Zeitschrift: Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft
Herausgeber: Thurgauische Naturforschende Gesellschaft
Band: 72 (2024)

Artikel: Pollenanalyse und Pflanzenmakroreste
Autor: Wick, Lucia / Rey, Fabian / Heiri, Oliver
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1062287

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 20.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

5. Pollenanalyse und Pflanzenmakroreste

Lucia Wick, Fabian Rey & Oliver Heiri

5.1 Analyse vergangener Vegetationsveränderungen

Mikroskopische Überreste von Land- und Wasserpflanzen bleiben hervorragend und über Tausende von Jahren in Seesedimenten erhalten. Besonders die Analyse von Blütenstaub (Pollen) hat sich als Standardmethode für die Untersuchung der Vegetationsgeschichte etabliert. Sie erlaubt einzigartige Einblicke in langfristige Änderungen der Vegetation und die Einwanderung einzelner Pflanzenarten, aber kann auch kurzfristigere, dynamische Reaktionen von terrestrischen Pflanzengemeinschaften auf Umweltveränderungen und menschliche Einflüsse erfassen. Pollen, v. a. von windbestäubten Pflanzenarten, wird grossflächig über die Landschaft verfrachtet. Pollenanalysen an Seesedimenten erlauben daher eine Rekonstruktion vergangener Vegetationsveränderungen auf lokaler bis regionaler Ebene. Neben Pollen von terrestrischen Pflanzengruppen können in Pollenpräparaten auch Sporen von Pilzen, Mikroholzkohlepartikel und Überreste von aquatischen Organismengruppen (z. B. von Blau- und Grünalgen) gefunden werden, was weitere detaillierte Informationen über vergangene Ökosystem- und Umweltveränderungen in und um Seen herum liefert. Die Analyse von grösseren Pflanzenresten wie Nadeln, Samen, Holz, Peridermstücken und Knospenschuppen (sog. Pflanzenmakroreste) bietet einen komplementären Blick auf vergangene Vegetationsveränderungen. Im Gegensatz zu Pollen, der durch Wind regional verweht werden kann, werden grössere Pflanzenreste oft weniger weit transportiert. Sie repräsentieren daher eher die lokalen Pflanzengesellschaften in unmittelbarer Nähe von Seen. Neben Pflanzenresten werden in den Pflanzenmakrorestproben auch andere Fragmente und Überreste wie z. B. grössere Holzkohlestücke, Chitinstrukturen oder Molluskenschalen gefunden, und diese können ebenfalls Informationen zur lokalen Umweltgeschichte liefern.

In der Schweiz existiert eine bedeutende Zahl von hochwertigen Pollen- und Pflanzenmakrorestprofilen, welche die wichtigsten Züge der Vegetations- und Umweltgeschichte des Alpenvorlands, der Voralpen und der Alpen über die letzten 17'000 Jahre aufzeigen *(Lang et al. 2023)*. Diese Untersuchungen dokumentieren natürliche und seit der Jungsteinzeit vermehrt auch vom Menschen getriebene Umweltveränderungen über Jahrhunderte und Jahrtausende. In den vergangenen Jahren haben zeitlich ausserordentlich hoch aufgelöste Pollenprofile aus dem Schweizer Mittelland gezeigt, dass Pollenanalysen auch kurzfristigere Umweltveränderungen und Ökosystem-Störungen verlässlich rekonstruieren können, welche sich im Verlauf von einigen Jahrzehnten und nicht über längere Intervalle wie Jahrhunderte bis Jahrtausende manifestieren *(Rey et al. 2019, 2020)*. Zudem hat die Entwicklung von aufwendigen, hochaufgelösten ^{14}C-Chronologien die Datierung solcher Profile bedeutend verbessert, sodass auch evaluiert werden kann, ob Vegetationsveränderungen in verschiedenen Lokalitäten gleichzeitig oder zeitlich versetzt stattgefunden haben. Anhand von Pollen rekonstruierte Ereignisse in solchen Profilen können dank der hochwertigen Datierung auch detailliert mit archäologischen oder historischen Ereignissen verglichen werden.

Für den Kanton Thurgau sind im Vergleich mit anderen Teilen der Schweiz noch verhältnismässig wenige Pollen- und Makrorestdaten vorhanden, welche die Vegetationsgeschichte der Region zeitlich hochaufgelöst dokumentieren. Wichtige Pollenprofile bestehen vom Nussbaumersee im Seebachtal *(Rösch 1985, Haas & Hadorn 1998, Hillbrand et al. 2014)*. Allerdings entspricht die zeitliche Auflösung und die Datierung nicht den Umweltrekonstruktionen, die in jüngster Vergangenheit z. B. aus dem Berner Alpenvorland entwickelt worden sind *(Rey et al. 2019, 2020)*. Ein Hauptziel des KUMIT-Projekts war daher, zwei neue, zeitlich mithilfe von ^{14}C-Datierungen hochaufgelöste Pollen- und Pflanzenmakrorestprofile des Bichelsees und des Hüttwilersees zu erarbeiten. Die Pollenprofile gehören mit 579 und 706 analysierten Proben zusammen mit jenen des Burgäschisees, Kanton Solothurn/Bern (415 Pollenproben; *Rey et al. 2017, 2019*), und des Moossees, Kanton Bern (514 Pollenproben; *Rey et al. 2019, 2020*), zu den momentan am besten untersuchten Pollendatensätzen der Schweiz, wobei die letzteren zwei Untersuchungen, im Vergleich zu den Studien am Bichelsee und am Hüttwilersee, nicht durch detaillierte Makrorestanalysen unterstützt werden konnten. Die neuen Profile zeigen in einer bisher noch nicht bekannten zeitlichen Auflösung, wie sich die Vegetation in der Nordostschweiz im Verlauf des Spätglazials und der gegenwärtigen Wärmezeit verändert hat und wie sich Landschaft und Vegetation in verschiedenen prähistorischen (z. B. Jungsteinzeit, Bronzezeit, Eisenzeit) und geschichtlichen Epochen (z. B. Römerzeit, Mittelalter, frühe Neuzeit) als Folge von natürlichen Umweltveränderungen, aber zunehmend auch durch menschliche Aktivitäten entwickelt haben.

5.2 Methoden

Für die Analyse von Pollen, Mikroholzkohlen und anderen Mikroresten wurden dem Sedimentkern vom Hüttwilersee 579 Proben zu je 1 cm^3 entnommen, wovon 505 Proben ab ca. 5800 v. Chr. (Neolithikum) hochaufgelöst und lückenlos analysiert wurden. Die restlichen 74 Proben wurden mit einem ungefähr gleichmässigen Abstand beprobt und analysiert. Für den Bichelsee wurden 706 Proben zu ebenfalls 1 cm^3 Sediment entnommen – und zwar lückenlos von der Eisenzeit bis heute (1–460 cm; die Proben zwischen 100 und 290 cm umfassen je 2 cm Sediment) sowie zwischen 2500 und 7000 v. Chr. (580–850 cm). In den übrigen Bereichen betragen die Probenabstände 4 cm (460–580 cm und 850–910 cm Sedimenttiefe), bzw. 8 cm (910–1085 cm). Die Aufbereitung der Proben des Hüttwilersees erfolgte in Laboren der Universitäten Basel und Bern. Die Proben des Bichelsees wurden im Labor für Archäobotanik am Landesamt für Denkmalpflege in Hemmenhofen (D) aufbereitet. Zur Anwendung kamen Standardmethoden, d. h. Sieben mit 0,2 mm Maschenweite und Behandlung mit HCl 10 %, KOH 10 %, HF 40 % und Acetolyse *(Moore et al. 1991)*. Die Zugabe von standardisierten Tabletten mit Bärlapp-Sporen *(Lycopodium)* ermöglicht die Berechnung von Pollenkonzentrationen (Anzahl Partikel pro cm^3 Sediment) und -influx (Anzahl Partikel pro cm^2 Fläche und Jahr). Die mikroskopische Analyse der in Glycerin eingebetteten Pollen erfolgte im Lichtmikroskop bei 400-facher Vergrösserung. Pollenbestimmungen erfolgten mithilfe von Bestimmungsschlüsseln *(Beug 2004)* und Rezent-Vergleichspräparaten. Neben Pollenkörnern und Holzkohlepartikeln wurden auch andere mikroskopische Reste, sogenannte NPP (non-Pollen Palynomorphe), ausgezählt *(Abbildung 5-1)*. Dazu zählen neben Algen und Ge-

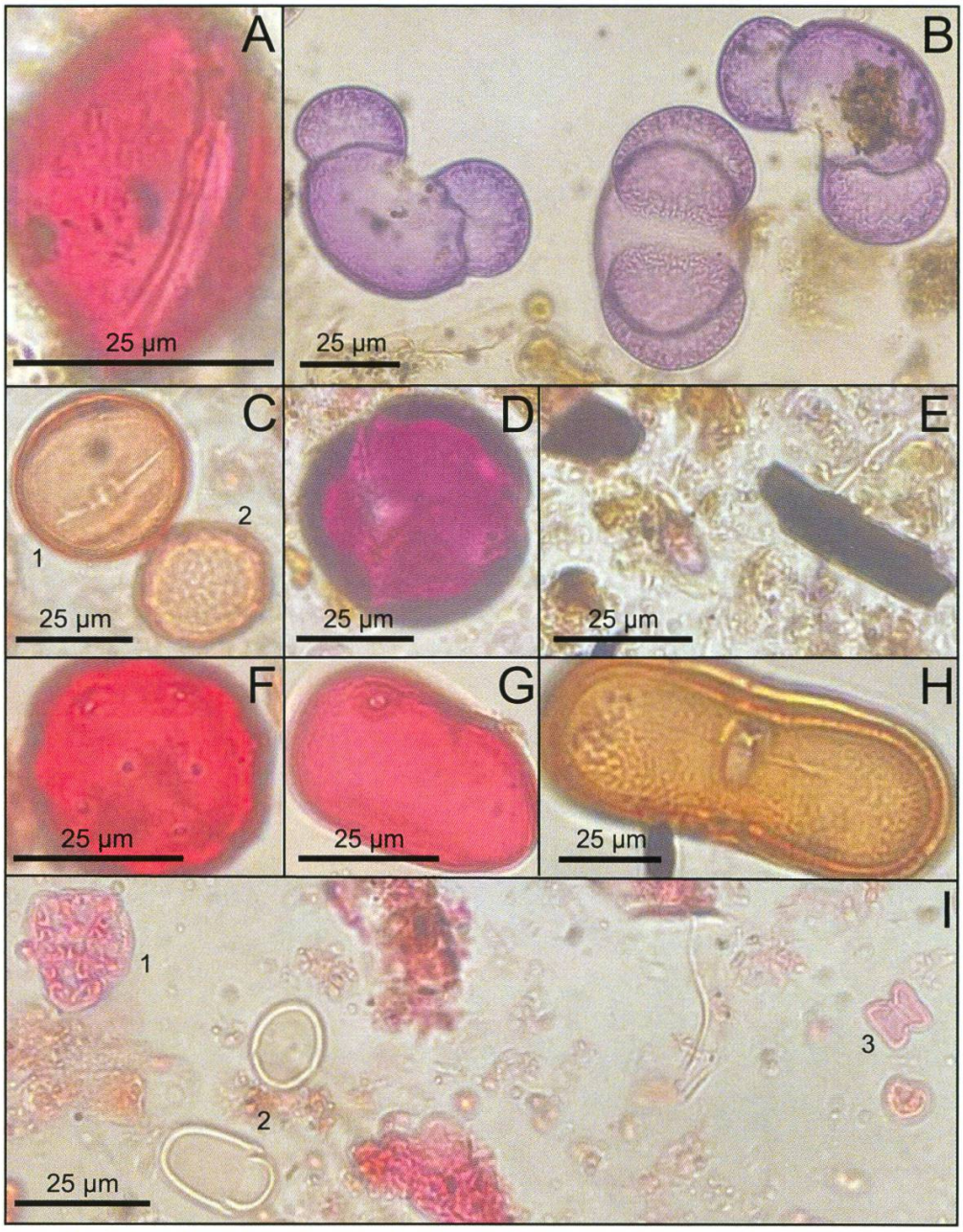


Abbildung 5-1: Lichtmikroskop-Fotografien diverser Mikrofossilien. A Helianthemum *(Sonnenröschen), B* Pinus sylvestris *(Föhre), C 1* Fagus sylvatica *(Rotbuche), C 2* Ulmus *(Ulme), D* Linum usitatissimum *(Gemeiner Lein), E Mikro-Holzkohle, F* Juglans regia *(Nussbaum), G* Secale cereale *(Roggen), H* Orlaya grandiflora *(Strahlen-Breitsame), I 1* Coelastrum *(Grünalge), I 2* Anabaena *(Blaualge), I 3* Tetraedron *(Grünalge) (Fotos: Geoökologie Universität Basel, Fabian Rey).*

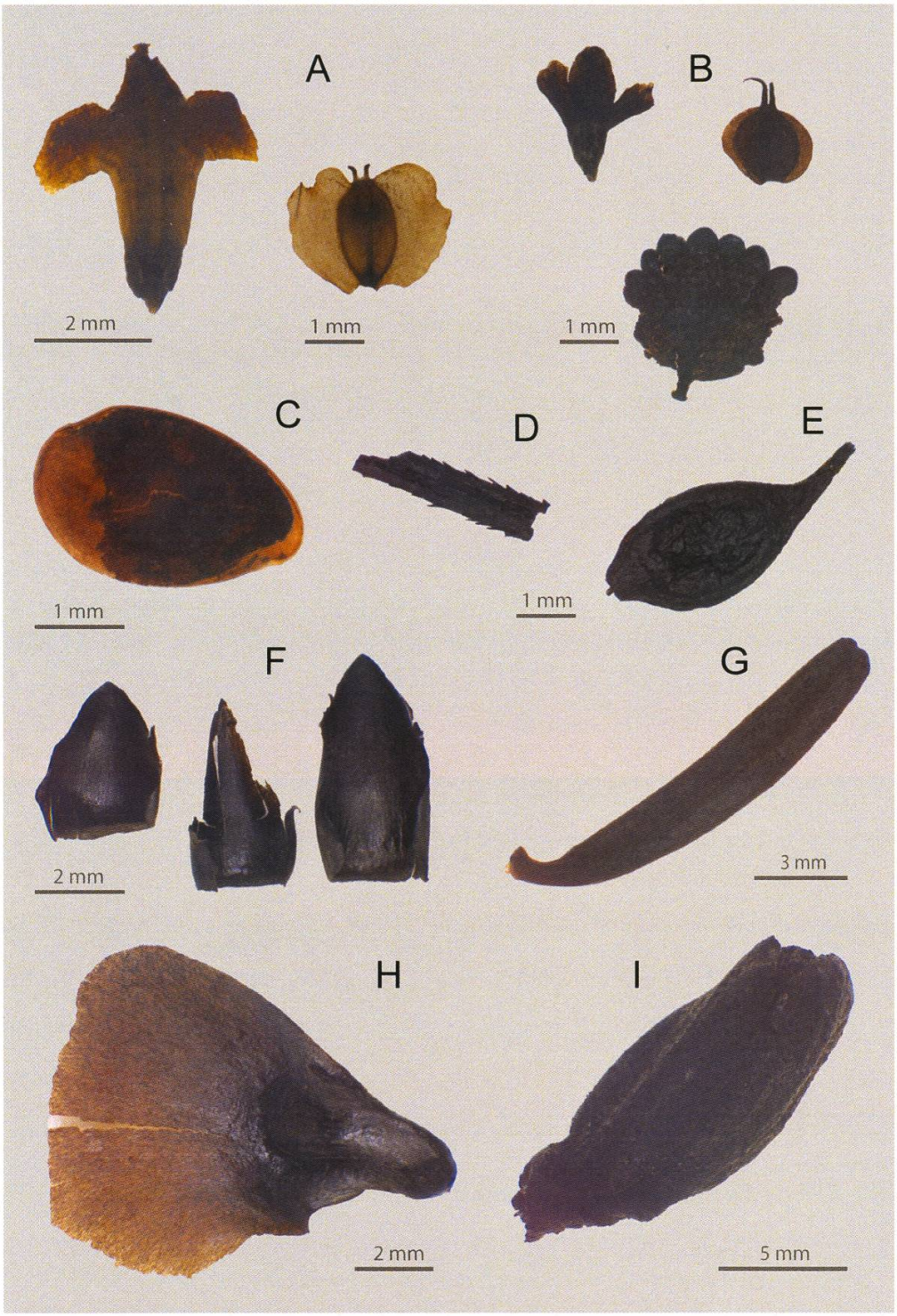


Abbildung 5-2: Makroreste aus dem Bichelsee und dem Hüttwilersee. A Betula *sp. (Baumbirke), Fruchtschuppe und Frucht, B* Betula nana *(Zwergbirke), Fruchtschuppe, Frucht und Blatt, C* Linum usitatissimum *(Gemeiner Lein), Same, D verkohlte Getreidegranne, E* Clematis *(Waldrebe), Frucht, F* Fagus sylvatica *(Rotbuche), Knospenschuppen, G und H* Abies alba *(Weisstanne), Nadel und Same, I* Alnus *(Erle), Knospe (Fotos: Geoökologie Universität Basel, Lucia Wick).*

weberesten von Wasser- und Landpflanzen v. a. Pilzsporen, welche wichtige Informationen zur Ökologie und zur Landnutzung in der Umgebung des Sees liefern können. Die Ergebnisse sind in Pollenprozent-Diagrammen dargestellt, wobei in 573 von 579 Proben des Hüttwilersees die Bezugssumme (100 %) aus mindestens 500, in den Proben des Bichelsees zwischen 600–700 Pollenkörnern von terrestrischen Pflanzen (inklusive Cyperaceae) besteht. Das gilt auch für Wasserpflanzen, Farnsporen, *Cannabis* und NPP, welche nicht in der Bezugssumme enthalten sind. Für die Pflanzenmakroreste- und Makroholzkohleanalyse der Sedimente des Hüttwilersees wurden dem Sedimentkern lückenlos 1152 Proben mit mindestens 10 cm^3 Material entnommen. Die Bohrkerne aus dem Bichelsee wurden nach der Entnahme der Pollenproben in 1 cm dicke Scheiben geschnitten und insgesamt 943 Proben mit einem mittleren Volumen von 25 cm^3 analysiert. Die Proben für die Pflanzenmakroreste- und Makroholzkohleanalyse wurden gesiebt (Maschenweite: 200 µm) und das Pflanzenmaterial mithilfe eines Stereomikroskops bestimmt *(Abbildung 5-2)*. Ein bedeutender Teil der Makrorestproben wurde getrocknet und zur ^{14}C-Datierung der Sedimentprofile des Hüttwilersees und des Bichelsees verwendet *(Heiri et al. in diesem Band, Kapitel 4)*.

