Stuttgart, 460 pp.
 - 1993c: Zur Geologie des Küssnachter Tobels. – Küssnachter Jahresblätter (1993) 33: 89–98.
 - 1993d: Der geologische Wanderweg am Titlis. – Titlisbahnen, Engelberg.
 - 1995: Erdgeschichte des Bödmerenwaldes (Gemeinde Muotathal, Kt. Schwyz) – Erläuterungen zur Geol. Karte 1:2000. – Ber. WSL/FNP 337: 1–32 + geol. Karte.
 - 1996a: Die Veränderungen in der Zürcher Naturlandschaft und der Wandel in ihrer Deutung seit dem Bestehen der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. – In: Mensch und Natur. – Festschr. 250-Jahr-Feier Natf. Ges. Zürich: 165–175.
 - 1996b: Zur Geologie des Sihlsee-Gebietes. – In: LEUZINGER-PICCAND, C. et al.: Camping am Sihlsee vor 12'000 Jahren. – Ber. schwyz. natf. Ges. 11: 38–48.
 - 1996c: Geologie. – In: KÜCHLER, M. & LIENERT, S., Projektkoord. (1996): Interdisziplinäres Forschungsprojekt Ibergereg: Nutzungsgeschichte und Waldvegetation – Geologie – Brutvögel – Fledermäuse – Insekten – Freilandvegetation – Epiphytische Flechtenflora – Pilzflora – Landschaftsschutz – Rechtsaspekte. – Ber. schwyz. natf. Ges. 11: 19–27.
 - 1997a: Die Geologie: Die erdgeschichtliche Entwicklung des Silberer-Bödmeren-Gebietes. – In: KÄLIN, W. & SCAGNET, E.: 80–87.
 - 1997b: Geologie und Landschaftsgeschichte des Bodensee-Gebietes. – Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 82: 5–20.
 - 2000a: Partie NW du Canton de Fribourg il y a 5000 ans, 1:100'000/NW-Teil des Kantons Freiburg vor 5000 Jahren, 1:100'000 – In: Carte scol. Canton de Fribourg 1:100'000/Schulkarte Kanton Freiburg 1:100'000. – Office cant. mat. scol., Granges-Paccot, Dép. de l'instruct. publ., Fribourg.
 - 2000b: Mittelmoränen in der Zentralschweiz. – DEUQUA 2000: Eiszeitalter und Alltag, Bern 6.–8. Sept. 2000.
 - 2002: Erläuterungen zu Blatt 1153 Linthal. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000 – Manusk. Geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
 - 2003a: Eiszeitliche Mittelmoränen in der Zentral- und Ostschweiz. – Eiszeitalter & Gegenwart 52: 13–24, Stuttgart.
 - 2003b: Ausfingernde Mittelmoränen des Rothenthurmer Armes des Muota/Reuss-Gletschers bei Biberbrugg. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 45.
 - 2003c: Blattverschiebung zwischen Rigi-Hochflue-Kette und Gersauer Stock. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 48.
 - 2003d: Aktive Rutschung Allmeind auf der W-Seite des Wägitaler Sees. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 49.
 - 2003e: Die persistente Mittelmoräne am N-Fuss des Schi-berg. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 50.
- HANTKE, R. 2003f: Scherstörung am Westende der Wage-ten-Chöpfenberg-Kette. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 51.
- 2003g: Die Abscherung der Spitzberg-Molasse und ihre Verschiebung gegen E an den Alpenrand. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 52.
 - 2003h: Das Roggenstöckli P. 1702.5, eine Klippe der Drus-berg-Decke. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 54.
 - 2003i: Die Wangflue, Typlokalität der obersten helvetic-ischen Kreide. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 62.
 - 2003k: Mittelmoränen in der Zentralschweiz und in den westlichen Glarner Alpen. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 99–105.
 - 2003l: Unterseeische Moränen im Vierwaldstätter See. – Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 106–109.
 - 2003m: Zur Landschaftsgeschichte der Zentralschweiz und des östlichen Berner Oberlandes. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 110–118.
 - 2003n, 2004a: Blatt 1076/1096 St. Margrethen (Westhälfte)–Diepoldsau (Westhälfte) mit NW-Ecke von Blatt 1116 Feldkirch. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 108, mit Erläuterungen. – B.-Amt Wasser Geol., swisstopo, Wabern.
 - 2004b: Mittelmoränen des Reuss-Gletschers zwischen Urseren und Urner See. – In: Turbulenzen in der Geomorphologie. Jahrestagung der Schweiz. Geomorphol. Ges. (SGmG) der SANW. VAW-Mitt. 184: 73–86.
 - 2005: Zur Entstehungsgeschichte von Alpenrhein und Bodensee-Becken. – In: Der Rhein – Lebensader einer Region. – Njbl. natf. Ges. Zürich 208 (2006): 34–53.
 - 2006: Blatt 1151 Rigi mit Nordteil von Blatt 1171 Beckenried. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 116, mit Erläuterungen. – B.-Amt Wasser Geol., swisstopo, Wabern.