5.3 Ergebnisse und Diskussion

5.3.1 Bichelsee

Das Ende des Spätglazials und die Entwicklung der holozänen Laubwälder

Die Basis des 10,85 m langen Sedimentkerns aus dem Bichelsee *(Abbildung 5-3)* ist auf 11'750 v. Chr. datiert und liegt damit im Bølling/Allerød-Interstadial, einer Warmphase im Spätglazial, in welcher sich im Alpenvorland erstmals wieder Wälder ausbreiten konnten. Die baumlose Steppentundra und die Wiederbewaldung mit Wacholder und Birke, die im Profil Hüttwilersee erfasst wurden *(Kapitel 5.3.2)*, konnten auch mit der zweiten Bohrung im Bichelsee nicht erreicht werden. Die spätglazialen Föhren-Birkenwälder sind vergleichbar mit den heutigen borealen Wäldern in subarktischen Gebieten.

Temperaturrekonstruktionen für diese Zeit anhand von Sauerstoffisotopen und aquatischen Organismen deuten bereits auf recht milde Klimabedingungen hin, zumindest in den Sommermonaten *(von Grafenstein et al. 1999, Heiri et al. 2014)*. In der letzten Kaltphase des ausgehenden Spätglazials, der Jüngeren Dryaszeit (ca. 10'700–9500 v. Chr.), stiessen die Gletscher in den Alpen nochmals vor. Wie in anderen Regionen des nördlichen Alpenvorlands führten die schlechteren Klimabedingungen zu einer Auflichtung der Wälder am Bichelsee und zu einer Zunahme von Pflanzen wie *Juniperus communis* (Wacholder), *Botrychium* (Mondraute), *Selaginella selaginoides* (Moosfarn), Gräsern und lichtliebenden Kräutern. *Ephedra distachya* (Meerträubchen), *Artemisia* (Beifuss), Chenopodiaceae (Gänsefussgewächse), *Helianthemum* (Sonnenröschen), *Thalictrum* (Wiesenraute) und andere kältetolerante Pflanzen lassen auf ein Mosaik von lichten Föhrenwäldern und trockenen, steppenartigen Mikrohabitaten schliessen *(Abbildung 5-3)*. Die hohen Sedimentationsraten und fehlende Pflanzenmakroreste *(Abbildung 5-4)* sprechen für eine lückenhafte Vegetationsdecke. Auffallend sind die häufigen Funde von Sporen der koprophilen, dungliebenden Pilze *Sordaria, Cercophora* und *Sporormiella (Abbildung 5-3)*, die auf

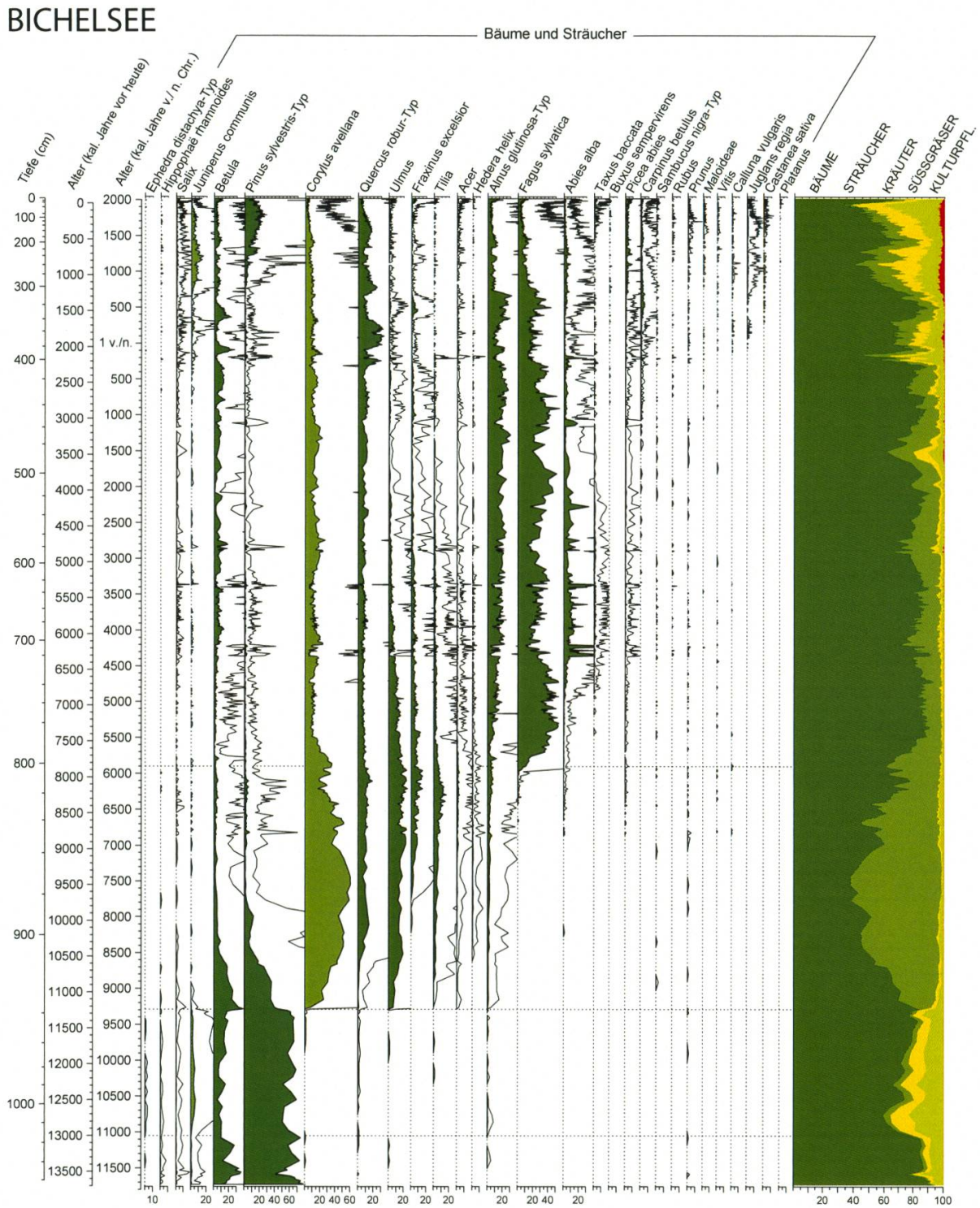
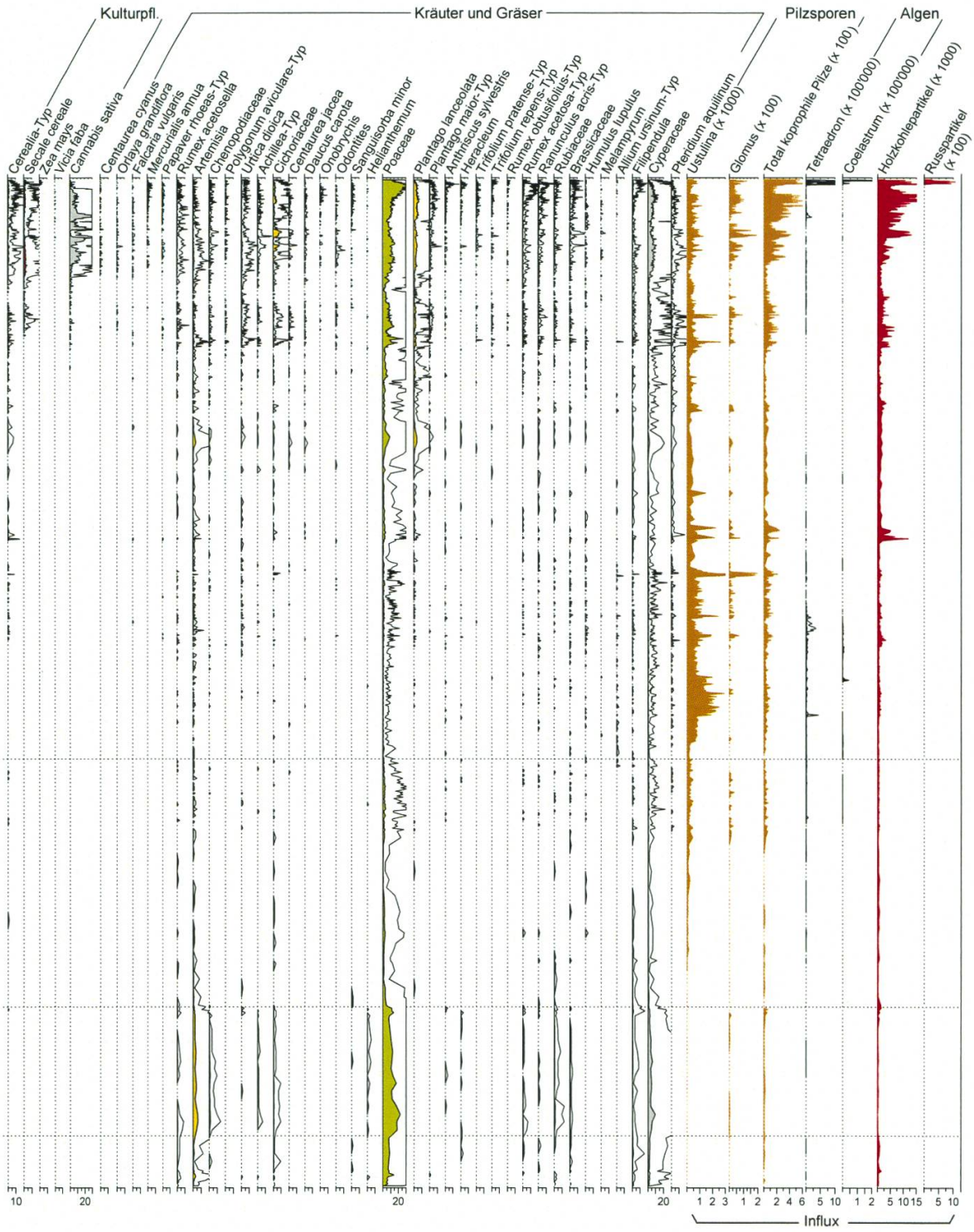
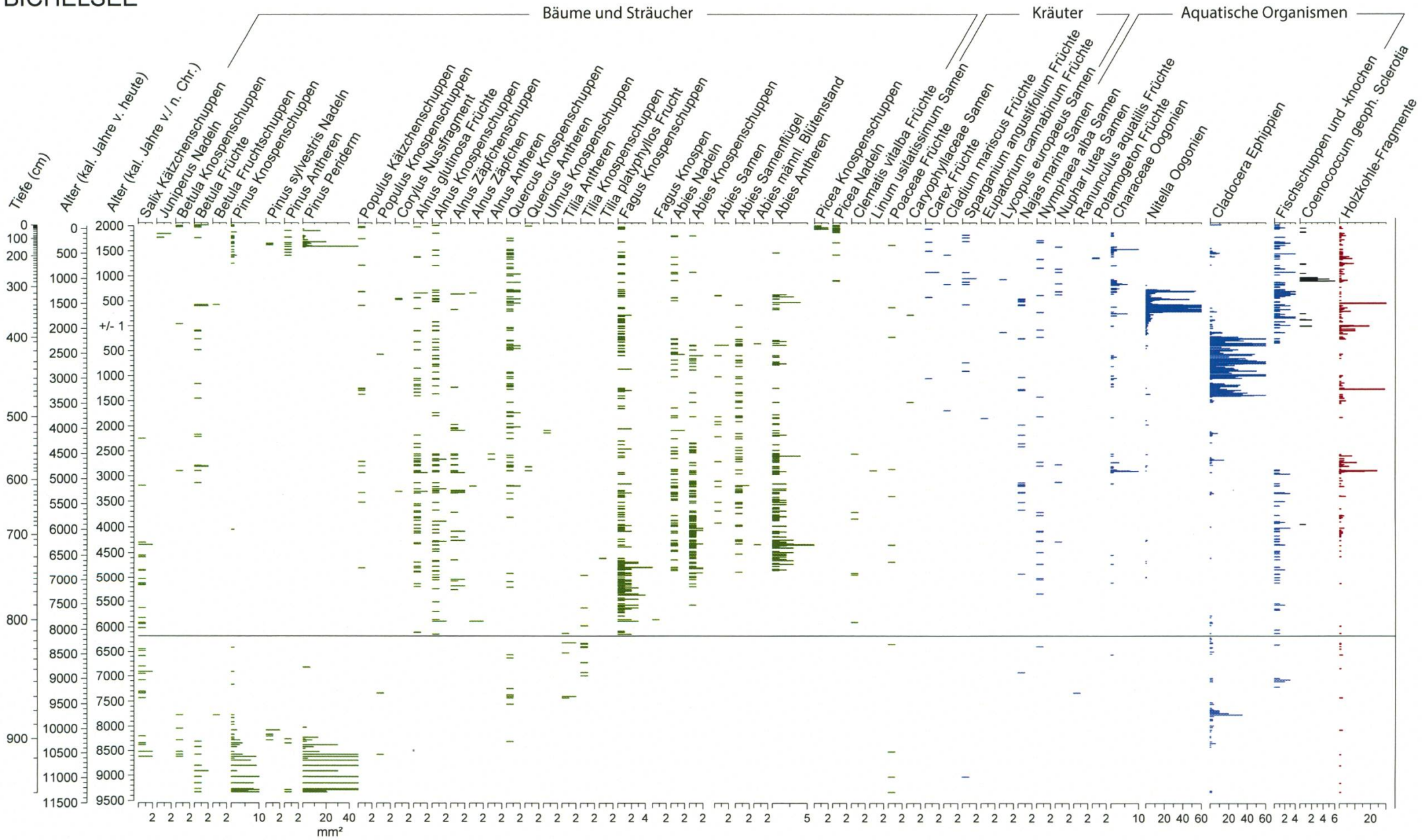


Abbildung 5-3: Bichelsee: Übersichts-Pollendiagramm. Prozentwerte ausgewählter Pollentypen sowie Influxwerte von Sporen, Algenresten, Russpartikeln (SCPs) und mikroskopischen Holzkohlepartikeln (Influxwerte in cm^{-2} $Jahr^{-1}$). Die weissen Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Prozentwerte.


Kulturpfl.
Kräuter und Gräser
Pilzsporen
Algen
Cerealia-Typ
Secale cereale
Zea mays
Vicia faba
Cannabis sativa
Centaurea cyanus
Ortaya grandiflora
Falcaria vulgaris
Mercurialis annua
Papaver rhoeas-Typ
Rumex acetosella
Artemisia
Chenopodiaceae
Polygonum aviculare-Typ
Urtica dioica
Achillea-Typ
Cichoriaceae
Centaurea jacea
Daucus carota
Onobrychis
Odontites
Sanguisorba minor
Helianthemum
Poaceae
Plantago lanceolata
Plantago major-Typ
Anthriscus sylvestris
Heracleum
Trifolium pratense-Typ
Trifolium repens-Typ
Rumex obtusifolius-Typ
Ranunculus acetosa-Typ
Ranunculus acris-Typ
Rubiaceae
Brassicaceae
Humulus lupulus
Melampyrum
Allium ursinum-Typ
Filipendula
Cyperaceae
Pteridium aquilinum
Ustulina (x 1000)
Glomus (x 100)
Total koprophile Pilze (x 100)
Tetraedron (x 100'000)
Coelastrum (x 100'000)
Holzkohlepartikel (x 1000)
Russpartikel (x 100)
10
20
20
20
1 2 3
1 2
2 4 6
5 10
1 2
5 10 15
5 10
Influx

BICHELSEE


Bäume und Sträucher
Kräuter
Aquatische Organismen
Tiefe (cm)
Alter (kal. Jahre v. heute)
Alter (kal. Jahre v./ n. Chr.)
Salix Kätzchenschuppen
Juniperus Nadeln
Betula Knospenschuppen
Betula Früchte
Betula Fruchtschuppen
Pinus Knospenschuppen
Pinus sylvestris Nadeln
Pinus Antheren
Pinus Periderm
Populus Kätzchenschuppen
Populus Knospenschuppen
Corylus Nussfragment
Alnus glutinosa Früchte
Alnus Knospenschuppen
Alnus Zäpfchenschuppen
Alnus Zäpfchen
Alnus Antheren
Quercus Knospenschuppen
Quercus Antheren
Ulmus Knospenschuppen
Tilia Antheren
Tilia Knospenschuppen
Tilia platyphyllos Frucht
Fagus Knospenschuppen
Fagus Knospen
Abies Nadeln
Abies Knospenschuppen
Abies Samen
Abies Samenflügel
Abies männl. Blütenstand
Abies Antheren
Picea Knospenschuppen
Picea Nadeln
Clematis vitalba Früchte
Linum usitatissimum Samen
Poaceae Früchte
Caryophyllaceae Samen
Carex Früchte
Cladium mariscus Früchte
Sparganium angustifolium Früchte
Eupatorium cannabinum Früchte
Lycopus europaeus Samen
Najas marina Samen
Nymphaea alba Samen
Nuphar lutea Samen
Ranunculus aquatilis Früchte
Potamogeton Früchte
Characeae Oogonien
Nitella Oogonien
Cladocera Ephippien
Fischschuppen und -knochen
Coenococcum geoph. Sclerotia
Holzkohle-Fragmente
mm²

weidende Grossherbivoren in der Umgebung des Sees hinweisen – zu dieser Zeit möglicherweise Elche, Rothirsche, Wildpferde oder Wisente *(Nielsen 2013)*. Eine Klimaerwärmung um mehrere Grad innerhalb weniger Jahrzehnte schuf am Übergang von der Jüngeren Dryaszeit zum Holozän (ca. 9500 v. Chr.) die Voraussetzung für die rasche Einwanderung und Ausbreitung der wärmeliebenden Gehölze. In den ersten Laubmischwäldern dominierten *Corylus avellana* (Hasel) und *Ulmus* (Ulme). *Tilia* (Linde) kam etwas später dazu und ab 8700 v. Chr. gewann *Quercus* (Eiche) an Bedeutung *(Abbildung 5-3)*. Mit der zunehmenden Schliessung der Wälder verschwanden die lichtliebenden Sträucher und Kräuter. Das Makrorestdiagramm *(Abbildung 5-4)* zeigt deutlich, wie die Pionierbäume *Betula* (Birke) und *Pinus sylvestris* (Waldföhre) von den wärmeliebenden Gehölzen *(Quercus, Tilia)* verdrängt wurden. Sie zogen sich wohl auf Sonderstandorte wie Steilhänge oder vernässte Böden zurück, wo sie auch heute noch zu finden sind.

Um etwa 7500 v. Chr. ging *Corylus* allmählich zurück, während *Fraxinus excelsior* (Esche) und *Alnus glutinosa* (Schwarzerle) häufiger wurden und die Ulme ihre maximale Verbreitung erreichte. Kurz danach tauchen im Pollendiagramm auch die ersten Pollenkörner der Schatthölzer *Abies alba* (Weisstanne) und *Fagus sylvatica* (Rotbuche) auf *(Abbildung 5-3)*. Während die Weisstanne sich vorerst kaum bemerkbar machte, erfolgte nach 6000 v. Chr. die Massenausbreitung der Buche. Im Gegensatz zu fast allen übrigen Laubhölzern (mit Ausnahme von Erle und Eiche), die mit Makroresten nicht oder nur beschränkt nachweisbar sind, zeigen die *Fagus*-Knospenschuppen die lokale Präsenz der Buche sehr zuverlässig an *(Abbildung 5-4)*.

Die ersten Hinweise auf menschliche Einflüsse am Bichelsee: Neolithikum bis Bronzezeit

Nach der Buchenausbreitung in der ersten Hälfte des 6. Jahrtausends v. Chr. *(Abbildung 5-3* und *5-4)* zeigt die Pollenkurve von *Fagus* mehrere Wechsel von weitgehend geschlossenem Buchenmischwald zu etwas offeneren Beständen mit mehr *Betula, Corylus* und anderen Lichtungszeigern. Solche Buchenwald-Zyklen wurden im Schweizer Mittelland und im Bodenseeraum schon mehrfach nachgewiesen. Neuere Datierungen zeigen, dass sie mindestens bis zum Beginn der Bronzezeit weitgehend synchron verlaufen *(Kap. 5.3.2 Hüttwilersee; Rey et al. 2019)*. Mit *Fagus*-Maxima um 5300–4700, 3300 und 2100 v. Chr. passt die Vegetationsentwicklung am Bichelsee ausserordentlich gut in dieses Muster, auch wenn hier – wohl bedingt durch die unterschiedlichen klimatischen und bodenbezogenen Verhältnisse – die Buche deutlich stärker vertreten ist als im Seebachtal und in der Bodenseeregion. Archäologische Nachweise von Feuchtbodensiedlungen an den Seen und Hinweise auf Ackerbau und Viehwirtschaft in den Pollenspektren lassen generell auf einen Zusammenhang zwischen den Buchenwald-Zyklen und Landnutzung schliessen *(Rey et al. 2019)*.

Abbildung 5-4: Bichelsee: Makrorest-Diagramm. Anzahl Reste und makroskopische Holzkohlestücke pro 25 cm³ Sediment (Periderm: mm² pro 25 cm³ Sediment).

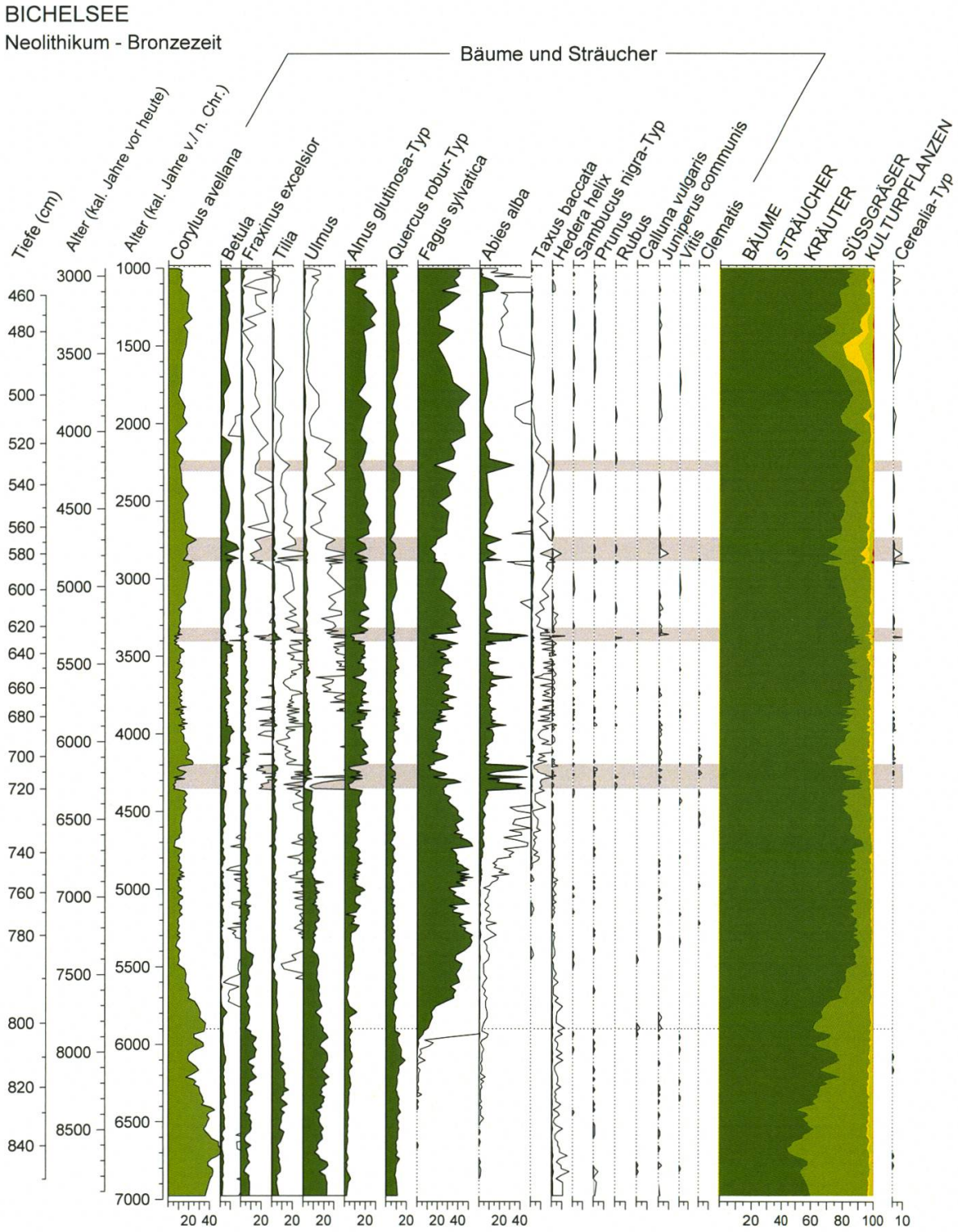
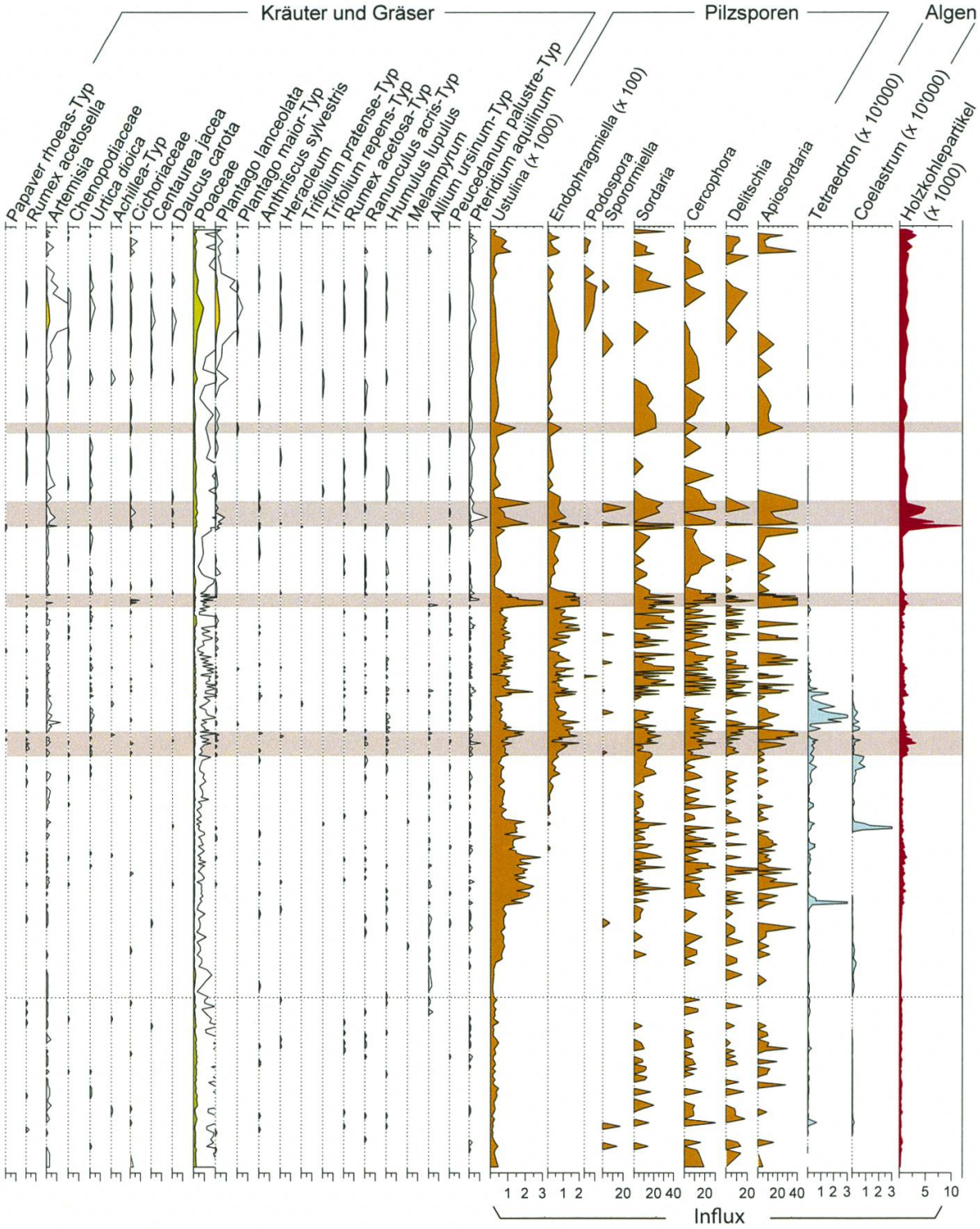


Abbildung 5-5: Bichelsee: Pollendiagramm Neolithikum bis Bronzezeit. Dargestellt sind die Prozente von ausgewählten Pollentypen und die Influxwerte einzelner Pilzsporen und Algen sowie der mikroskopischen Holzkohle (Influxwerte in cm^{-2} $Jahr^{-1}$). Die weissen Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Prozentwerte. Grau hinterlegte Abschnitte markieren Phasen verstärkter Bodenerosion im Zusammenhang mit anthropogenen Aktivitäten.


Kräuter und Gräser
Pilzsporen
Algen
Papaver rhoeas-Typ
Rumex acetosella
Artemisia
Chenopodiaceae
Urtica dioica
Achillea-Typ
Cichoriaceae
Centaurea jacea
Daucus carota
Poaceae
Plantago lanceolata
Plantago maior-Typ
Anthriscus sylvestris
Heracleum
Trifolium pratense-Typ
Trifolium repens-Typ
Rumex acetosa-Typ
Ranunculus acris-Typ
Humulus lupulus
Melampyrum
Allium ursinum-Typ
Peucedanum palustre-Typ
Pteridium aquilinum
Ustulina (x 1000)
Endophragmiella (x 100)
Podospora
Sporormiella
Sordaria
Cercophora
Delitschia
Apiosordaria
Tetraedron (x 10'000)
Coelastrum (x 10'000)
Holzkohlepartikel (x 1000)
1 2 3
1 2
20
20 40
20
20
20 40
1 2 3
1 2 3
5
10
Influx

Archäologische Belege für neolithische Siedlungen fehlen im Umland des Bichelsees und die Öffnungen der Buchenwälder sind weit weniger ausgeprägt als im Seebachtal. Trotzdem besteht anhand der Pollendaten kein Zweifel daran, dass sich bereits im Jungneolithikum zeitweise Menschen in der Umgebung des Sees aufhielten *(Abbildung 5-5)*. Hinweise auf erste Siedler sind Funde von Getreide-Pollen (Cerealia) und die Zunahme von Nichtbaumpollen, darunter Poaceae (Süssgräser), Weidezeiger wie *Plantago lanceolata* (Spitzwegerich), Ackerunkräuter und Ruderalpflanzen wie Chenopodiaceae (Gänsefussgewächse) oder *Urtica* (Brennnessel). Sehr deutliche Hinweise auf menschliche Eingriffe in die Wälder liefern auch die starken Schwankungen von Pilzsporen, welche auf Weidewirtschaft mit Wiederkäuern und Bodenerosion hinweisen *(Abbildungen 5-3* und *5-5)*. Als Weidezeiger gelten z. B. die Sporen von koprophilen Schlauchpilzen (Ascomycota) wie *Sordaria*, *Cercophora*, *Apiosordaria* und *Delitschia*, welche auf frischem Tierdung wachsen. Im Zeitraum von ca. 4500 bis 2200 v. Chr. weisen die Sporen der koprophilen Pilze vier kurzzeitige Maxima auf, gleichzeitig mit sehr hohen Werten der Sporen des Mykorrhiza-Pilzes *Glomus*, des Brandkrustenpilzes *Ustulina deusta* (Syn.: *Kretzschmaria deusta*) und des Schlauchpilzes *Endophragmiella*. *Ustulina deusta* ist ein pathogener Pilz, der Zellulose und Lignin abbaut und neben toten Baumstrünken auch *Fagus*, *Tilia* und andere lebende Laubbäume befallen kann. Verletzungen der Stammbasis und Wurzeln durch weidendes Vieh erleichtern das Eindringen des Pilzes und können so seine Verbreitung fördern *(Szal et al. 2015)*. Kurze Ereignisse mit grossen Mengen an *Ustulina*-Sporen sind wahrscheinlich auf Bodenerosion nach Auflichtungen der Wälder durch den Menschen zurückzuführen. Im Pollendiagramm lassen sich diese Erosionsereignisse auch an sehr niedrigen Pollenkonzentrationen und relativen Zunahmen von Pollen der Weisstanne *(Abies alba)* erkennen *(Abbildung 5-5)*. Die Ausbreitung dieses Baums am Bichelsee erfolgte verhältnismässig spät und möglicherweise begünstigt durch moderate und kurzfristige anthropogene Eingriffe in die Buchenbestände an den umliegenden Hängen.

Die deutlichen paläobotanischen Hinweise auf lokale Siedlungsaktivitäten in unmittelbarer Seenähe im 44., 34. und 29./28. Jahrhundert v. Chr. zeigen, dass die ersten neolithischen Siedlungen am Bichelsee wohl zeitgleich mit den ältesten Pfahlbaudörfern an den grösseren Seen im Alpenvorland entstanden. Dabei lassen der Fund eines Samens von *Linum usitatissimum* (Saat-Lein) *(Abbildung 5-2* und *5-4)*, relativ viel Getreidepollen und stark erhöhte Holzkohlekonzentrationen *(Abbildung 5-5)* in der Siedlungsphase vom 29./28. Jahrhundert (späte Horgener Kultur) eine ehemalige Seeufersiedlung im nordöstlichen Uferbereich unweit der Bohrstelle vermuten. Möglicherweise waren bereits vor diesen Phasen, im Früh- und Mittelneolithikum, menschliche Aktivitäten für weniger stark ausgeprägte Vegetationsänderungen in der Umgebung des Bichelsees verantwortlich. Darauf deuten mehrere im Pollendiagramm erkennbare Auflichtungen des Buchenwaldes zwischen 5200 und 4700 v. Chr. hin *(Abbildung 5-5)*. Sie werden begleitet von Lichtungszeigern wie *Clematis* (Waldrebe) und *Juniperus* (Wacholder) und Zeigern für Störungen und Offenland wie Chenopodiaceae, *Urtica dioica* (Brennnessel), *Daucus carota* (Wilde Möhre), *Rumex acetosa* (Sauerampfer) und *Plantago lanceolata* (Spitzwegerich). Erhöhte Werte der Grünalgen *Tetraedron* und *Coelastrum* lassen gleichzeitig eine Zunahme der Nährstoffe im See vermuten. So lange jedoch archäologische und archäobotanische Be-

lege (z. B. Artefakte, Makroreste von Sammel- und Kulturpflanzen) für die Anwesenheit von Menschen in der Region fehlen, bleibt das Spekulation. Dasselbe gilt auch für die mesolithische Zeit, für welche zwischen 7000 und 6000 v. Chr. erste Grünalgen *(Tetraedron, Coelastrum)* höhere Nährstoffkonzentrationen anzeigen und leicht erhöhte Werte der Poaceae sowie eine Zunahme von lichtliebenden Kräutern etwas offenere Verhältnisse andeuten. Feuer- und Störungszeiger wie *Pteridium aquilinum* (Adlerfarn), *Melampyrum* (Wachtelweizen), *Urtica* (Brennnessel), *Rumex* (Sauerampfer), koprophile Pilze oder der auf verkohltem Pflanzenmaterial keimende Ascomycet *Gelasinospora* könnten Hinweise auf menschliche Aktivitäten ab ca. 7000 v. Chr. sein *(Innes et al. 2010)*. Inwieweit mesolithisches und frühneolithisches Waldmanagement (z. B. Bastgewinnung, Wildhege) zum Rückgang von Linde und Ulme und zur Massenausbreitung der Buche in Mitteleuropa beigetragen haben, ist nach wie vor unklar und wird kontrovers diskutiert *(Lang et al. 2023)*.