 - 2007a: Eiszeitliche Kollisions- und Mittelmoränen im Vierwaldstättersee. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 152/1-2: 27–36.
 - 2007b: Zur jüngeren Erdgeschichte im östlichen Kanton Schaffhausen und seinen Nachbargebieten. – Mitt. natf. Ges. Schaffhausen 48: 69–82.
 - 2007c: Zur Erdgeschichte um das Meilener Tobel. – Heimatb. Meilen, 20–32.
 - 2008: Der Aaregletscher und seine Eislieferanten in der Spät- und Nacheiszeit zwischen Thun und den Zungen von Unter- und Oberaaregletscher. – Jb. Uferschutzverband Thuner- u. Brienersee 2008: 11–34.
 - 2010: Moränen im Unterengadin und im obersten Vinschgau erlauben das Nachzeichnen der jüngeren Landschaftsgeschichte und geben Hinweise auf mögliche Naturkatastrophen. – Jber. natf. Ges. Graubünden 116 (2010): 109–122.
 - 2011: Eiszeitalter – Kalt/Warmzeit-Zyklen und Eistransport im alpinen und voralpinen Raum. – Ott Verlag, Bern, 570 S.
 - 2013a: III Paläobotanisches Werk – Die von Oswald Heer bearbeiteten fossilen Floren (1855–1859, 1865, 1877, 1879/83, 1868–1883) aus heutiger Sicht. In: BURGA, C. et al. (2013): Oswald Heer. – NZZ-Verlag, Zürich, 229–282.
 - 2013b: Blatt 1172 Muotathal mit Teil von 1171 Beckenried. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 127. – swisstopo Wabern.

- HANTKE, R. 2014: Erläuterungen zu Blatt 1173 Linthal mit Anhängsel von 1193 Tödi. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000. – Manuskr.: Geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
- 2014: Erläuterungen zu Blatt 1153 Klöntal. – Geol. Atlas Schweiz, 1:25'000. – Manuskr.: Geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
- , PFIFFNER, A. & GOUFFON, Y. 2013c: Erläuterungen zu Blatt 1172 Muotathal mit Teil von 1171 Beckenried. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 1. – Geol. Landesaufn., swisstopo Wabern.
- (2019a): Fossile Pflanzen aus den mittelmiozänen Fundstätten von Öhningen am Untersee (Baden-Württemberg) - Rekonstruktion von Klima und Umwelt vor gut 13 Millionen Jahren. – Ber. schwyz. natf. Ges. 18: 7–34
- 2019b: Wälder der östlichen Zentralschweiz vor 30–25 Millionen Jahren, rekonstruiert mit fossilen Pflanzenfunden vom Rossberg, Südfuss der Rigi, Gebiet um Rothen thurm, vom Rinderweidhorn und Höhronen. – Ber. schwyz. natf. Ges. 18: 35–54.
- 2019c: Zur jüngeren Erdgeschichte des westlichen Kantons Schwyz – Mit Ergänzungen zu den Erläuterungen zu Blatt 1151 Rigi und Nordteil von Blatt 1171 Beckenried des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000, 116. – Ber. schwyz. natf. Ges. 18: 93–123.
- (2019d): René Hantke: Vorfahren, Eltern, Studium, Sammlungsarbeit, Forschung und Lehre. – Ber. schwyz. natf. Ges. 18: 125–138.
- (2019e): Zur Klima-Entwicklung in der Molassezeit und im jüngsten Miozän. – Ber. st. gall. natw. Ges. 93.
- Gestaltung. In: BLUMER, F. & KÄLIN, D. 1987: Teil 1: Geomorphologie – Geomorphogenese, Teil 2: Die glazialen Formen und ihre Entstehung. Vorlesung Ggr. Inst. ETH Zürich. – Ber. Skripten, 30.
- & BRÜCKNER, W. † mit Beiträgen von R. OBERHÄNSLI, F. SCHENKER, P. HALDIMANN & G. SCHREURS 2010: Erläuterungen zu Blatt 1192 Schächental (Atlasblatt 83). swisstopo, Wabern.
- & BÜRGISSER, H. M. 1982: Die Sammlung von Findlingen am Ausgang des Künsnacher Tobels. – Verschönerungsver. Künsnacht.
- , FABER, K. & WINTERBERG, H. 1996, 1998: Geologischer Wanderweg am Roggenstock, Oberiberg/Hoch-Ybrig. – Falzprospekt, Ver. Geol. Wanderweg Roggenstock, Oberiberg. – Verkehrsver. Oberiberg.
- & HEIERLI, H. 1996: Geologischer Wanderweg Roggenstock, Oberiberg/Hoch Ybrig, 10 Tafeln. – Verkehrsver. Oberiberg.
- , HERMANN, A., STAUFFER, F. & WINTERBERG, H. 2003: Moränen, insbesondere Mittelmoränen im Weisstannental. – Terra plana 2003/2: 43–48.