Bronzezeit bis Römerzeit: Entstehung der Kulturlandschaft

Nach der im 29./28. Jahrhundert v. Chr. erfassten Siedlungsphase (späte Horgener Kultur) nahm die Bewaldung in der Umgebung des Bichelsees wieder allmählich zu. Bis zum Beginn der Bronzezeit sind anhand der Pollendaten keine nennenswerten anthropogenen Eingriffe in die Wälder zu erkennen *(Abbildung 5-3)*. Annähernd gleich hohe *Fagus*-Pollenwerte wie vor dem Beginn der neolithischen Rodungen im 6. Jahrtausend v. Chr. lassen auf weitgehend geschlossene Buchenwälder schliessen. Auch die Frühbronzezeit macht sich mit einer kurzfristigen lokalen Waldauflichtung um 2000 v. Chr. und Hinweisen auf Getreidebau und Viehwirtschaft nur schwach bemerkbar. In der Mittelbronzezeit hingegen deuten die Pollendaten zwischen 1600 und 1300 v. Chr. auf ausgedehnte Entwaldungen hin *(Abbildung 5-5)*. Neben Ackerbau scheint in dieser Zeit die Viehhaltung an Bedeutung gewonnen zu haben. Hohe Anteile an Gräserpollen, *Plantago lanceolata, P. maior* (Breitwegerich), *Trifolium*-Arten (Klee) und anderen Fabaceae, verschiedenen Apiaceae (Doldenblütler), *Ranunculus* (Hahnenfuss) und weiteren Wiesenpflanzen können als Hinweis auf erste bewirtschaftete Grünlandflächen betrachtet werden. Im Pollendiagramm vom Bichelsee zeigen sich ein Anstieg der Eichenwerte und ab diesem Zeitpunkt kontinuierliche Nachweise von Hainbuchen *(Carpinus betulus)*. Möglicherweise ist das eine Folge der veränderten Bewirtschaftung der siedlungsnahen Wälder, welche zu den ersten Mittelwäldern führte, mit grossen Eichen-Fruchtbäumen im Überstand und Hainbuchen und Haselsträuchern im Unterwuchs, die als Brennholz-Lieferanten dienten *(Rösch 2005)*. Bemerkenswert sind dabei auch die Sporen des koprophilen Pilzes *Podospora,* die erfahrungsgemäss v.a. im Zusammenhang mit Rinderhaltung stehen und meist erst ab der Römerzeit in grösseren Mengen auftreten. Sowohl die Weisstanne als auch die Laubbäume *Tilia* (Linde), *Ulmus* (Ulme) und *Fraxinus excelsior* (Esche), die seit dem Neolithikum als Viehfutter (Zweigfütterung, Laubheu) genutzt wurden *(Kühn & Wick 2010, Jacomet & Schibler 2017)* und sich infolge der Beweidung der Wälder kaum mehr verjüngen konnten, verschwanden in der Bronzezeit fast völlig aus den Wäldern. Die bronzezeitlichen Landnutzungsphasen waren am Bichelsee sehr ausgeprägt, aber von relativ kurzer Dauer. Bereits im 13. Jahrhundert v. Chr. wurden viele der bewirtschafteten Flächen wieder aufgegeben und die Pollendaten weisen auf eine Wiederbewaldung mit den Pioniergehölzen *Corylus, Betula* und *Alnus* hin, gefolgt von einer kräftigen Ausbreitung der Buche *(Abbildung 5-5)*.

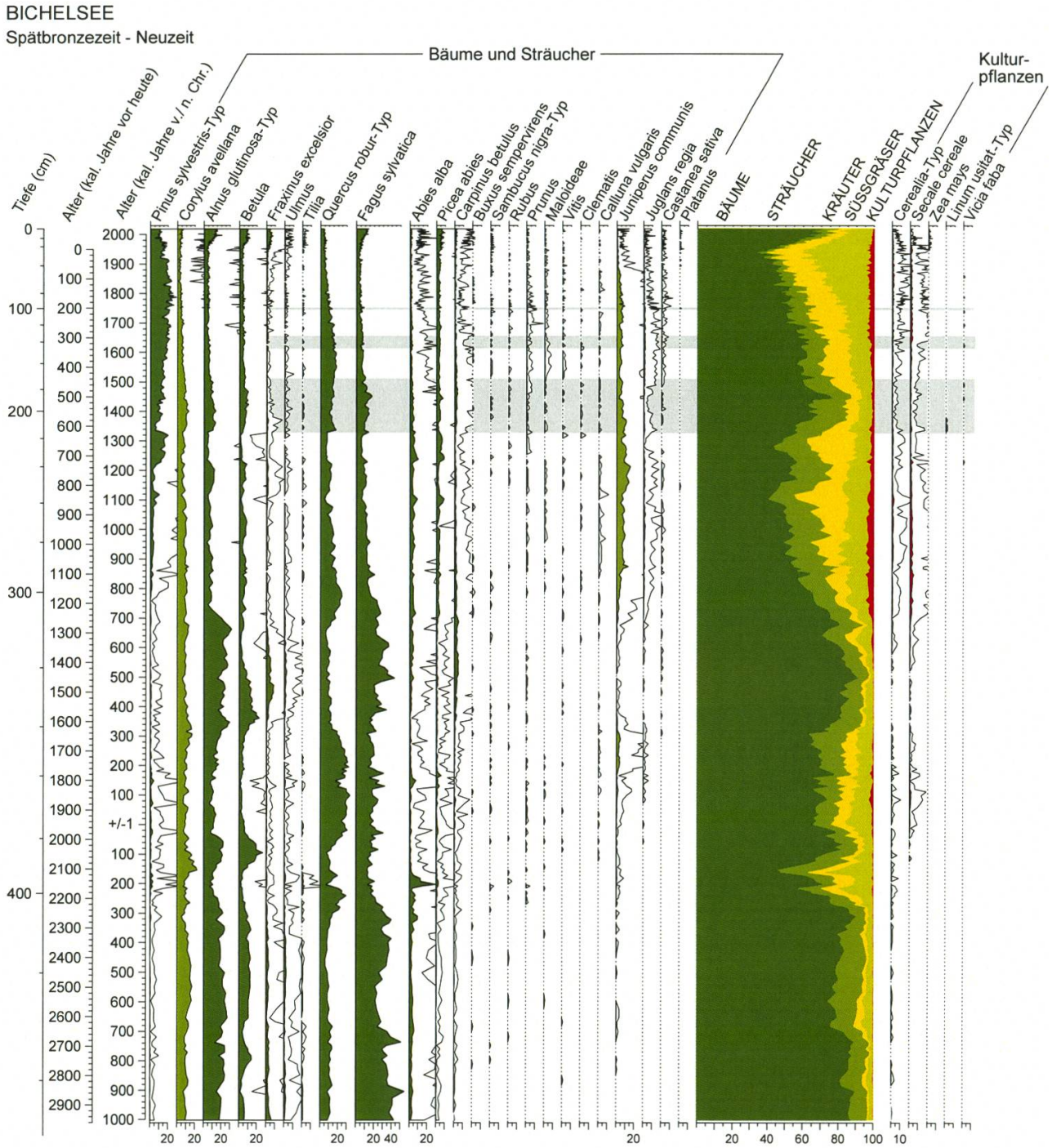
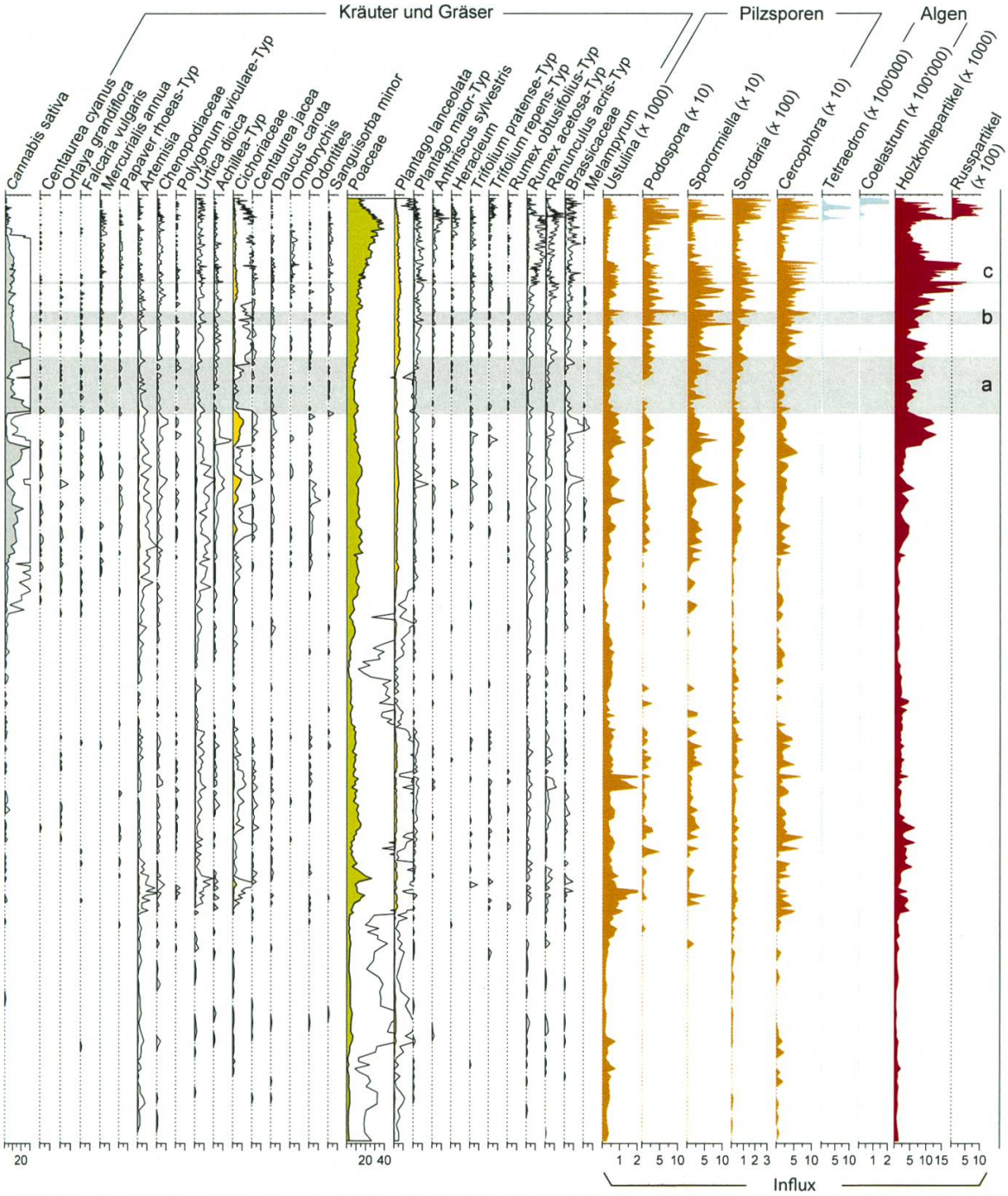


Abbildung 5-6: Bichelsee: Pollendiagramm Spätbronzezeit bis Neuzeit. Dargestellt sind die Prozente von ausgewählten Pollentypen und die Influxwerte einzelner Pilzsporen, Algen, Russpartikel (SCPs) sowie der mikroskopischen Holzkohle (Influxwerte in cm^{-2} Jahr^{-1}). Die weissen Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Prozentwerte. a-c markieren wichtige historische Ereignisse: a = spätmittelalterliche Agrarkrise im 14./15. Jahrhundert (Sigg 1981, Rösener 2012), *möglicherweise mitausgelöst durch Pestzüge (ab 1348 n. Chr.), Missernten infolge Klimaverschlechterung (Kleine Eiszeit) und in der Region des Kantons Thurgau durch Kriege (z. B. Appenzeller Kriege 1401–1429), b = Pest (1611) und Dreissigjähriger Krieg (1618–1648), c = zunehmende Bedeutung von Viehzucht ab Mitte des 18. Jahrhunderts.*


Kräuter und Gräser
Pilzsporen
Algen
Cannabis sativa
Centaurea cyanus
Ohaya grandiflora
Falcaria vulgaris
Mercurialis annua
Papaver rhoeas-Typ
Artemisia
Chenopodiaceae
Polygonum aviculare-Typ
Urtica dioica
Achillea-Typ
Cichoriaceae
Centaurea iacea
Daucus carota
Onobrychis
Odontites
Sanguisorba minor
Poaceae
Plantago lanceolata
Plantago maior-Typ
Anthriscus sylvestris
Heracleum
Trifolium pratense-Typ
Trifolium repens-Typ
Rumex obtusifolius-Typ
Rumex acetosa-Typ
Ranunculus acris-Typ
Brassicaceae
Melampyrum
Ustulina (x 1000)
Podospora (x 10)
Sporormiella (x 10)
Sordaria (x 100)
Cercophora (x 10)
Tetraedron (x 100'000)
Coelastrum (x 100'000)
Holzkohlepartikel (x 1000)
Russpartikel (x 100)
c
b
a
20
20 40
1 2 5 10 5 10 1 2 3 5 10 5 10 1 2 5 10 15 5 10
Influx

Geringe Nichtbaumpollen-Werte und die Erholung der Eschen- und Ulmenbestände lassen darauf schliessen, dass der menschliche Einfluss auf die Vegetation auch in der Spätbronzezeit verhältnismässig gering war.

Zu Beginn der Eisenzeit (Hallstattzeit, ca. 800 v. Chr.) schien die Gegend um den Bichelsee vorübergehend wieder etwas stärker für Viehwirtschaft genutzt worden zu sein, was durch die Zunahme von Nichtbaumpollen, z. B. Poaceae oder *Plantago lanceolata* belegt wird *(Abbildung 5-6)*. Aber bereits im 6. Jahrhundert v. Chr. liess der Druck auf die Landschaft nach und die Buche breitete sich erneut aus. Ab der Jüngeren Eisenzeit (Latènezeit, ca. 450 v. Chr.) deuten die Pollendaten auf grössere Veränderungen der Vegetation und Landschaft hin. Der Rückgang der Buche um ca. 300 v. Chr. erlaubt den Schluss, dass die Buchenwälder in See- und Siedlungsnähe wieder gerodet wurden *(Abbildung 5-6)*. Höhere Eichenpollenwerte lassen vermuten, dass an ihrer Stelle Eichen-Mittelwälder für die Schweinemast (Hutewälder) und die Deckung des Brennholzbedarfs entstanden. Poaceae, *Plantago lanceolata* und anderen Grünlandpflanzen lassen auch auf Weidegebiete und möglicherweise erste Mähwiesen schliessen. Gleichzeitig deutet die Zunahme von Ackerunkräutern und Ruderalpflanzen wie Chenopodiaceae (Gänsefussgewächse), *Polygonum aviculare* (Vogelknöterich), *Rumex acetosella* (Kleiner Sauerampfer), *Artemisia* (Beifuss) und *Urtica dioica* (Brennnessel) auf eine Ausweitung von Ackerflächen hin. Sehr hohe Anteile von *Glomus, Ustulina deusta* und anderen Pilzsporen sind Hinweise auf eine erhöhte Bodenerosion als Folge dieser intensiven Landnutzung. Das im Vergleich zu anderen Regionen und zu den späteren römerzeitlichen Aktivitäten sehr hohe Ausmass der anthropogenen Eingriffe in die Landschaft liesse sich durch eine keltische Siedlung unweit des Bichelsees erklären. Allerdings sind bisher keine entsprechenden archäologischen Funde bekannt. Im 2. Jahrhundert v. Chr. erfolgte ein Rückgang der Eichenbestände, während aufgrund der Kräuterpollen (z. B. Poaceae, Cichoriaceae, *Urtica*) vermutet werden kann, dass die Grünlandwirtschaft noch einige Jahrzehnte weitergeführt wurde, bis auch diese Flächen teilweise verbuschten und die Wiederbewaldung mit Birken und Erlen einsetzte *(Abbildung 5-6)*. Eine neue, starke Rodungsphase gegen Ende des 1. Jahrhunderts v. Chr. erfolgte vermutlich im Zusammenhang mit der Besetzung durch die Römer, welche neben neuen Kulturpflanzen wie *Secale cereale* (Roggen), *Juglans regia* (Walnussbaum), *Vitis vinifera* (Weinrebe) und verschiedenen Obstbäumen auch neue Nutztierrassen einführten *(Flutsch et al. 2002)*. Die Edelkastanie *(Castanea sativa)* hingegen wurde nur auf der Alpensüdseite und stellenweise auch in den Föhngebieten nördlich der Alpen angebaut. Ihr Pollen verbreitet sich aber sehr gut mit dem Wind und das erklärt das zwar geringe, aber stetige Vorkommen von *Castanea* im Pollendiagramm. Die Zunahme von *Quercus* weist darauf hin, dass vermutlich erneut grossflächige Hutewälder für die Schweinemast mit Eicheln entstanden. Dies könnte auch das erhöhte Vorkommen von *Rumex obtusifolius* (Blacke) erklären, da diese Art sich auf überdüngten Standorten ausbreiten kann. Daneben scheinen auch Grünlandwirtschaft und Getreidebau an Bedeutung gewonnen zu haben. Regelmässige Pollenfunde von *Orlaya grandiflora* (Strahlendolde) sowie Zunahmen von *Secale* (Roggen) lassen vermuten, dass v. a. Roggen und anderes Wintergetreide angebaut wurden. Ein reiches Spektrum an Wiesenpflanzen, darunter Doldenblütler wie Wiesen-Kerbel *(Anthriscus sylvestris)*, verschiedene Klee-Arten *(Trifolium)* und Hahnenfuss *(Ranunculus)*, weisen

auf Mähwiesen hin. Wie gross das Ausmass der Landschaftsöffnungen in der Römerzeit war, lässt sich nicht genau sagen, aber es fällt doch auf, dass sich die Pollenwerte der Buche zwischen den eisenzeitlichen Waldrodungen und dem 4. Jahrhundert n. Chr. kaum verändern. Das könnte bedeuten, dass in der Römerzeit keine zusätzlichen Buchenbestände zerstört wurden, sondern dass sich die landwirtschaftlichen Aktivitäten auf die Gebiete im Umland des Sees konzentrierten, die bereits von den Kelten genutzt wurden. Das schliesst nicht aus, dass die Buchenwälder im Hinterland als Weidegebiete für Schafe und Ziegen dienten *(Wick 2015)*. Dafür sprechen die sehr niedrigen Anteile von Linde, Ulme, Esche und besonders auch der Weisstanne im Pollendiagramm. Die Tanne war im mittleren Holozän im Alpenvorland (ausser im Bodenseeraum) weit verbreitet, aber Holznutzung, die Verwendung der Zweige als Winterfutter für Wiederkäuer und Tierverbiss durch weidende Tiere führten dazu, dass sie stellenweise schon im Neolithikum, spätestens aber in der Bronzezeit oder Eisenzeit, von der Buche verdrängt wurde *(Lang et al. 2023)*. Aufgrund der nur noch spärlichen Makrorest-Funde *(Abbildung 5-4)* kann davon ausgegangen werden, dass sie in der Römerzeit aus dem Einzugsgebiet des Bichelsees weitgehend verschwunden war.

Die hohen Werte von *Ustulina* in den Pollenproben *(Abbildung 5-6)* lassen vermuten, dass intensive Landnutzung bereits in der Römerzeit erhöhte Bodenerosion zur Folge gehabt hat. Nach einem solchen Erosionsereignis in der Mitte des 2. Jahrhunderts n. Chr. zeigt das Pollendiagramm einen deutlichen Rückgang des Getreidebaus und auch die Bewirtschaftung der Eichen-Weidewälder liess kurzfristig nach, obwohl *Quercus* sich wieder erholte und erst ab dem 3. Jahrhundert n. Chr. kontinuierlich abnahm *(Abbildung 5-6)*. Dass die Landschaft weiterhin und wohl hauptsächlich mit Ziegen und Schafen beweidet wurde, lässt sich aus der zunehmenden Ausbreitung des Wacholders *(Juniperus communis)* schliessen, der wegen seiner harten und spitzen Nadeln von den Wiederkäuern verschmäht wird.

Germaneneinfälle, Seuchen und ein Temperaturrückgang im 3. und 4. Jahrhundert n. Chr. *(Muigg & Tegel 2022)* führten ab der ersten Hälfte des 4. Jahrhunderts zu einer Krise in der Landwirtschaft, die im Pollendiagramm deutlich erkennbar ist: Hinweise auf Getreideanbau verschwinden fast völlig und die Weidezeiger gehen stark zurück. Die Zunahme von Birkenpollen weist darauf hin, dass sich auf den Brachen und offenen Flächen Birken-Bestände ansiedelten, die innerhalb weniger Jahrzehnte von Buchenmischwäldern abgelöst wurden. Aufgrund der Abnahme der meisten Zeiger für menschlichen Einfluss kann vermuten werden, dass in den folgenden rund 200 Jahren die Region um den Bichelsee wohl weitgehend verlassen oder nur dünn besiedelt und mit Buchenmischwäldern bestockt war.

Frühmittelalter bis Neuzeit: Umgestaltung und weitere Öffnung der Kulturlandschaft
Erst gegen Ende des 6. Jahrhunderts n. Chr. sind im Pollendiagramm wieder Waldauflichtungen zu erkennen, die erste Hinweise auf Landnutzung geben *(Abbildung 5-6)*. Ab ca. 700 n. Chr. erfolgten gemäss den Pollendaten ausgedehnte Öffnungen der Landschaft. Wie viele andere Gebiete des heutigen Thurgaus gelangte auch die Bichelsee-Region als Schenkung durch alamannische Adlige in den Besitz des Klosters St. Gallen, welches seinerseits in der Mitte des 8. Jahrhunderts unter

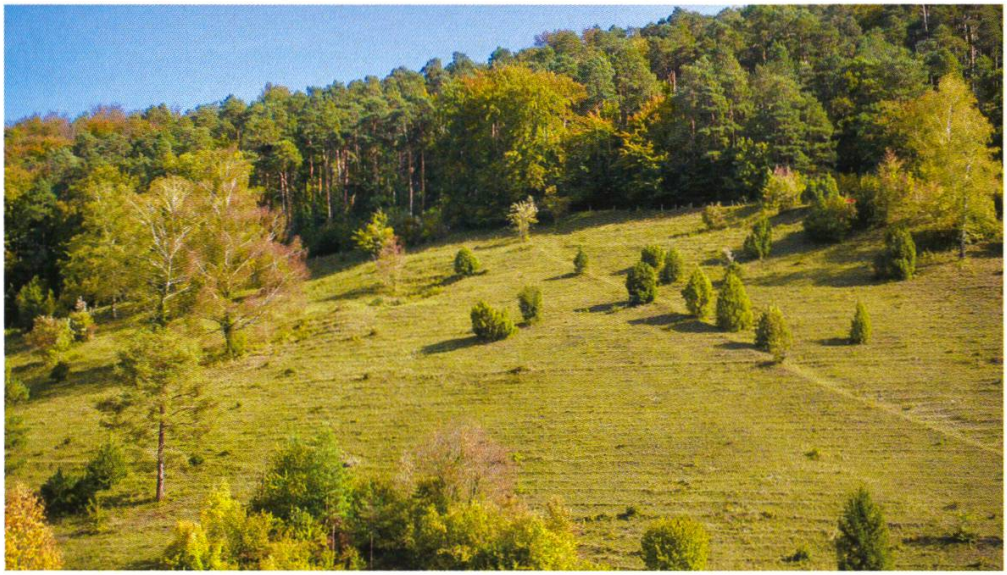


Abbildung 5-7: Traditionelle Weidenutzung im Laufental: Wacholderheide bei Dittingen, Kanton Basel-Landschaft (Foto: Geoökologie Universität Basel, Lucia Wick).

fränkische Herrschaft kam *(Salathé et al. 2017)*. Im 8. Jahrhundert zeigt das Pollenprofil, dass die Eiche wieder stark gefördert wurde. Die steigenden Werte von Wacholder *(Juniperus communis)* und Süssgräsern weisen auf die zunehmende Bedeutung der Weidewirtschaft hin. Aber die Pollenanalysen lassen auch den Schluss zu, dass die Ackerflächen für den Getreidebau wieder vergrössert wurden und die Hanfproduktion *(Cannabis sativa)* allmählich einsetzte. Die neben anderen Ackerunkräutern nun regelmässig auftretenden Pollenfunde der Strahlendolde *(Orlaya grandiflora)* und der Kornblume *(Centaurea cyanus)* lassen darauf schliessen, dass Wintergetreide (Roggen, Dinkel) dabei eine wichtige Rolle spielte. Der Anbau weiterer Kulturpflanzen wie Saat-Lein, Buchweizen und Leguminosen lässt sich nur schwer nachweisen, da diese kaum Pollen verbreiten. Wichtig in dieser klimatisch günstigen Zeit war sehr wahrscheinlich der Obst- und Weinbau. Pollen von Walnussbäumen *(Juglans regia)*, Kernobst (Maloideae: Äpfel und Birnen) und Zwetschgen/Kirschen *(Prunus)* werden häufiger, ein Hinweis auf die Entstehung von Obstgärten, die seit dem Mittelalter *(Akeret et al. 2018)* bis ins 20. Jahrhundert die bäuerliche Landschaft prägten. Der stetige Rückgang der Buche und das mehr oder weniger endgültige Verschwinden der Weisstanne lassen vermuten, dass es im Mittelalter kaum noch Naturwald gab. Hohe Werte von Wacholder weisen darauf hin, dass wohl v.a. an steilen Hängen und auf mageren Böden ausgedehnte Wacholderheiden, also offene Weideflächen mit zerstreut wachsenden Wacholderbüschen, existierten *(Abbildung 5-7)*. Die erhöhte Anzahl verschiedener Pollentypen könnte die vielfältige und kleinräumige Nutzung der Agrarlandschaft widerspiegeln. Ab Mitte des 10. Jahrhunderts kann aufgrund der Pollen und geochemischer Daten eine drastische Erhöhung der Bodenerosion vermutet werden. Sie ist in den Seesedimenten nicht nur an der erneuten Zunahme von *Ustulina* und *Glomus* erkennbar, sondern auch an den starken Ausschlägen der Titan-Kurve in den XRF-Analysen *(Heiri et al. in diesem Band, Kapitel 4)*. Die Ausbreitung der Besenheide *(Calluna vulgaris)* und besonders auch der Waldföhre *(Pinus sylvestris)* deutet auf eine zunehmende Verarmung der Böden durch Übernutzung hin.

Um die Mitte des 14. Jahrhunderts zeichnet sich im Pollendiagramm des Bichelsees ein Rückgang der Landwirtschaft ab: Die Pollenwerte von Getreide, Hanf, Obstbäumen und Weinrebe gehen zurück und auch Grünland- und Weidezeiger wie Poaceae, *Plantago, Juniperus* und koprophile Pilze werden seltener, während *Alnus, Betula, Corylus* und *Fagus* die beginnende Wiederbewaldung von offenen Flächen anzeigen. Eine Agrarkrise wurde auch für andere Teile der Schweiz und Europas für das 14. und 15. Jahrhundert beschrieben *(Sigg 1981, Rösener 2012)*. Die grosse Pestepidemie in Europa (Schwarzer Tod), die im Jahr 1348 auch das Schweizer Mittelland erreichte, zusammen mit einer Klimaverschlechterung am Übergang vom mittelalterlichen Klimaoptimum zur Kleinen Eiszeit *(Pfister & Wanner 2021)*, könnten zu diesem Wechsel beigetragen haben. In die folgenden Jahrzehnte fallen auch kriegerische Auseinandersetzungen wie die Appenzeller Kriege (1401–1429), in deren Verlauf die Burg Alt-Bichelsee zerstört wurde, und die Eroberung der bis dahin habsburgischen Landgrafschaft Thurgau durch die Alte Eidgenossenschaft im Jahr 1460 *(Salathé et al. 2017)*, deren Auswirkungen auf Vegetation und Landnutzung am Bichelsee allerdings nicht erkennbar sind. Ein Rückgang der Baumpollenwerte und höhere Holzkohlekonzentrationen deuten darauf hin, dass in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts die verlassenen landwirtschaftlichen Gebiete am Bichelsee unter Einsatz von Feuer wieder gerodet und intensiv genutzt wurden. Pollen von *Juglans, Vitis,* Maloideae und *Prunus* lassen eine zunehmende Bedeutung des Obst- und Weinanbaus vermuten *(Abbildung 5-6)*.

Ein Rückgang von *Cannabis* und Weidezeigern im späten 16. und frühen 17. Jahrhundert deutet erneut auf einen Einbruch in der Landnutzung hin. Möglicher Mitauslöser dafür war die Pest, welche den Thurgau im Jahre 1611 heftig traf *(Salathé et al. 2017)*. Die zunehmenden Pollenfunde von *Onobrychis* (Esparsette) und *Trifolium* (Klee) und die gleichzeitig ansteigenden Werte von Pollentypen, welche nährstoffliebende Wiesenpflanzen umfassen, wie z. B. Scharfer Hahnenfuss *(Ranunculus acris)*, Sauerampfer *(Rumex acetosa)* und Blacke *(Rumex obtusifolius)*, weisen auf eine Verbesserung der Nährstoffverhältnisse in den Böden hin. Das bestätigt möglicherweise die ersten im Thurgau dokumentierten Versuche zur Ertragssteigerung durch Aussaat von Klee und anderen Leguminosen auf Fruchtfolgeflächen *(Salathé et al. 2017)*. Die im Laufe des 18. Jahrhunderts stetig ansteigenden Pollenanteile der Poaceae zeigen eine Ausweitung der Grünlandgebiete und damit die zunehmende Bedeutung der Viehwirtschaft. Daneben gibt es aber im Pollendiagramm mit den verhältnismässig hohen Werten von Maloideae, *Prunus* und *Juglans* auch Anzeichen dafür, dass der Obstbau eine grosse Rolle spielte. Das stimmt mit Forschungsergebnissen aus dem Oberthurgau überein, wonach die Obstbaumdichte ab dem Ende des 17. und im 18. Jahrhundert anstieg *(Frömelt 1981)*. Die sehr hohen Mikro-Holzkohlewerte und der stetige Rückgang des Gehölzpollenanteils *(Abbildung 5-6)* widerspiegeln vermutlich den hohen Brennholz- und Holzkohlebedarf der Bevölkerung sowie von energieintensiven Gewerbebetrieben wie Schmieden oder Glashütten (z. B. in Elgg ZH). Damit unterscheidet sich der Hinterthurgau kaum von anderen Landschaften, in denen mangels Waldpflege und griffiger Nutzungsrechte spätestens ab dem 16./17. Jahrhundert grosser Holzmangel herrschte *(Tiefenbacher 2020)*. Erst im Laufe des 18. Jahrhunderts wurden von den Obrigkeiten erste Bestimmungen und Köhlereiverbote zum Schutz und zur Wiederherstellung von wert-

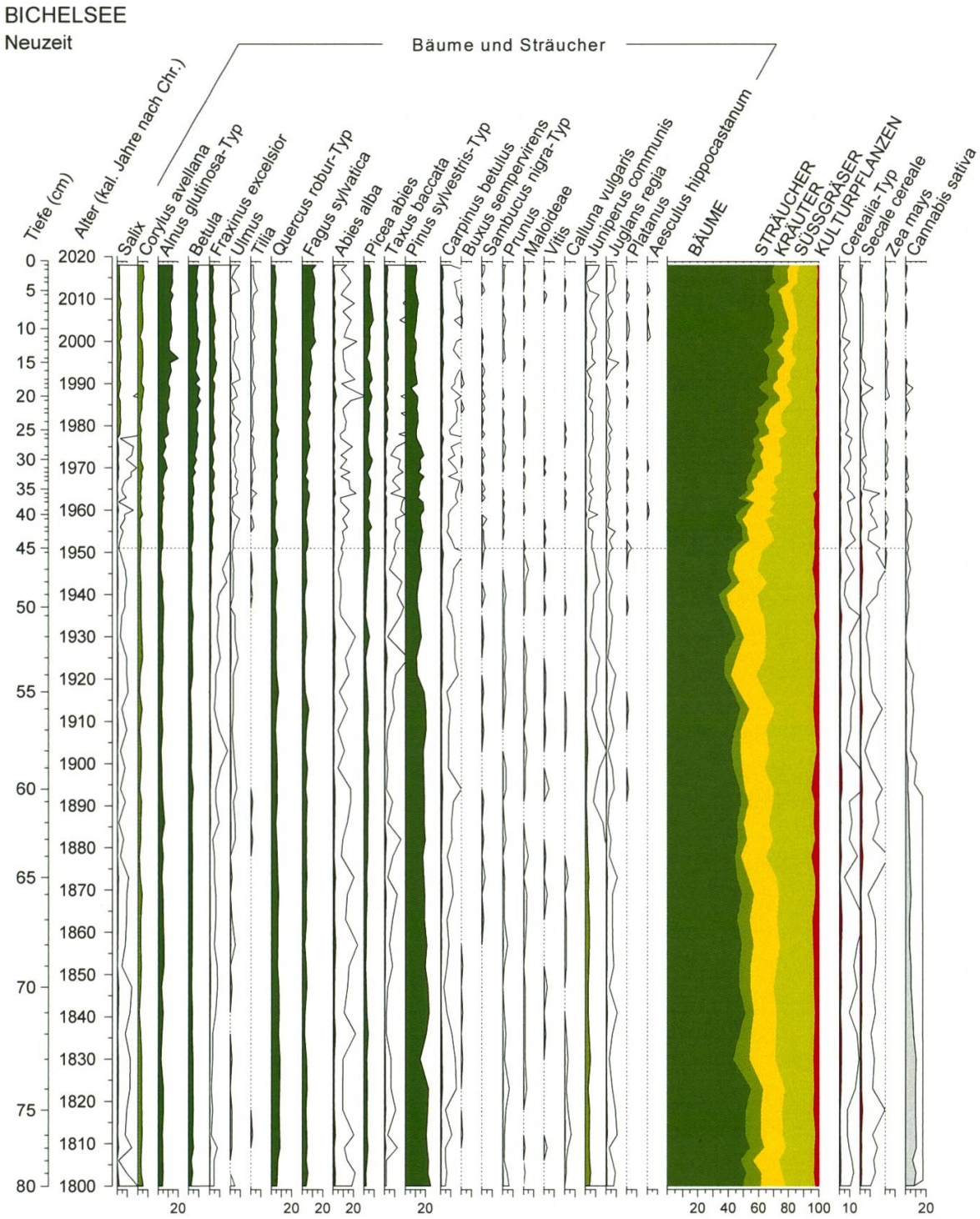
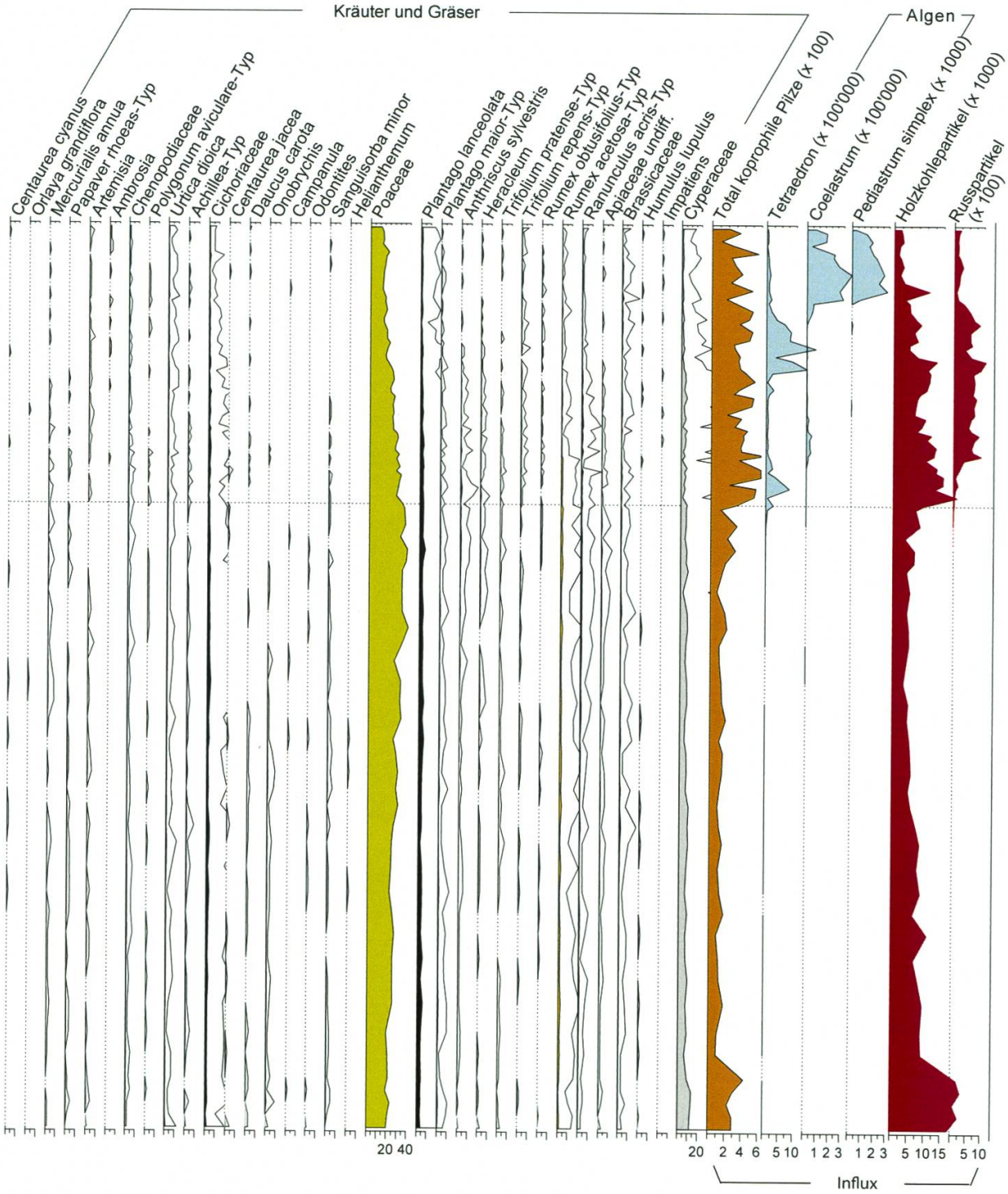


Abbildung 5-8: Bichelsee: Pollendiagramm 1800 n. Chr. bis Gegenwart. Dargestellt sind die Prozente von ausgewählten Pollentypen und die Influxwerte einzelner Pilzsporen, Algen, der Russpartikel (SCPs) und der mikroskopischen Holzkohle (Influxwerte in cm^{-2} $Jahr^{-1}$). Die weissen Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Prozentwerte.