- , HOFMANN, F. & RAHM, G. (1987: Wie weit reichte das risszeitliche Eis auf der Ostabdachung des Südschwarzwaldes. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemb. 29: 39–46.
- , HOFMANN, F. & SUTER, H. (1967): Exkursion Nr. 28: Schaffhausen–Hegau–Stein a. Rh.–Zürich. – Geol. Führer Schweiz 6: 491–501. – Schweiz. Geol. Ges., Wepf, Basel.
- & HÜNERMANN, K.A. 1988: Ein Mammut-Schulterblattfragment und ein Basaltgeröllfund im Randen (Kt. Schaffhausen). – Eclogae geol. Helv. 81/3, 887–891.
- & JÄGER, E. 1982a: Protokoll der Exkursion nach Pedriate–Chiasso 14./25.4.1982. – Abt. Isotopengeol. Univ. Bern.
- HANTKE, R. & KOPP, J. † 2005: Blatt 1151 Rigi mit Anhängsel von Blatt 1171 Beckenried. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 116, mit Erläuterungen. – B.-Amt Wasser & Geol., swisstopo, Wabern.
- & KURIGER, E. (2003): Überblick über die Geologie des Kantons Schwyz und seiner Nachbargebiete. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 9–34.
- , LEUPOLD, W., LIENERT, O., PAVONI, N. & TRÜMPY, R. 1967: Exkursion Nr. 31: Umgebung von Zürich–Einsiedeln–Ibergereg–(Mythen)–Brunnen–Flüelen. – Geol. Führer Schweiz 7: 537–571. – Schweiz. Geol. Ges., Wepf, Basel.
- , MÜLLER, E. R., SCHEIDEGGER, A. E. & WIEMANN, A. 2003: Der Molasse-Schuttfächer des Ottenberg und der Lauf der Thur seit dem jüngeren Tertiär. – Mitt. thurg. natf. Ges. 59: 85–111.
- & MÜLLER, H.-P. 1972: Ein Fund von *Zamites feneonis* BRONGN. (Bennettitee) in der Moräne W von Oberentfelden Kanton Aargau. – Mitt. aarg. natf. Ges. 28: 293–296, Aarau.
- & OBERLI, H. (1976): Was bedeuten die Felsblöcke vor dem Gemeindehaus Wattwil. – Toggenburger, Wattwil.
- , OBERLI, U. & GREGOR, H.-J. 2005: Die mittelmiozäne Megafloren von Risi/Wattwil (Kanton St.Gallen, Schweiz). Teil 3: Makroflora der Molasse. – Docum. naturae 155/3 – In memoriam Erwin Knobloch 1934–2004: 1–35.
- & OERTLI, P. (1994): Die erratischen Geschiebe an der alten Schmitte, im Züebli, Thalheim ZH. – Mitt. thurg. natf. Ges. 52: 59–62.
- , PFANNENSTIEL, M. † & RAHM, G. 1976: Zur Vergletscherung der westlichen Schwäbischen Alb. – Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. 66, 13–27.
- & RAHM, G. 1976a: Max Pfannenstiel † 1902–1976. – Eiszeitalter Gegenwart 26 (1975): 277–279.
- & RAHM 1976b: Das frühe Spätglazial in den Quelllästen der Alb (Südlicher Schwarzwald). – Vjschr. natf. Ges. Zürich 121/4: 293–299.
- & RAHM 1977: Die würmzeitlichen Rückzugsstände in den Tälern Ibach und Schwarzenbächle im Hotzenwald (Südschwarzwald). – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg 19: 143–150.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 1993: Zur Genese der Aareschlucht (Berner Oberland, Schweiz). – Ggr. Helv. 48/3: 120–124.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 1994: Klusen und verwandte Formen im Schweizer Jura. – Ggr. Helv. 49/4: 157–164.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 1997: Zur Morphogenese der Zürichseetalung. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 142/3: 89–95.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 1998: Morphotectonics of the Mascarene Islands. – Ann. Geofisica 41/2: 165–181.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 2000: Zur Morphogenese des Walensees. – Terra plana 2000/2: 4–7.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 2001: Zur Entstehung der Tamnaschlucht. – Terra plana 2001/1: 30–34.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 2003a: Die Entstehung des Waagtales mit dem Inselberg Siti-Nossen. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kt. Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 57.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 2003b: Zur Morphotektonik der zentralschweizerischen Alpenrandseen – Richtungsbeziehungen zwischen Gewässern (Seen, Bächen) und Klüften. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 83–98.

- HANTKE, R. & SCHEIDEGGER, A.E. 2006: Alte Talanlagen und eiszeitliche Abflussrinnen zwischen Bern und Langenthal sowie zwischen Aare und Sense. – Mitt. natf. Ges. Bern N.F. 63: 115–131.
- & SCHEIDEGGER, A.E. 2007: Zur Entstehungsgeschichte der Berner Oberländer Seen. – Jb. Uferschutzverband Thuner- u. Brienersee 2007: 11–34.