Kräuter und Gräser
Algen
Centaurea cyanus
Orlaya grandiflora
Mercurialis annua
Papaver rhoeas-Typ
Artemisia
Ambrosia
Chenopodiaceae
Polygonum aviculare-Typ
Urtica dioica
Achillea-Typ
Cichoriaceae
Centaurea jacea
Daucus carota
Onobrychis
Campanula
Odontites
Sanguisorba minor
Helianthemum
Poaceae
Plantago lanceolata
Plantago maior-Typ
Anthriscus sylvestris
Heracleum
Trifolium pratense-Typ
Trifolium repens-Typ
Rumex obtusifolius-Typ
Rumex acetosa-Typ
Ranunculus acris-Typ
Apiaceae undiff.
Brassicaceae
Humulus lupulus
Impatiens
Cyperaceae
Total koprophile Pilze (x 100)
Tetraedron (x 100'000)
Coelastrum (x 100'000)
Pediastrum simplex (x 1000)
Holzkohlepartikel (x 1000)
Russpartikel (x 100)
20 40
20 2 4 6 5 10 1 2 3 1 2 3 5 10 15 5 10
Influx

vollen Waldstandorten erlassen, so z. B. auch um 1777 durch den Landvogt von Weinfelden *(Tiefenbacher 2020)*.

Die letzten 200 Jahre: Industrialisierung und Entstehung der modernen Agrarlandschaft

Gegen Ende des 18. und im 19. Jahrhunderts kam es zu grösseren gesellschaftlichen Veränderungen und wohl auch Umstrukturierungen in der Agrarwirtschaft im Kanton Thurgau im Zusammenhang mit der Aufgabe des Feudalwesens und der Dreizelgenwirschaft, dem Einfluss der französischen Revolution und der Gründung des Kantons Thurgau. Zudem herrschte 1816–1817 eine schwere Hungersnot, die sich im Thurgau besonders heftig auswirkte *(Bröhnimann & Krämer 2016, Salathé et al. 2017)*. Die Ereignisse um diese letzte grosse Hungerkrise sind im Pollendiagramm vom Bichelsee nicht zu erkennen, wohl aber die Konsequenzen, die für die Landwirtschaft daraus gezogen wurden. So wurde z. B. die Umstellung von Getreidebau auf Milchwirtschaft und Futterbau gefördert und mit dem Flurgesetz von 1854 die Basis für die Modernisierung der Land- und Forstwirtschaft gelegt *(Salathé et al. 2017)*. Die bereits davor in den Pollenspektren angedeutete Fruchtwechselwirtschaft mit Klee- und Esparsette-Anbau setzte sich nun endgültig durch *(Frömelt 1981)*. Als weitere Vertreter dieser Kunstwiesen mit guter Nährstoffversorgung nehmen im Pollendiagramm neben Hahnenfuss *(Ranunculus)* und Sauerampfer *(Rumex)* auch Bärenklau *(Heracleum)*, Wiesenkerbel *(Anthriscus sylvestris)* und andere Doldenblütler (Apiaceae undiff.) zu *(Abbildung 5-8)*, während Vertreter der Halbtrockenrasen wie *Centaurea jacea* (Wiesen-Flockenblume), Kleiner Wiesenknopf *(Sanguisorba minor)* und Wilde Möhre *(Daucus carota)* seltener werden. Der Rückgang von *Juniperus communis* (Wacholder) und *Calluna vulgaris* (Besenheide) im Pollendiagramm zeigt das damit einhergehende Verschwinden der Wacholderheiden, welche ohne die traditionelle Beweidung oder andere Schutzmassnahmen verbuschen und in Wald übergehen.

Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts war der Strukturwandel im Kanton weitgehend vollzogen, d. h. der Anteil der Grünlandflächen im Kanton war auf rund 66 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche gestiegen, während das Ackerland auf weniger als 30 % schrumpfte *(Frömelt 1981, Salathé et al. 2017)*. Mit dem Ausbau der Graswirtschaft erfolgte auch eine Ausweitung des Feldobstbaus, wo die bis dahin dominierende Birne in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts vom Apfel abgelöst wurde *(Frömelt 1981)*. Sowohl Kernobst (Maloideae; pollenmorphologisch nicht weiter differenzierbar) als auch Steinobst *(Prunus;* umfasst Kirschen und Zwetschgen) ist entomophil, d. h. bei der Bestäubung auf Insekten angewiesen, und deshalb in den Pollenspektren stark untervertreten, weshalb quantitative Angaben zum Baumbestand nicht möglich sind. Die regelmässigen Pollenfunde im Bichelsee sprechen jedoch dafür, dass auch hier der Feldobstbau ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor war. Neben der Grünlandwirtschaft und dem Obstbau wurde in der Region um den Bichelsee weiterhin etwas Getreidebau betrieben, was im Pollendiagramm klar erkennbar ist (Cerealia, *Secale*), während *Cannabis*, der nie eine grosse Rolle gespielt hatte, gegen Ende des 19. Jahrhunderts endgültig verschwand.

Aufgrund der Pollendaten kann davon ausgegangen werden, dass die Waldfläche in der Umgebung des Bichelsees während der beiden Weltkriege ihre geringste Aus-

dehnung hatte *(Abbildung 5-3)*. Als Grund dafür ist der Mangel an Brennholz wegen fehlender Kohlelieferungen zu vermuten *(Pfaffhauser 2009)*. Dazu kam im Rahmen der Anbauschlacht Wahlen eine Vergrösserung der Kulturlandflächen für den Anbau von Getreide und Kartoffeln (der Kartoffelanbau ist pollenanalytisch nicht nachweisbar). Nach dem Zweiten Weltkrieg erfolgte eine rasche Umgestaltung der Kulturlandschaft, was u. a. zu einem starken Rückgang von Hochstamm-Obstbäumen führte *(Frömelt 1981, Ruault 2021)*. Dies erklärt wohl den Rückgang von Maloideae-Pollen im Bichelsee. Die seltener werdenden Funde von *Vitis*-Pollen lassen annehmen, dass in den 1970er-Jahren auch die Rebberge aus der Gegend verschwanden. Mit der Mechanisierung in der Landwirtschaft und dem Aufkommen von Kunstdüngern und Pestiziden gab es auch Veränderungen im Ackerbau. Der Anbau von Mais *(Zea mays)* ist im St. Galler Rheintal seit 1571 belegt *(Schilperoord 2014)*, der Körnermais hatte aber als tropisch-subtropische Pflanze nur in klimatisch günstigen Regionen wie im Tessin und im Wallis eine gewisse Bedeutung. Erst um 1930 setzte in der Schweiz die Züchtung von neuen Sorten ein und in den 1960er-Jahren begann der grossflächige Anbau von Futter- und Silomais *(Schilperoord 2014)*. Am Bichelsee, wo regelmässige Pollenfunde auf Maisanbau seit den 1950er-Jahren hinweisen, ging in der Folge die Produktion von Roggen und anderem Getreide zurück *(Abbildung 5-8)*. Die Auswirkungen der Intensivierung der Landwirtschaft sind im Pollendiagramm deutlich zu erkennen: Die Artenvielfalt auf Äckern und Wiesen ging zurück, d. h. die Pollenfunde vieler Pflanzen werden seltener oder verschwinden ganz, wie z. B. *Centaurea cyanus* (Kornblume), *Papaver rhoeas* (Klatschmohn), *Odontites* (Zahnwurz), *Rhinanthus* (Klappertopf), *Onobrychis* (Esparsette) und *Helianthemum* (Sonnenröschen). Dafür breiten sich eingeschleppte Neophyten wie *Ambrosia* aus, deren stark allergen wirkender Pollen in der Schweiz um 1970 erstmals nachgewiesen wurde *(Leuschner 1978)*. Im Bichelsee selbst führten die Landnutzungsänderungen seit dem Zweiten Weltkrieg zu einer Anreicherung von Nährstoffen, wie Veränderungen der Kieselalgen in den Seesedimenten deutlich zeigen *(Grudzinska & Heiri in diesem Band)*. Im Pollenprofil dokumentieren Zunahmen der Grünalgen *Tetraedron, Coelastrum* und seit etwa zwanzig Jahren auch *Pediastrum simplex* Veränderungen der Wasserqualität und der Nährstoffkonzentrationen im See. Der Eintrag von Russpartikeln seit den 1960er-Jahren ist wohl hauptsächlich auf die verstärkte Motorisierung und die Einführung von Ölheizungen zurückzuführen. Im Seesediment ist nach einem Maximum um die Jahrhundertwende eine kontinuierliche Abnahme zu beobachten. Der Anstieg des Baumpollenanteils – besonders der Buche – zeigt, dass sich die Situation im Wald seit dem Zweiten Weltkrieg laufend verbessert hat *(Abbildung 5-8)*. Anpassungen der Forstgesetze, Subventionen für die Zusammenlegung von Waldparzellen, Ausbildung von Förstern, die Erstellung von Waldnutzungsplänen und weitere Massnahmen trugen zur Entstehung der heutigen bewirtschafteten Buchenmischwälder bei *(Pfaffhauser 2009)*.

5.3.2 Hüttwilersee

Die frühe Vegetationsgeschichte von der Tundrasteppe bis zum Buchenmischwald: Die Zeit der mesolithischen Jäger und Sammler

Die ältesten Pollenproben aus dem Hüttwilersee wurden ca. 14'800 v. Chr. abgelagert *(Abbildung 5-9)* und fallen somit in die Kaltphase der Ältesten Dryaszeit. Hohe

HÜTTWILERSEE

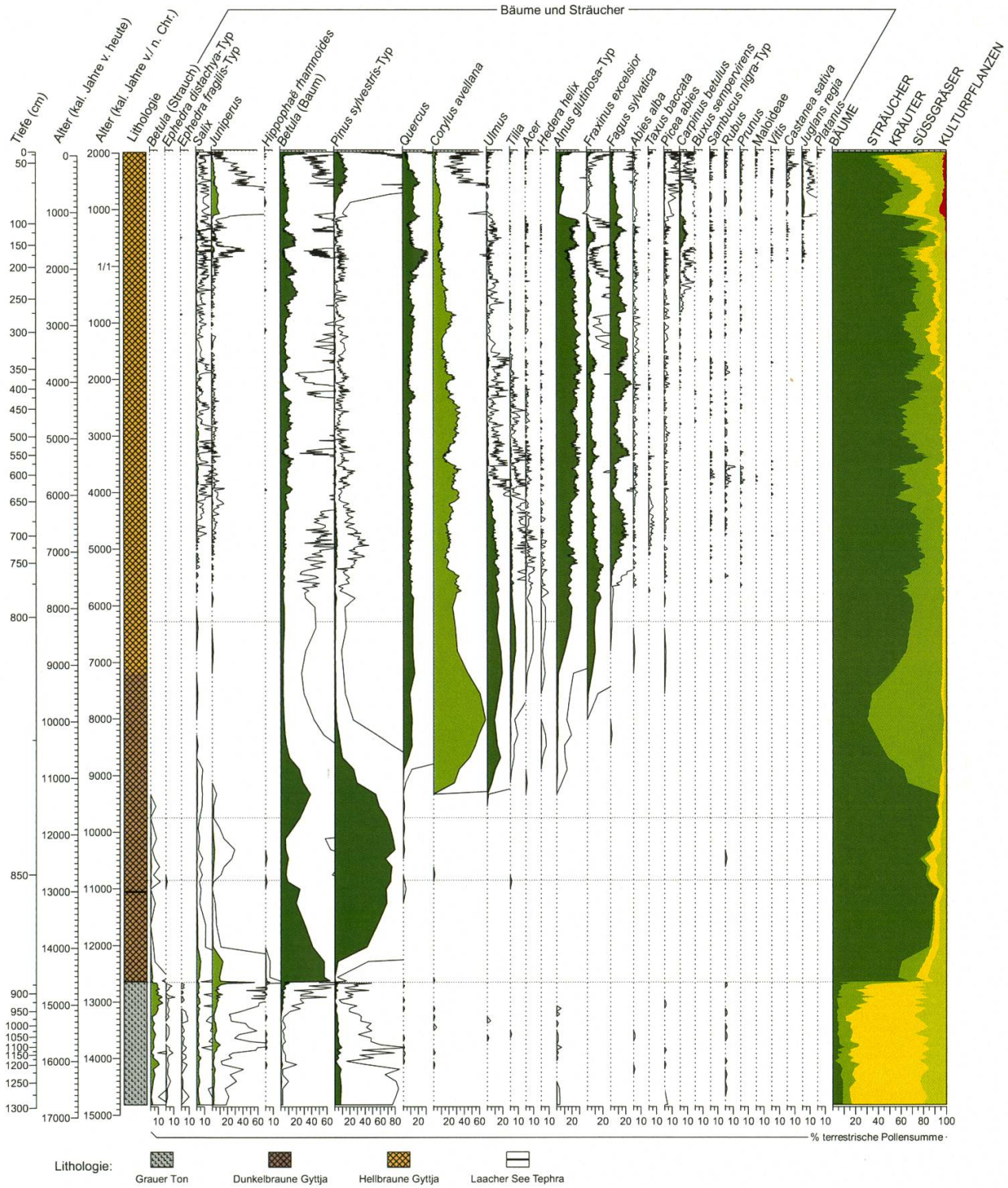


Abbildung 5-9: Hüttwilersee: Übersichts-Pollendiagramm. Dargestellt sind die Lithologie, die Prozente von ausgewählten Pollentypen und die Influxwerte einzelner Pilzsporen, Algen, der Russpartikel (SCPs), sowie der mikroskopischen Holzkohle (Influxwerte in cm^{-2} Jahr^{-1}). Die weissen Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Prozentwerte. Die Ziffern 1–4 am rechten Rand markieren wichtige Klimawechsel (Rey et al. 2020): *1 = Beginn der Bølling Warmzeit, 2 = Beginn der Jüngeren Dryas Kaltphase, 3 = Beginn des Holozäns, 4 = 8.2 ka Event/Misox Schwankung.*

Kräuter
Pilzsporen
Algen
Poaceae
Artemisia
Chenopodiaceae
Cichorioideae
Cyperaceae
Gypsophila repens-Typ
Helianthemum
Plantago alpina
Rubiaceae
Saxifraga aizoides-Typ
Thalictrum
Achillea-Typ
Allium-Typ
Brassicaceae
Centaurea jacea-Typ
Daucus carota
Hypericum
Papaver rhoeas-Typ
Plantago major
Ranunculus acris-Typ
Rumex acetosa-Typ
Urtica
Onobrychis
Onlaya grandiflora
Sanguisorba minor
Heracleum
Rumex obtusifolius-Typ
Trifolium pratense-Typ
Trifolium repens-Typ
Mercurialis annua-Typ
Ambrosia
Plantago lanceolata
Cerealia-Typ
Secale
Linum usitatissimum-Typ
Vicia faba
Zea mays
Cannabis sativa
Cercophora (x 100)
Sordaria (x 100)
Sporormiella (x 100)
Ustulina deusta (x 1000)
Coelastrum (x 100'000)
Tetraedron (x 1'000'000)
Anabaena (x 10'000)
Holzkohlepartikel (x 10'000)
Russpartikel (x 1000)
4
3
2
1
20 40 10 10 10 20 40 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 20
3 6 4 8 4 8 8 16 1 2 0 1 4 8 10 20 1 2 3
Influx

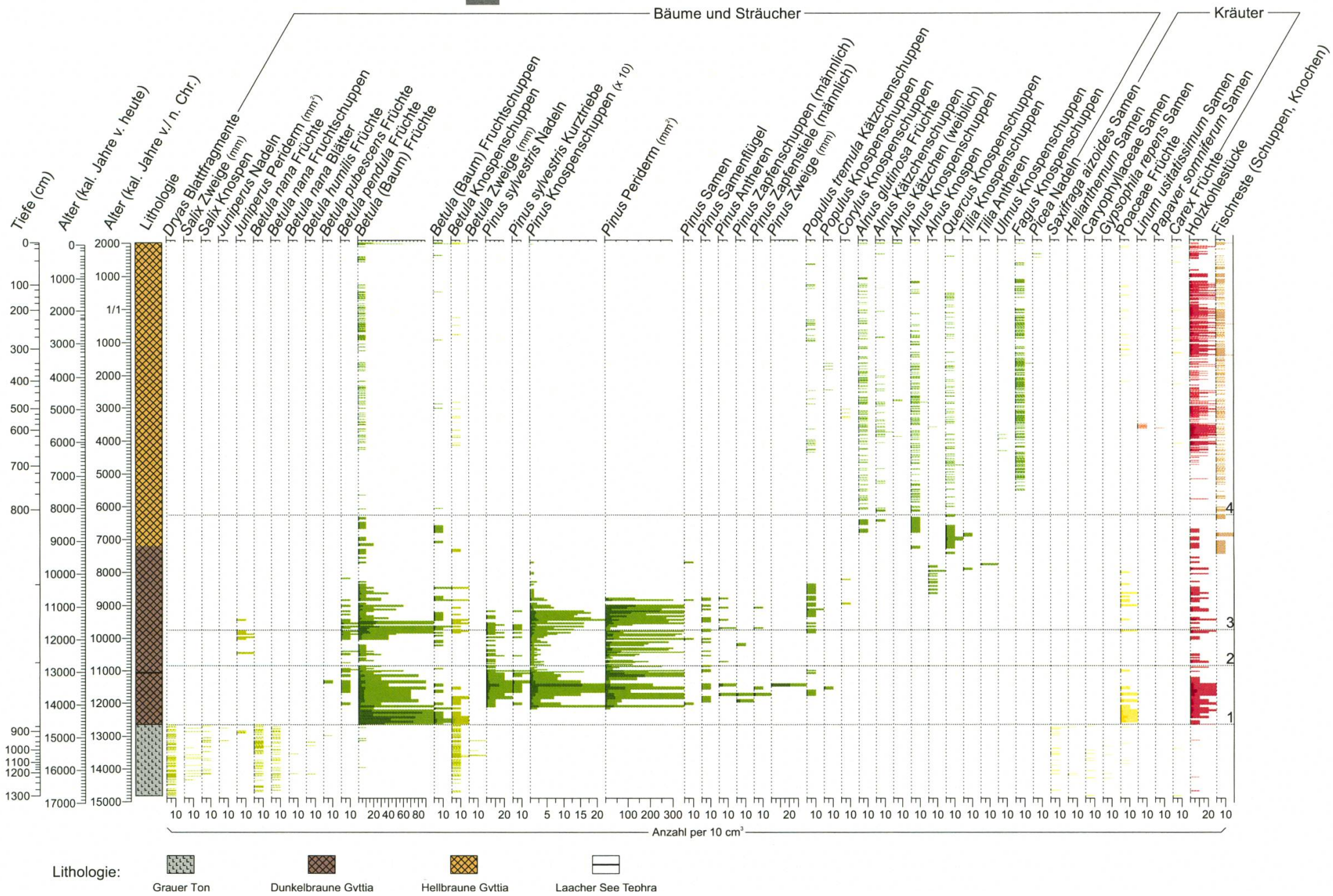
Pollenprozente von Kräutern (>80%) zwischen 14'800 und 12'700 v. Chr., v. a. von Poaceae (Gräser), *Artemisia* (Beifuss), *Helianthemum* (Sonnenröschen), *Thalictrum* (Wiesenraute), Chenopodiaceae (Gänsefussgewächse), *Saxifraga aizoides*-Typ (Fetthennen-Steinbrech) sowie *Gypsophila repens*-Typ (Kriechendes Gipskraut), weisen wie auch für andere Lokalitäten im nördlichen Alpenvorland *(Rey et al. 2017, 2020, Lang et al. 2023)* für die Zeit des Spätglazials auf eine offene Tundrasteppe im Umland des Hüttwilersees hin. Gleichzeitige Funde von Pflanzenmakroresten einiger dieser Pflanzengruppen (Poaceae Früchte, *Saxifraga aizoides* Samen, *Helianthemum* Samen und *Gypsophila repens* Samen) sind Zeiger für das lokale Vorkommen einer artenreichen Tundravegetation *(Abbildung 5-10)*. (Zwerg-)Sträucher wie *Salix* (Weide), *Juniperus* (Wacholder), *Betula nana* (Zwergbirke), *Betula humilis* (Strauch-Birke) und *Dryas octopetala* (Weisse Silberwurz) sind ebenfalls lokal belegt. Zudem lässt es sich nicht ganz ausschliessen, dass an mikroklimatisch günstigen Standorten (wind- und temperaturgeschützt) bereits einige Bäume wachsen konnten, da die Baumbirke mit einzelnen Pflanzenmakroresten (Früchte) in den Sedimentproben vorhanden ist *(Abbildung 5-10)*. Die Holzkohlewerte sind durchgehend tief *(Abbildungen 5-9 bis 5-10)*, was auf geringe bis keine Feueraktivität schliessen lässt. Sporen koprophiler Pilze (*z. B. Sporormiella, Sordaria*) sind durchgehend belegt *(Abbildung 5-9)* und könnten auf das lokale Vorkommen von Herden pleistozäner Grossherbivoren (z. B. Mammuts, Wollnashörner, Rentiere) und anderer Wildtiere hinweisen *(Gill et al. 2012, Rey et al. 2017, 2020)*.