- , SCHINDLER, C. †, FÖLLMI, K.B., LABHART, W. RICK, B. & ROTH, H.P. 2014: Blatt 1153 Klöntal. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000. – Manusk.: Geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
- , SCHINDLER, C. †, FREY, F. †, BAUMEIER, A. & CADUFF, R. 2019: Blatt 1173 Linthal – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte 166 mit Erläuterungen – Geol. Landesaufn., B.-Amt Landestopogr. Wabern.
- , SCHINDLER, C. †, FREY, F. † & SCHIELLY, H. † 2014: Blatt 1173 Linthal mit Anhängsel von 1193 Tödi. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000. – Manusk.: Geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
- & SCHLÜCHTER, CH. 1985: Halt 6: Staffelbach: Endmoränenstaffel, Frage des letzteiszeitlichen Maximums. – INQUA Subcomm. Europ. Quatern. Stratigr. Symp. 1985 ETH Zürich – Guidebook: 53–58.
- & SEITTER, H. 1985: Vermochten an nie vereisten Lagen im Alpstein jüngsttertiäre Florenrelikte die Eiszeiten zu überdauern? – Ber. st.gall. natw. Ges. 82: 55–107.
- & SEITTER, H. 1989: Die Entwicklung der Pflanzenwelt als Folge des sich wandelnden Gebirgsbaus und des sich verändernden Klimas. – In: SEITTER, H. (1989): Flora der Kantone St. Gallen und beider Appenzell I. – St.gall. natw. Ges.: LXIX–LXXIII.
- & SPIESS, E. 1981: Letzte Eiszeit, 1:2'000'000, Maximalstand der Gletscher in der Würmeiszeit, Maximalstand in der Risseiszeit. Im Vorstoss: Linthebene, Berner Seeland, Genfersee, Luganese, im Rückzug: Konstanz, Hurden, Neuenburg, Genfer Becken, Melide. – Schweizer Weltatlas – Lehrmittelverl., Zürich.
- & STAUFFER, F. 1999: Geo-Weg – Wissen, auf welchem Boden wir stehen – Erdgeschichtlicher Erlebnispfad Schänis–Weesen–Amden. – Tourismus Amden–Weesen, Gemeindeverwalt. Schänis, Weesen, Amden.
- & STAUFFER, F. 2010: Als der Triftgletscher noch bessere Zeiten erlebte. – Manusk.
- & TRÜMPY, R. 1965: Bericht über die Exkursion A der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in die Schwyzer Alpen. – Eclogae geol. Helv. 57/2 (1964): 609–618.
- TRÜMPY, R.† et al. 2010: Erläuterungen zu Blatt 1152 Ibergeregg. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000. – Manusk.: Geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
- & WAGNER, G. 2003: Eiszeitliche Mittelmoränen im Thurgau. – Mitt. thurg. natf. Ges. 59: 53–84.
- & WAGNER, G. 2004a: Ältere Berner Schotter und eiszeitliche Mittelmoränen. – Mitt. natf. Ges. Bern N.F. 61: 101–125.
- & WAGNER, G. 2004b: Eiszeitliche Mittelmoränen im Bereich des Alpenrheins. – Terra plana 2004/4: 30–35.
- & WAGNER, G. 2005: Eiszeitliche und nacheiszeitliche Gletscherstände im Berner Oberland – Erster Teil: Östliches Berner Oberland bis zur Kander. – Mitt. natf. Ges. Bern N.F., 62: 107–134.
- HANTKE, R. & WAGNER, G. 2006: Eiszeitliche und nacheiszeitliche Gletscherstände im Berner Oberland – Zweiter Teil: Täler westlich der Kander. – Mitt. natf. Ges. Bern N.F. 63: 133–153.
- , SCHATZ, W. & SEITTER, H. † 2000: Präglaziale Florenrelikte im Rigi- und Briener Rothorn-Gebiet. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 145/2–3: 65–85.
- & WIESMANN, A. (1994): Der Findlingsgarten Schwaderloh bei Kreuzlingen (Kanton Thurgau). – Mitt. thurg. natf. Ges. 52: 41–58.
- & WINTERBERG, H. 2003: Der Seewer Kalk-Erratiker vom Schlund und sein Transportweg auf Eis. – In: Grundlagen für ein Geotopinventar Kanton Schwyz. – Ber. schwyz. natf. Ges. 14: 60–61.
- & WINTERBERG, H. 2017a: Gebirgsabtrag und Talbildung in den helvetischen Kalkalpen zwischen Brienersee und St. Galler Rheintal. – Manusk.
- & WINTERBERG, H. 2017b: Zur Gliederung des Eiszeitalters, Deckenschotter, Mittel-, Ober- und Kollisionsmoränen. – Manusk.
- , WYSSLING, G., & BOLLINGER, D. 2009K: Blatt 1132 Einsiedeln. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 129. – Geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
- , WYSSLING, G. & SCHLANKE, S. mit einem Beitrag von U. MENKFELD-GFELLER 2010: Erläuterungen zu Blatt 1132: Einsiedeln. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 129. – Geol. Landesaufn., swisstopo, Wabern.