Die Wiederbewaldung erfolgte kurz nach 12'700 v. Chr. bzw. zu Beginn des Bøllings nach einem markanten Temperaturanstieg *(von Grafenstein et al. 1999, Heiri et al. 2015)* und zeigt sich mit einer massiven Ausbreitung von *Juniperus* (Pollenprozente ≥50%, *Abbildung 5-9)*, die auch für andere Lokalitäten des Schweizer Mittellandes dokumentiert ist *(Rey et al. 2017, 2020, Lang et al. 2023)*. Obwohl dieser Übergang im Pollendiagramm sehr abrupt aussieht *(Abbildung 5-9)*, ist die gesamte Abfolge der zu erwartenden Vegetationsveränderungen (Abnahme der Steppen- und Tundrapflanzen, Zunahme von *Juniperus*, Zunahme von *Betula*) klar ersichtlich, wenn die Daten gegen Sedimenttiefe dargestellt werden. Der abrupte Übergang ist daher mit der vorhandenen Datierungsunschärfe in diesem Teil des Profils zu erklären und deutet offensichtlich nicht auf fehlende Sedimente oder Ablagerungslücken hin. Ab 12'650 v. Chr. ist die Baumbirke mit hohen Pollenprozenten belegt und rund 500 Jahre später auch *Pinus sylvestris* (Waldföhre). Typische Zeiger der Tundrasteppe (z. B. *Artemisia*, *Helianthemum*, Chenopodiaceae) verschwanden praktisch gänzlich und erholten sich erst zwischen 10'900 und 10'000 v. Chr. während der Jüngeren Dryaszeit ein wenig, obwohl das Öffnen der Vegetation nicht ähnlich ausgeprägt ist wie am Bichelsee. Der boreale Wald konnte sich jedoch auch in jener Kaltphase halten, was mit Pflanzenmakroresten der Waldföhre und der Birke belegt ist *(Abbildung 5-10)*. Erst nach ca. 9200 v. Chr. in der Frühphase des Holozäns und wiederum nach einem rapiden Temperaturanstieg *(von Grafenstein et al. 1999, Heiri et al. 2015)* wurde der boreale Wald mit hauptsächlich Baumbirke und Waldföhre, wie auch am Bichelsee, von einem Eichenmischwald mit *Quercus* (Eiche), *Tilia* (Linde), *Ulmus* (Ulme), *Corylus avellana* (Hasel) und später auch mit *Alnus glutinosa* (Schwarzerle) und *Fraxinus excelsior* (Esche) abgelöst *(Abbildung 5-9)*. Funde von Pflanzenmakroresten wie etwa Knospenschuppen der Hasel, Eiche, Linde und Erle *(Abbildung 5-10)* sind eindeutige

Beweise für das Aufkommen von relativ artenreichen Eichenmischwäldern. Diese Waldzusammensetzung mit wärmeliebenden Arten sollte für die nächsten knapp 3000 Jahre dominant bleiben. Erst vor ca. 8200 Jahren wurde das Klima etwas feuchter *(Tinner & Lotter 2001)* und *Fagus sylvatica* (Rotbuche) tritt erstmals auf *(Abbildung 5-9)*. Seit 5500 v. Chr. bildet die Rotbuche einen wichtigen, bisweilen sogar einen dominanten Bestandteil in den Wäldern rund um den See und ist mit regelmässigen Funden von Knospenschuppen belegt *(Abbildung 5-10)*. Im Gegensatz zum Bichelsee ist *Abies alba* (Weisstanne) am Hüttwilersee lokal nicht vorhanden.

Die Vegetationsgeschichte im Neolithikum: Erste Agrargesellschaften

Klare Hinweise menschlicher Nutzung gibt es ab etwa 5500 v. Chr. mit den ersten Pollenfunden von Kulturzeigern wie *Plantago lanceolata* (Spitzwegerich) und Cerealia (Getreide). Diese treten zusammen mit der Ausbreitung der Rotbuche auf *(Abbildungen 5-9* und *5-11)*. Das regelmässige Auftreten von Sporen koprophiler Pilze (u. a. *Sporormiella*) könnte ein Indiz für Beweidung mit Nutztieren in unmittelbarer Nähe des Sees sein. Die erstmals leicht erhöhten Holzkohlewerte erlauben zudem den Schluss, dass Feuer zum Öffnen der Wälder angewendet wurde. Interessant sind auch die erhöhten Werte von Grünalgen *(Coelastrum, Tetraedron)*, was auf einen verstärkten Nährstoffeintrag in den See hindeuten könnte. Ab ca. 4500 v. Chr. beginnen die Prozentwerte von *Fagus sylvatica* erstmals wieder zu sinken *(Abbildung 5-11)*. Dieses Muster mit sinkenden bzw. tiefen Werten der Rotbuche sollte sich über die Jahrtausende mehrmals wiederholen, so etwa zwischen 3850 und 3550 v. Chr. sowie zwischen 3100 und 2400 v. Chr. und steht im Zusammenhang mit ausgeprägten Landnutzungsphasen, die auch am Bichelsee zu sehen sind und an anderen Pollenprofilen von Schweizer Tieflandseen beschrieben worden sind *(Rey et al. 2019)*. Nebst den tiefen Rotbuchenwerten zeichnen sich jene Phasen mit menschlicher Nutzung dadurch aus, dass Pollen von Kulturzeigern (Cerealia, *Plantago lanceolata* und *Linum usitatissimum* [Saat-Lein]) regelmässiger auftreten und die Landschaft zunehmend verbuschte, was die Höchstwerte von *Corylus avellana* jeweils andeuten. Des Weiteren sind auch die Holzkohlewerte stark erhöht, was wiederum Brandrodung anzeigen dürfte. Zwischen 3700 und 3500 v. Chr., während der Pfyner Kultur, kommen Leinsamen regelmässig vor *(Abbildung 5-10)*, was auf landwirtschaftliche Aktivitäten in unmittelbarer Seenähe bzw. auf lokale Seeufersiedlungen schliessen lässt. Gleichzeitig gibt es zudem deutliche Anzeichen für eine Eutrophierung des Hüttwilersees, da sowohl die Grünalgen wie auch die Blaualgen *(Anabaena)* massiv erhöhte Werte aufweisen *(Abbildungen 5-9* und *5-11)*. Die Höchstwerte von Blaualgen sind in der Phase zu erkennen, für die die Analyse der Kieselalgen ebenfalls eine Zunahme der Nährstoffkonzentrationen im See belegen *(Grudzinska & Heiri in diesem Band)*. Die lokalen Seeufersiedlungen aus jener Zeit, welche z. T. auch archäologisch erfasst sind, müssen somit bereits im Neolithikum zu einer starken Veränderung der Wasserqualität geführt haben *(Rey et al. 2019)*. Nach den Landnutzungsphasen setzte jeweils eine Wiederbewaldung ein. Typischerweise zeigt sich diese zuerst mit einem Anstieg der Baumbirke, welche ein klassischer Vertreter der frühen Sukzession ist. Dem Birkenmaximum folgt üblicherweise ein Anstieg der Esche, bevor in der Endsukzession nach ca. 150 bis 200 Jahren die Rotbuche wieder dominant wird *(Abbildungen 5-9* und *5-11)*. Viele Baumarten des klassischen Eichenmischwaldes wie etwa *Ulmus, Tilia* und *Acer* (Ahorn) wurden schrittweise bei


Bäume und Sträucher
Kräuter
Tiefe (cm)
Alter (kal. Jahre v. heute)
Alter (kal. Jahre v./ n. Chr.)
Lithologie
Dryas Blattfragmente
Salix Zweige (mm)
Salix Knospen
Juniperus Nadeln
Juniperus Periderm (mm²)
Betula nana Früchte
Betula nana Fruchtschuppen
Betula nana Blätter
Betula humilis Früchte
Betula pubescens Früchte
Betula pendula Früchte
Betula (Baum) Früchte
Betula (Baum) Fruchtschuppen
Betula Knospenschuppen
Betula Zweige (mm)
Pinus sylvestris Nadeln
Pinus sylvestris Kurztriebe
Pinus Knospenschuppen (x 10)
Pinus Periderm (mm²)
Pinus Samen
Pinus Samenflügel
Pinus Antheren
Pinus Zapfenschuppen (männlich)
Pinus Zapfenstiele (männlich)
Pinus Zweige (mm)
Populus tremula Kätzchenschuppen
Populus Knospenschuppen
Corylus Knospenschuppen
Alnus glutinosa Früchte
Alnus Kätzchenschuppen
Alnus Kätzchen (weiblich)
Alnus Knospenschuppen
Quercus Knospen
Tilia Knospenschuppen
Tilia Antheren
Ulmus Knospenschuppen
Fagus Knospenschuppen
Picea Nadeln
Saxifraga aizoides Samen
Helianthemum Samen
Caryophyllaceae Samen
Gypsophila repens Samen
Poaceae Früchte
Linum usitatissimum Samen
Papaver somniferum Samen
Carex Früchte
Holzkohlestücke
Fischreste (Schuppen, Knochen)
Anzahl per 10 cm³
Lithologie:
Grauer Ton
Dunkelbraune Gyttia
Hellbraune Gyttia
Laacher See Tephra

jeder Waldöffnung zunehmend verdrängt, was wohl nicht zuletzt auf die Übernutzung einzelner dieser Baumarten durch den Menschen zurückzuführen ist *(Rey et al. 2019)*. So wurde die Linde oft zum Bau von Einbäumen verwendet, da das Holz relativ weich und einfach zu bearbeiten ist und auch Kleidungsstücke aus Lindenbast waren häufig *(Hafner et al. 2012, Rast-Eicher & Dietrich 2015)*. Insgesamt setzte bereits in der Jungsteinzeit vor über 4000 Jahren eine gewisse Verarmung der Artenzusammensetzung des natürlichen Waldes ein. Der See selber hingegen dürfte sich nach den Landnutzungsphasen und v.a. der am stärksten ausgeprägten Veränderung der Wasserqualität um ca. 3550 v. Chr. wieder relativ rasch erholt haben, was die deutlich tieferen Werte der Grün- und Blaualgen andeuten, aber auch anhand der Kieselalgen im Sedimentprofil abgeleitet werden kann *(Grudzinska & Heiri in diesem Band)*.

Die Vegetationsgeschichte von der Bronzezeit bis zum Ende der Römerzeit: Intensivierung der Landnutzung

Ab etwa 1900 v. Chr., zu Beginn der Frühbronzezeit, sind im Pollendiagramm des Hüttwilersees *(Abbildungen 5-9* und *5-11)* erstmals stärkere Waldöffnungen ersichtlich. Dies zeigt sich durch einen deutlichen Anstieg der Kräuterprozente (hauptsächlich Poaceae), aber auch *Plantago lanceolata* (Spitzwegerich) als Kulturzeiger weist nun eine praktisch geschlossene Kurve auf *(Abbildung 5-9)*. In der Bronzezeit sind insgesamt zwei Landnutzungsphasen zu unterscheiden: Eine erste grössere Waldrodung ist, wie bereits erwähnt, auf 1900 v. Chr. datiert und eine zweite, deutlich stärkere und langanhaltende Landnutzungsphase ist in die Mittel- bis Spätbronzezeit (1600 bis 800 v. Chr.) zu setzen. Interessanterweise scheinen die offenen Flächen um den See nicht, wie zuvor in der Jungsteinzeit üblich, primär mit der Hilfe von Feuer geschaffen worden zu sein, sondern wohl hauptsächlich mit Werkzeugen (z. B. Bronzeäxten), da die Holzkohlewerte als Zeiger für Feuer kaum erhöhte Werte aufweisen *(Abbildungen 5-10* bis *5-11)*. Insgesamt setzt sich die Artenverarmung bei der Waldzusammensetzung auch in der Bronzezeit weiter fort. Pollenkörner von *Tilia* und *Taxus baccata* (Eibe) treten nach 1500 v. Chr. (Mittelbronzezeit) nur noch sporadisch auf und dürften als Hinweis für das lokale Aussterben dieser Baumarten gewertet werden. Zellen von Grünalgen sind entweder durchgehend *(Tetraedron)* oder sporadisch *(Coelastrum)* vertreten. Allerdings zeigen diese keine ähnlich ausgeprägten Veränderungen wie im Neolithikum, z. B. zwischen 3850 und 3550 v. Chr. Anscheinend wurde die Wasserqualität im See nicht ähnlich stark durch menschliche Aktivitäten beeinflusst wie in der Jungsteinzeit oder der jüngsten Vergangenheit, was mit der Interpretation der Kieselalgen-Analysen übereinstimmt *(Grudzinska & Heiri in diesem Band)*. Dies lässt vermuten, dass die Siedlungen der bronzezeitlichen Bauern nicht direkt am Seeufer gelegen haben bzw. dass deren Abfall nicht unmittelbar im See entsorgt worden ist.

Abbildung 5-10: Hüttwilersee: Makrorest-Diagramm. Dargestellt sind die Lithologie sowie die Anzahl der Reste und makroskopischen Holzkohlestücke pro 10 cm³ Sediment (Periderm: mm² pro 10 cm³ Sediment, Zweige: mm pro 10 cm³ Sediment). Die farblich helleren Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Konzentrationen. Die Ziffern 1–4 am rechten Rand markieren wichtige Klimawechsel (Rey et al. 2020): *1 = Beginn der Bølling Warmzeit, 2 = Beginn der Jüngeren Dryas Kaltphase, 3 = Beginn des Holozäns, 4 = 8.2 ka Event/Misox Schwankung.*