- BOLLIGER, TH., GATTI, H. & HANTKE, R. 1988: Zur Geologie und Paläontologie des Zürcher Oberlandes. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 133/1: 1–24.
- BÜRGIN, T., HANTKE, R. & OBERLI, U. 2003: Das Schau- und Werk-Geotop Risi – ein Fenster in die Toggenburger Urzeit. – Toggenburger Jahrbuch 2004: 119–137; Fossilien. – Z. Hobbypaläontol. 21/2: 97–101.
- BURGER, H. & HANTKE, R. 1982: Die Moränenlandschaft der Plassseggen-Hochfläche im östlichen Rätikon (Graubünden) mit sich kreuzenden Moränenwällen. – Eclogae geol. Helv. 75/1: 93–99.
- CZURDA, K., HANTKE, R., OBERHAUSER, R. & RESCH, W. 1979: Molasse, Helvetikum, Flysch und Nördliche Kalkalpen im Bregenzer Wald (Exkursion I am 21. April 1979). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 61: 127–139.
- DAETWYLER, M. et al. 2004: Stäfa entdecken... Stäfa im Laufe der Zeit: Die Molassezeit, Der Alpenrand wandert nordwärts und die Talbildung beginnt, Das Eiszeitalter, S. 8–10, Taf. 77–80: Risitobel, Klus Lattenberg–Hexentanz, Mülhölzli, Stäfner Stein, S. 101–104. – Gde. Stäfa.
- EUGSTER, H., HANTKE, R. & SAXER, F. 1967: Exkursion Nr. 30: Appenzellerland und Säntisgebiet. – Geol. Führer Schweiz 6: 516–534. – Schweiz. Geol. Ges., Wepf, Basel.
- FUNK, H.-P., HABICHT, J.K. †, HANTKE, R., & PFIFFNER, O.A. 2000: Erläuterungen zu Blatt 1115 Säntis. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 78. – B.-Amt Wasser & Geol.
- FUNK, H.-P., HANTKE, R., MATTER, A., MOHLER & H.-P., SCHAUB, H. 1973: Bericht über die Exkursion der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in der Zentralschweiz südlich von Luzern vom 15.–17. Oktober 1972. – Eclogae geol. Helv. 66/1: 231–243.
- GERBER, E.K. & HANTKE, R. 1986a: Grundzüge einer Geomorphologie des Aargaus. – Mitt. aarg. natf. Ges. 31: 75–138, Aarau.

- GERBER, E.K. & HANTKE, R. 1986b: Das Einzugsgebiet der mittelländischen Aare, der Aargau im weitesten Sinne. – Mitt. aarg. natf. Ges. 31: 139–188, Aarau.
- GERMAN, R., HANTKE, R. & MADER, M. 1979: Der subrezente Drumlin im Zungenbecken des Biferten-Gletschers (Kanton Glarus, Schweiz). – Jh. Ges. Naturkde. Württ. 134 (1979): 96–103.
- GREGOR, H. J. & HANTKE, R. 1980: Revision der fossilen Leguminosengattung *Podogonium* HEER (= *Gleditsia* LINNÉ) aus dem europäischen Jungtertiär. – Feddes Repert. 91/3: 151–182, Berlin.
- GREGOR, H. J. & HANTKE, R. 1983: Eine untermiozäne *Zanthoxylum*-Art aus der Schweizer Molasse. – Docum. naturae 13: 19–25, München.
- GREGOR, H. J. & HANTKE, R. 2006: Erstfund des Elsbeerbaumes, *Sorbus praetorminalis* KRYSHTOF. & BAIKOVSK., in der Oberen Süsswassermolasse von Aubenham bei Oberbergkirchen (Kreis Mühlendorf). – Teil 8 Neues aus der Oberen Süsswasser-Molasse Bayerns – Docum. naturae 155/8: 21–37. – In memoriam Erwin Knobloch 1934–2004.
- HEIERLI, H. & HANTKE, R. 1995: Geologie am Roggenstock (Oberiberg). – Exkursionsunterlagen, Verkehrsbüro Oberiberg.
- HOFMANN, F. & HANTKE, R. 1962: Erläuterungen zu Blatt 1032 Diessenhofen mit Anhängsel von Blatt 1031 Neunkirch. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, 38. – Schweiz. geol. Komm.
- JÄCKLI, H. mit Beiträgen von HANTKE, R. 1970: Die Schweiz zur letzten Eiszeit 1:550'000. – Atlas der Schweiz B 1.6 – Eidg. Landestopogr., Wabern.
- JÄGER, E. & HANTKE, R. 1983: Die Entwicklungsgeschichte der Alpen. – Naturwiss. 70/5: 209–215.
- JÄGER, E. & HANTKE, R. 1984: Evidenzen für die Vergletscherung eines alpinen Bergeller Hochgebirges an der Grenze Oligozän/Miozän. – Geol. Rdsch. 73/2: 567–575.
- KOBEL, M. & HANTKE, R. 1979: Zur Hydrogeologie des Rheintales von Sargans bis zum Bodensee (Exkursion E am 19. April 1979). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 61: 79–86.
- LEUZINGER-PICCAND, C. mit Beiträgen von HAAS, J.N., HANTKE, R., LEUZINGER, U. & RENTZEL, PH. (1996): Einsiedeln SZ-Langrüti: eine spätmagdalénienzeitliche und mesolithische Freilandstation in den Voralpen. – Jb. Schweiz. Ges. Ur- u. Frühgesch. 79: 7–26.
- LINGER, H. & HANTKE, R. 1965: Geologische Exkursion: Wehntal–Möhl–Ajoie–Sundgau. – Exkursionsbeilagen, 15 S.
- OBERHAUSER, R., RESCH, W. & HANTKE, R. 1979: Helvetikum, Nördliche Flyschzone und Molasse von Hohenems bis Dornbirn (Exkursion B am 17. April 1979). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. 61: 41–48
- OBERHAUSER, R. mit Beiträgen von HANTKE, R. & VONBANK, E. 1979: Helvetikum, Südliche Flyschzone und Quartär am Rheintalrand und im westlichen Walgau (Exkursion F am 20. April 1979). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. 61: 87–100.
- RESCH, W., HANTKE, R. & LOACKER, H. 1979: Molasse und Quartär im Vorderen Bregenzer Wald mit Besuch der Kraftwerksbauten (Exkursion C am 19. April 1979). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. 61: 49–66.
- SCHEIDEGGER, A.E. & HANTKE, R. 1994: On the Genesis of River Gorges. – Transactions, Japanese Geomorphol. Union 15/2: 91–110.
- SCHEIDEGGER, A.E. & HANTKE, R. 1996: Erosion: Bedeutung der Vorzeichnung/Erosion; Significance of predesign. – Internationales Symposium Interpraevent 1996 – Garmisch-Partenkirchen, Tagungspubl. 1: 387–396.
- SEITTER, H. & HANTKE, R. 1988: Mögliche jüngsttertiäre Florenrelikte in der Speer–Churfürsten–Alvier-Kette und im St. Galler Oberland. – Ber. st.gall. natw. Ges. 83: 129–160.
- SIDLER, C. & HANTKE, R. 1993: La Flora del Lago interglaciale Riss/Würm di Re (Val Vigezzo). – Boll. Soc. Sci. natur. (Lugano) 81/1: 11–20.
- STUTZ, E.W., DEFAGO, G., HANTKE, R. & KERN, H. 1985: Effect of Parent Materials derived from Different Geological Strata on Suppressiveness of Soils to Black Root Rot of Tobacco. – Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens. – Proceed. 4th Internat. Congr. Plant Pathol. Melbourne, 17–24 August 1983 and Proceed. 1st Internat. Workshop Take-all Cereals, Victor. Crops Research Inst. Horsham, Victoria, Australia. – Americ. Phytopathol. Soc., St. Paul, Minnesota USA: 215–217.
- SUTER, H./HANTKE, R. 1962: Geologie des Kantons Zürich. – Leemann, Zürich, 172 S.
- VOGEL, A. & HANTKE, R. 1988: Zur Geologie des Rigigebietes. – Mitt. natf. Ges. Luzern 30 (1988): 23–50.
- UNGRICHT, ST., PIKA-BIOLZI, M. & HANTKE, R. 2013: Wissenschaftliche Sammlungen: Paläobotanik, Archäobotanik und Entomologie. – In: BURGA, C. et al. (2013): Oswald Heer. – NZZ-Verlag, Zürich, 283–314.
- WAGNER, G. & HANTKE, R. 2010: Medial moraines of Alpine glaciers as supra-glacial transportation of debris and a new interpretation of certain «drumlins». – J. Glacial.
- WILDERMUTH, H., HANTKE, R. & BURNAND, J. 1982: Die Drumlinlandschaft des Zürcher Oberlandes. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 127/1: 19–28.
- ZÜRCHER, A. & HANTKE, R. 1989: Kanton Zürich und angrenzende Gebiete zur Römerzeit 1:350'000. – In: Schulkarte Kanton Zürich. – Lehrmittelverl. Kt. Zürich.

Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft

- Heft 1 1932/35. Redaktion P. Damian Buck. Marcel Diethelm: Die hyperbolischen Funktionen. Karl Benziger: Die natürlichen Bedingungen und die geschichtliche Entwicklung der Waldwirtschaft im Bezirk Einsiedeln. P. Damian Buck: Die Schweizerische Halbblutpferdezucht mit Rücksicht auf die Landesverteidigung. A. Jeannet, W. Leutpold und P. Damian Buck: Stratigraphische Profile des Nummulitkums von Einsiedeln-Iberg. A. Jeannet: Sur quelques grands Echinides irréguliers du Nummulitique des environs d'Iberg (Schwyz).
- Heft 2 1936/38. Redaktion P. Damian Buck. August Müller: Die mechanische und mineralogische Konstitution der Saanesande. Vergriffen.
- Heft 3 1938/40. Redaktion August Müller-Landtwing. Marcel Diethelm: Hyperbelfunktionen mit Rechnungsbeispielen. Sr. Elise Bugmann: Die Mineraliensammlung des Institutes Theresianum Ingenbohl. A. Jeannet: Geologie der oberen Sihltaleralpen (Kt. Schwyz). Nekrologe: P. Damian Buck, Carl Schröter, Franz Xaver Marty.
- Heft 4 1941/48. Redaktion P. Coelestin Merkt. M. Diethelm: Eine charakteristische Eigenschaft der gleichseitigen Hyperbel. H. Güntert: Rhythmische Erscheinungen im Reich der Organismen. Ulrich A. Corti: Ornithologische Notizen aus der Innerschweiz. P. Johannes Heim: Die schalldämpfenden Faktoren bei den Strigiformes. H. von Reding: Bericht über die Tätigkeit der kantonalen Naturschutzkommission in der Zeit vom 1. Januar 1939 bis 21. Dezember 1946.
- Heft 5 1949/56. Redaktion P. Coelestin Merkt. René Hantke: Fossile Floren des Buechberges (Oberer Zürichsee). P. Johannes Heim: Floren des Buechberges, des Nuolenerriedes und des Aahornes (Oberer Zürichsee). P. Johannes Heim und Otto Appert: Avifauna des Nuolenerriedes und des Aahornes bei Lachen (Kt. Schwyz). Vergriffen.
- Heft 6 1966. Redaktion P. Coelestin Merkt. W. Merz: Die Riedlandschaft Segel am Lauerzersee. P. Johannes Heim: Vorkommen und Bestandesgrösse der Iris Sibirica L. im Kanton Schwyz. P. Johannes Heim: Appertia besairieri Paulian. Vergriffen.
- Heft 7 1978. Redaktion Alois Bettschart. Frauenwinkel, Altmatt, Lauerzersee. Geobotanische, ornithologische und entomologische Studien. Mitarbeiter: F. Klötzli, O. Wildi, P. Meile, H. Schiess, P. Voser, J. de Marmels, W. Fuchs, A. Schuler. Vergriffen.
- Heft 8 1982. Redaktion Alois Bettschart. Die Karstlandschaft des Muotatales. Geologische, botanische, forstliche und ornithologische Studien über das Gebiet zwischen Pragelpass und Glattalp. René Hantke: Zur Talgeschichte des Gebietes zwischen Pragel- und Klausenpass. Ruben Sutter und Alois Bettschart: Zur Flora und Vegetation der Karstlandschaft des Muotatales. Walter Kälin: Der Bödmerenwald. Ruedi Hess: Die Vögel des Karstgebietes Bödmerenwald–Twärenenräui–Silberenalp. Vergriffen.
- Heft 9 1990. Redaktion Alois Bettschart. David Jutzeler: Grundriss der Tagfalterfauna in den Kantonen Glarus, Schwyz und Zug. August Schönenberger: Die Brutvögel der Schwantenu, heute und 1952. Ruedi Hess: Bestandesaufnahme ausgewählter Vogelarten im Moorgebiet zwischen Rothenthurm und Biberbrugg 1979, 1982 und 1983. Ruedi Hess: Vorkommen und Bestände von Brutvogelarten der Roten Liste in den Mooren Roblosen und Breitried. Ruedi Hess: Die Brutvogelwelt der Hochmoore um Einsiedeln und Rothenthurm in naher Vergangenheit und Zukunft. Ruedi Hess: Brutbestandesaufnahmen ausgewählter Vogelarten am Lauerzersee 1978 und 1989. Urs Groner: Die epiphytischen Makroflechten im Bödmerenwaldgebiet, Muotatal. Alois Bettschart und Ruben Sutter: Zur Vegetation des Bödmerenwaldgebietes, Muotatal (ein Nachtrag). Fr. 35.–
- Heft 10 1994. Redaktion Alois Bettschart. Josef Bertram: Moosvegetation und Moosflora des Urwald-Reservates Bödmeren. Beatrice Senn-Irlet: Die höheren Pilze des Bödmerenwaldes. Alois Bettschart: Zur Flora und Vegetation des Urwald-Reservates Bödmeren. Margret Gosteli: Die Mollusken des Bödmerenwaldes und angrenzender Gebiete. Fr. 35.–

- Heft 11 1996. Redaktion Stefan Lienert. Interdisziplinäres Forschungsprojekt Ibergereg. Stefan Lienert und Reto Camenzind: Nutzungsgeschichte und Waldvegetation. René Hantke: Geologie. Ruedi Hess: Brutvögel. Martha Zumsteg: Fledermäuse. Heinrich und Corina Schiess-Bühler: Insekten. Meinrad Kächler: Freilandvegetation. Reto Camenzind et al.: Epiphytische Flechtenflora. Josef Breitenbach et al.: Pilzflora. Paul Knüsel und Hans Loher: Landschaftsschutz. Jean Gottesmann: Rechtsaspekte. Fr. 35.–
- Heft 12 2000. Redaktion Stefan Lienert und Richard Bolli. Flora und Vegetation der Iberger Klippenlandschaft – Gedenkschrift Alois Bettschart. Alfred und Walter Bettschart, Herbert Bruhin, Bruno Frick, Beat Meier, Martin Michel und Otto Sticher: Alois Bettschart – Apotheker, Botaniker, Lehrer, Freund. Richard Bolli, Karl Hensler und Josef Stirnimann: Floristische Erkundung der Iberger Klippen. Richard Bolli: Waldfreie natürliche Vegetation, Anthropogene Vegetation. Daniela Pauli: Flachmoore im Fokus der Wissenschaft. Hans-Ulrich Frey: Waldstandorte und Waldvegetation der Iberger Klippenlandschaft. Fr. 35.–
- Heft 13 2001. Redaktion Stefan Lienert. Urwaldreservat Bödmeren. Hans-Ulrich Frey und Markus Bichsel: Vegetationstypen und deren Verbreitung im Urwaldreservat Bödmeren. Catherine Sidler: Spätglaziale und holozäne Vegetationsgeschichte des Bödmerenwaldes, Gemeinde Muotathal/SZ (Pollenanalyse). Pascale Steck, Matthias Wüst, Ruedi Hess und René Güttinger: Die Kleinsäuger des Urwaldreservats Bödmeren und seiner näheren Umgebung (Schweizer Nordalpen, Kanton Schwyz). Fr. 35.–
- Heft 14 2003. Redaktion Stefan Lienert. Geologie und Geotope im Kanton Schwyz. René Hantke und Elsbeth Kuriger: Überblick über die Geologie des Kantons Schwyz und seiner Nachbargebiete. René Hantke, Karl Faber, Jakob Gasser, Stefan Lienert, Josef Stirnimann und Heinz Winterberg: Grundlagen für ein Geotopinventar Kanton Schwyz. Jakob Gasser: 200 Millionen Jahre Erdgeschichte (Region Arth–Goldau–Lauerz–Seewen–Ibach–Brunnen). René Hantke und Adrian E. Scheidegger: Zur Morphogenetik der zentralschweizerischen Alpenrandseen. René Hantke: Mittelmoränen in der Zentralschweiz und in den westlichen Glarner Alpen. René Hantke: Unterseeische Moränen im Vierwaldstätter See. René Hantke: Zur Landschaftsgeschichte der Zentralschweiz und des östlichen Berner Oberlandes. René Hantke: Tektonische Querschnitte durch die Zentralschweiz und die westlichen Glarneralpen. René Hantke: Tektonische Karte der Zentralschweiz und der westlichen Glarner Alpen. Fr. 35.–
- Heft 15 2007. Redaktion Helen und Meinrad Kächler. Schwyzer Moore im Wandel. Meinrad Kächler, Angéline Bedolla, Klaus Ecker, Elizabeth Feldmeyer-Christe, Ulrich Graf, Helen Kächler: Verbreitung und Eigenart der Moore im Kanton Schwyz. Stefan Lienert: Moorwälder und Forstwirtschaft. Urs N. Glutz von Blotzheim: Veränderungen der Vogelwelt im Raum Ibergereg. Urs N. Glutz von Blotzheim: Die Vögel der Moorlandschaften Rothenthurm, Schwantenu, Breitried und Schützenried. Thaddeus Galliker, Pius Kühne, Hans Loher: Brutbestandesaufnahmen moorrelevanter Vogelarten am Lauerzersee 1997 bis 2006. Thomas Hertach: Amphibienförderung Schutt-Sägel-Lauerzersee in den vergangenen 10 Jahren. Goran Dusej, Arbeitsgruppe Tagfalterenschutz in der Schweiz: Zur Tagfalterfauna in den Moorengebieten des Kantons Schwyz. Traute Fliedner-Kalies und Heinrich Fliedner: Libellen. Meinrad Kächler: Botanische Untersuchungen in Schwyzer Mooren – das Schaffen von Alois Bettschart wirkt weiter. Meinrad Kächler, Angéline Bedolla, Klaus Ecker, Elizabeth Feldmeyer-Christe, Ulrich Graf, Helen Kächler: Veränderung der Vegetation in den Schwyzer Mooren. Peter Staubli: Regeneration Enzenau. Res Knobel: Schutzmassnahmen im Frauenwinkel – Moorschutz im Wandel. Michael Erhardt: Landwirtschaft und Moorschutz im Kanton Schwyz. Michael Erhardt und Meinrad Kächler: Schwyzer Moorschutz in Verwaltung und Praxis. Fr. 35.–
- Heft 16 2011. Redaktion Helen und Meinrad Kächler. Libellen im Kanton Schwyz. Hauptautoren: Traute Fliedner-Kalies und Heinrich Fliedner. Mitarbeiter: Meinrad Kächler, Jürg F. Wyrtsch. Fr. 35.–
- Heft 17 2012. Redaktion Helen und Meinrad Kächler. Reptilien im Kanton Schwyz. Jürgen Kühnis. Fr. 22.–