HÜTTWILERSEE

Neolithikum - Bronzezeit

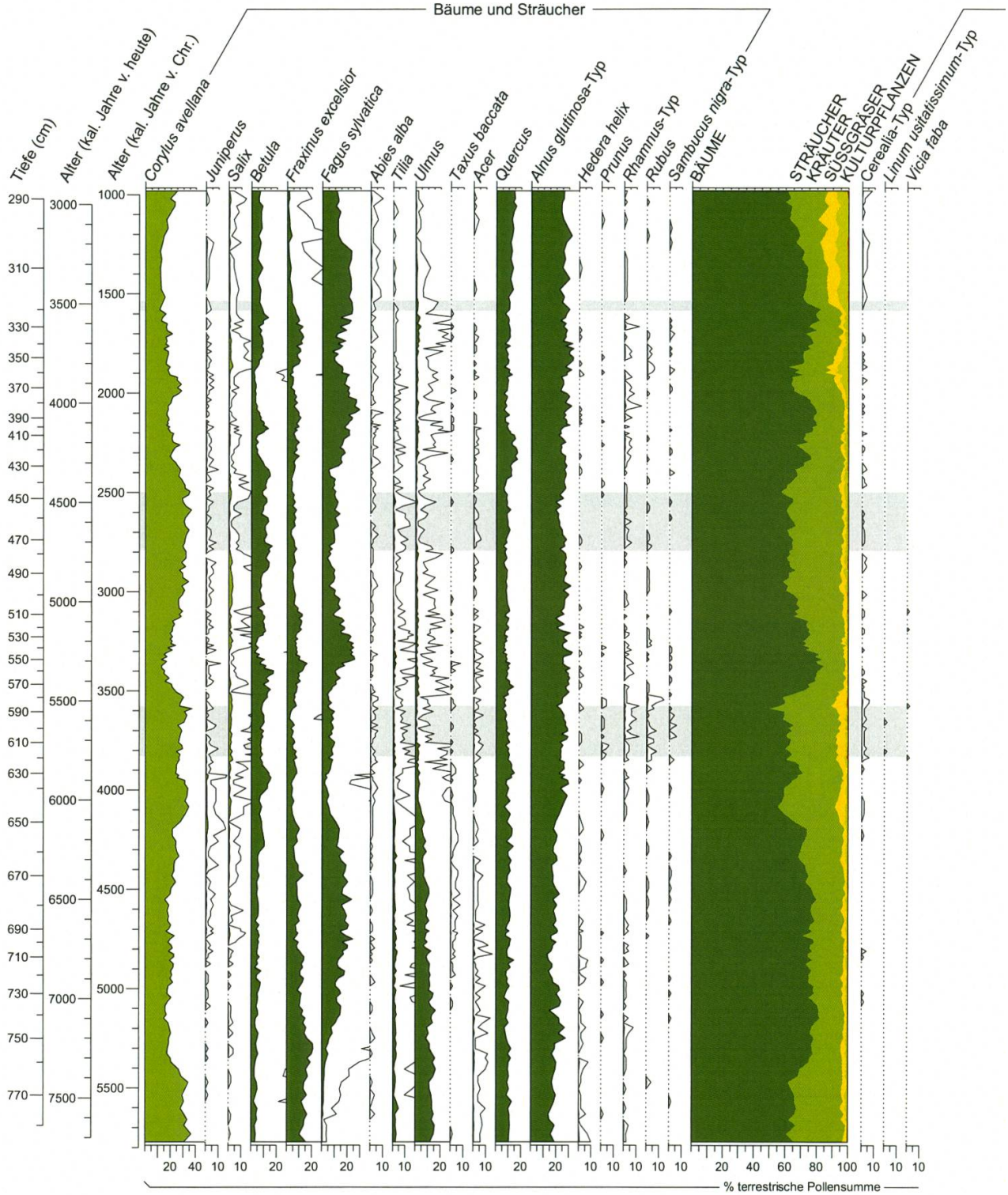
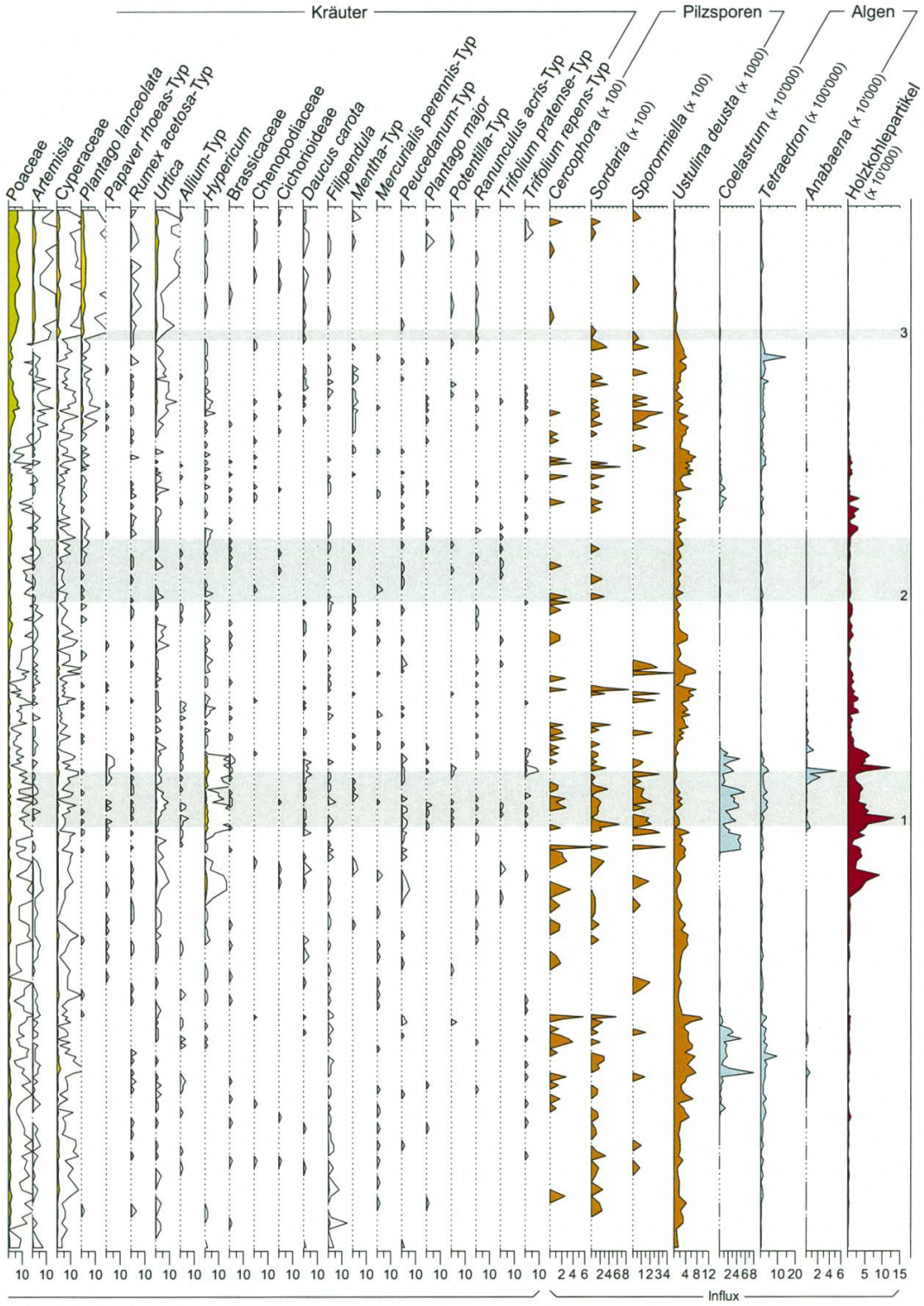


Abbildung 5-11: Hüttwilersee: Pollendiagramm Neolithikum bis Bronzezeit. Dargestellt sind die Prozente von ausgewählten Pollentypen und die Influxwerte einzelner Pilzsporen, Algen und der mikroskopischen Holzkohle (Influxwerte in cm^{-2} Jahr^{-1}). Die weissen Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Prozentwerte. Die Ziffern 1-3 am rechten Rand markieren archäologisch belegte Siedlungsphasen in der Region (Hasenfratz & Schnyder 1998): *1 = Pfahlbauten der Pfyner Kultur (3840-3582 v. Chr.), 2 = Grubenhaus der Schnurkeramik Kultur am Nussbaumersee (2800-2500 v.Chr.), 3 = Mittelbronzezeitliche Siedlung (1580-1538 v. Chr.).*


Kräuter
Pilzsporen
Algen
Poaceae
Artemisia
Cyperaceae
Plantago lanceolata
Papaver rhoeas-Typ
Rumex acetosa-Typ
Urtica
Allium-Typ
Hypericum
Brassicaceae
Chenopodiaceae
Cichorioideae
Daucus carota
Filipendula
Mentha-Typ
Mercurialis perennis-Typ
Peucedanum-Typ
Plantago major
Potentilla-Typ
Ranunculus acris-Typ
Trifolium pratense-Typ
Trifolium repens-Typ
Cercophora (x 100)
Sordaria (x 100)
Sporormiella (x 100)
Ustulina deusta (x 1000)
Coelastrum (x 10'000)
Tetraedron (x 100'000)
Anabaena (x 10'000)
Holzkohlepartikel (x 10'000)
3
2
1
10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 2 4 6 2 4 6 8 1 2 3 4 4 8 12 2 4 6 8 10 20 2 4 6 5 10 15
Influx

Nach einer Wiederbewaldungsphase am Ende der Spätbronzezeit (ab ca. 800 v. Chr.) kommt es ab 700 v. Chr. in der Älteren Eisenzeit (Hallstattzeit) wieder zu stärkeren und lang anhaltenden Landnutzungsphasen. Die grössten Waldöffnungen gab es um 150 v. Chr. (Spätlatènezeit) und dann v. a. in der Römerzeit ab ca. 100 bis 300 n. Chr. *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*. Während sich die Landnutzung in der Älteren Eisenzeit aufgrund des Pollenniederschlags wohl kaum von derjenigen in der Bronzezeit unterschieden haben dürfte, sind ab ca. 250 v. Chr. deutlichere Unterschiede ersichtlich. So zeigt die Eiche stark erhöhte Werte, was nur durch Förderung dieser Baumart zu erklären ist, da unter natürlichen Umständen die Rotbuche gegenüber der Eiche klar im Vorteil wäre und diese verdrängen würde *(Lang et al. 2023)*. Die hohen Eichenprozente (v. a. in der Römerzeit) sowie die zwischen 100 und 300 n. Chr. teilweise durchgehenden Kurven von Sporen koprophiler Pilze *(Cercophora, Sordaria, Sporormiella)* geben deutliche Hinweise auf Waldbeweidung und die Schaffung von offenen Hutewäldern. Die nährstoffreichen Eicheln wurden wohl als optimale, zusätzliche Futterquelle für Schweine genutzt (sog. Eichelmast). Die Dominanz von *Quercus* zeigt sich auch bei den Pflanzenmakroresten. Während die Knospenschuppen der Eiche ähnlich häufig auftreten wie zu den Zeiten der frühholozänen Eichenmischwälder, sind die Makroreste anderer Baumarten kaum vertreten oder fehlen gänzlich *(Abbildung 5-10)*. Ebenfalls seit der späten Eisenzeit sind Pollenkörner von *Cannabis sativa* (Hanf) belegt *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*, was ein Hinweis darauf sein könnte, dass Hanf als Faserpflanze genutzt wurde. Ab der frühen Römerzeit ist zudem auch der Anbau von *Secale* (Roggen) als neu eingeführte Getreidesorte mit ersten Pollenfunden dokumentiert. Als zusätzlicher Nutzbaum wurde seit der Römerzeit *Juglans regia* (Nussbaum) angepflanzt, was ebenfalls mit ersten Pollenfunden belegt ist. Gleichzeitig wurden erstmals Pollenkörner von *Castanea sativa* (Edelkastanie) gefunden. Der Pollenniederschlag von *Castanea sativa* ist wohl hauptsächlich auf Fernflug (z. B. aus dem Tessin und Graubünden) zurückzuführen. An den südexponierten Hängen, wahrscheinlich neben dem archäologisch erfassten römischen Gutshof Hüttwilen-Stutheien, wurde zudem wohl auch Wein angepflanzt, was mit regelmässigen Pollenfunden von *Vitis* belegt ist *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*. Weil gleichzeitig immer wieder Pollenkörner von *Orlaya grandiflora* (Strahlendolde) auftreten, eine Art, welche oft in Weinbergen anzutreffen war *(Lauber et al. 2018)*, ist Weinanbau am Hüttwilersee während der Römerzeit durchaus realistisch. Leicht erhöhte Werte der Grünalgen-Zellen *(Coelastrum, Tetraedron)* weisen auf einen möglicherweise leicht verstärkten Nährstoffeintrag vom römischen Gutshof in unmittelbarer Nähe des Sees hin. Allerdings zeigen andere aquatische Indikatoren (Kieselalgen, Invertebraten; *Grudzinska & Heiri in diesem Band, Lapellegerie et al. in diesem Band*) keine ausgeprägte Eutrophierungsphase zu dieser Zeit. Zu guter Letzt zeigen auch die Holzkohlewerte *(Abbildungen 5-9, 5-10* und *5-12)* die höchsten Werte seit dem Neolithikum, was auf eine erhöhte Feueraktivität in der Region zurückzuführen ist. Feuer wurde wohl hauptsächlich dazu verwendet, um die Landschaft offen zu halten und die Verbuschung zu unterbinden.

Eine erneute Wiederbewaldung im klassischen Sinn (von Früh- bis Spätsukzession) setzte in der zweiten Hälfte des 3. Jahrhunderts n. Chr. ein und gipfelt um 500 bis 600 n. Chr. mit einem letzten Buchenmaximum *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*. Der Grund für diese Wiederbewaldung dürfte die römische Reichskrise im 3. Jahrhun-

dert n. Chr. gewesen sein, welche auch den Thurgau betraf. Als Folge der politischen Wirren und der wirtschaftlichen Instabilität wurden in der zweiten Hälfte des 3. Jahrhunderts n. Chr. der römische Gutshof beim Hüttwilersee vorübergehend nicht weiterbewirtschaftet *(Hasenfratz & Schnyder 1998, Roth-Rubi 1986)* und der nahe gelegene *vicus Tasgetium* (Eschenz) aufgegeben *(Benguerel et al. 2014, Salathé et al. 2017)*. Diese stark reduzierte Landnutzung während der Völkerwanderungszeit führte dann schliesslich zu einer grossflächigen Wiederbewaldung, welche sich sowohl im Pollenniederschlag *(Abbildungen 5-9* und *5-12)* wie auch bei den gefundenen Pflanzenmakroresten *(Abbildung 5-10)* widerspiegelt.

Die Vegetationsgeschichte vom Frühmittelalter bis zur Neuzeit: Maximale Öffnung der Landschaft

Die Buchenmischwälder erlebten im 5. bis 7. Jahrhundert n. Chr. eine letzte Renaissance, was sich an den hohen Baumpollenprozenten ablesen lässt *(Abbildungen 5-9* und *5-12)* und in dem Ausmass seither bis heute nie mehr wieder eingetroffen ist. Die letzte Hochphase der Buchenmischwälder wurde um 650 n. Chr. von einer frühmittelalterlichen Landnutzungsphase, welche ca. 150 Jahre andauerte, jäh unterbrochen. Die Öffnung der Landschaft war in etwa vergleichbar wie zuvor in der Römerzeit, und das Pollenspektrum zeigt deshalb eine ähnliche Landnutzung an. Der grösste Unterschied besteht darin, dass im Frühmittelalter die Eiche nicht zunahm und die Eichelmast wohl nicht im gleichen Masse praktiziert wurde, oder die Eiche keine ähnlich starke Förderung erfuhr, wie noch zur Römerzeit. Nach einer erneuten kurzen Phase mit einer etwas geringeren Landnutzung (um 800 n. Chr.), setzt danach im späteren Frühmittelalter und im Übergang ins Hochmittelalter eine Zeit ein, in welcher die Wälder in einem nie dagewesenen Ausmass gerodet wurden. Die vorläufig maximalen Werte der Kräuterpollenprozente (> 30 %) werden zwischen 900 und 1200 n. Chr. erreicht *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*. Die feuchtigkeitsliebende Erle wurde ebenfalls stark dezimiert, weshalb wohl auch die Seeufer nahezu baumlos wurden. So fehlen etwa die Pflanzenmakroreste von Bäumen ab 1000 n. Chr. praktisch komplett *(Abbildung 5-10)*. Von den Baum- und Straucharten scheinen nur *Quercus* und *Juniperus* profitiert zu haben, was die erhöhten Pollenprozente andeuten und womöglich Hinweise darauf geben könnte, dass die Menschen wieder vermehrt auf Waldbeweidung gesetzt haben. Die maximalen Werte von Kulturpflanzen (wie z. B. *Secale*) werden ebenso im späten Frühmittelalter und Hochmittelalter erreicht. Zudem deuten die deutlich erhöhten Prozente von *Cannabis sativa* an, dass die Hanfröste zur Gewinnung der Fasern vermehrt praktiziert wurde. *Juglans regia* erreicht Maximalwerte und auch Pollenkörner von *Prunus* (wohl Kirsche oder Zwetschge) wurden regelmässig gefunden. Beides zeigt an, dass, wohl wie am Bichelsee, sowohl Nuss- als auch Obstbäume häufig angepflanzt wurden. Veränderungen der Grünalgen sind trotz der starken Öffnung der Wälder und der Hanfröste nicht erkennbar. Dies lässt vermuten, dass die erhöhte Landnutzung zu dieser Zeit die Gewässerqualität nicht stark verändert hat *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*. Es kann aber auch sein, dass sich die Zellen der Grünalgen nicht erhalten haben, da die Erhaltung der Pollenkörner für das Hochmittelalter insgesamt etwas weniger gut ist.

Nach der Blütezeit im Hochmittelalter kam es im Spätmittelalter zu einer schrittweisen Reduktion der Landnutzung zurück auf ein deutlich tieferes Niveau *(Abbildun-*

HÜTTWILERSEE

Spätbronzezeit - Neuzeit

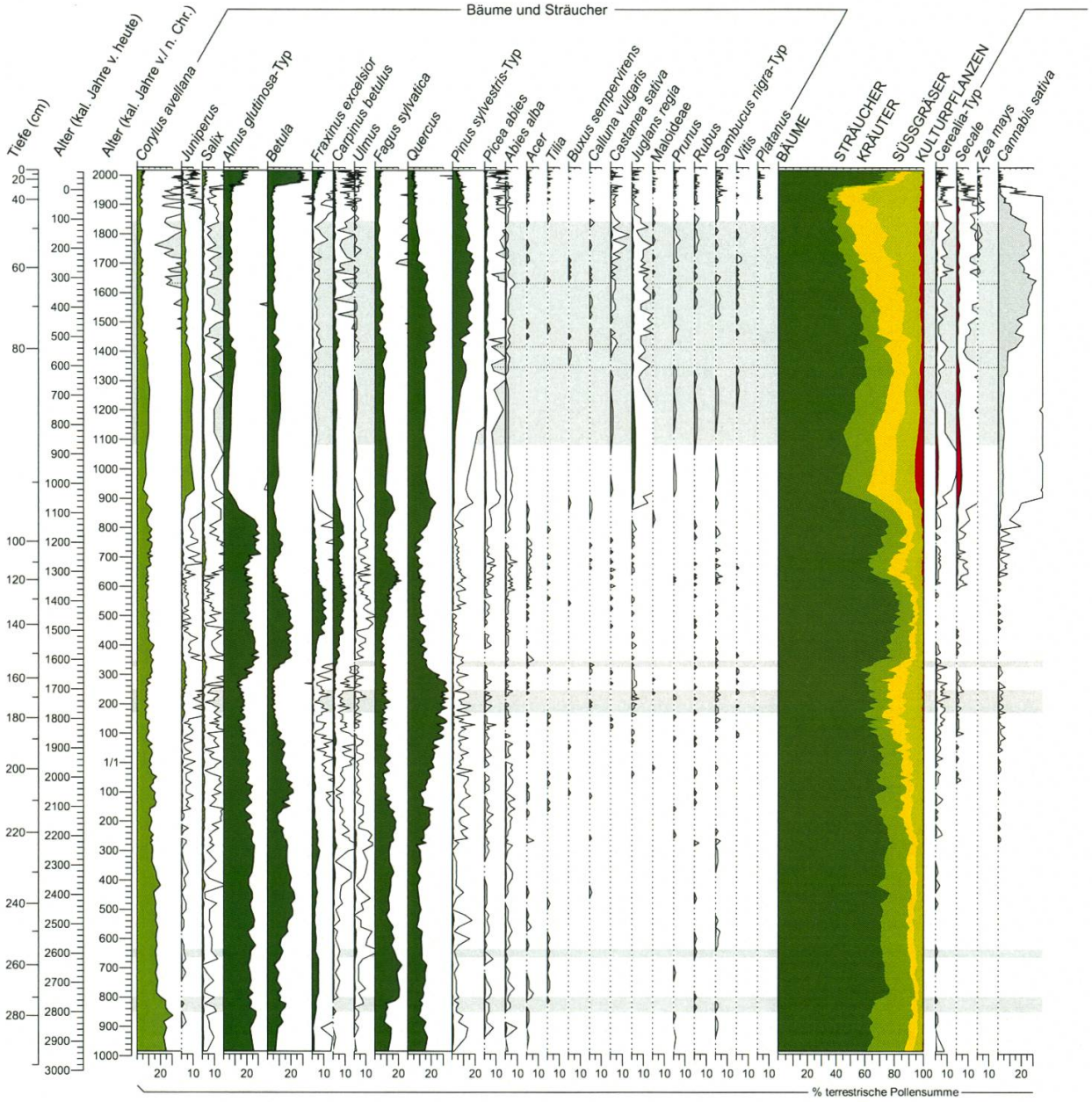
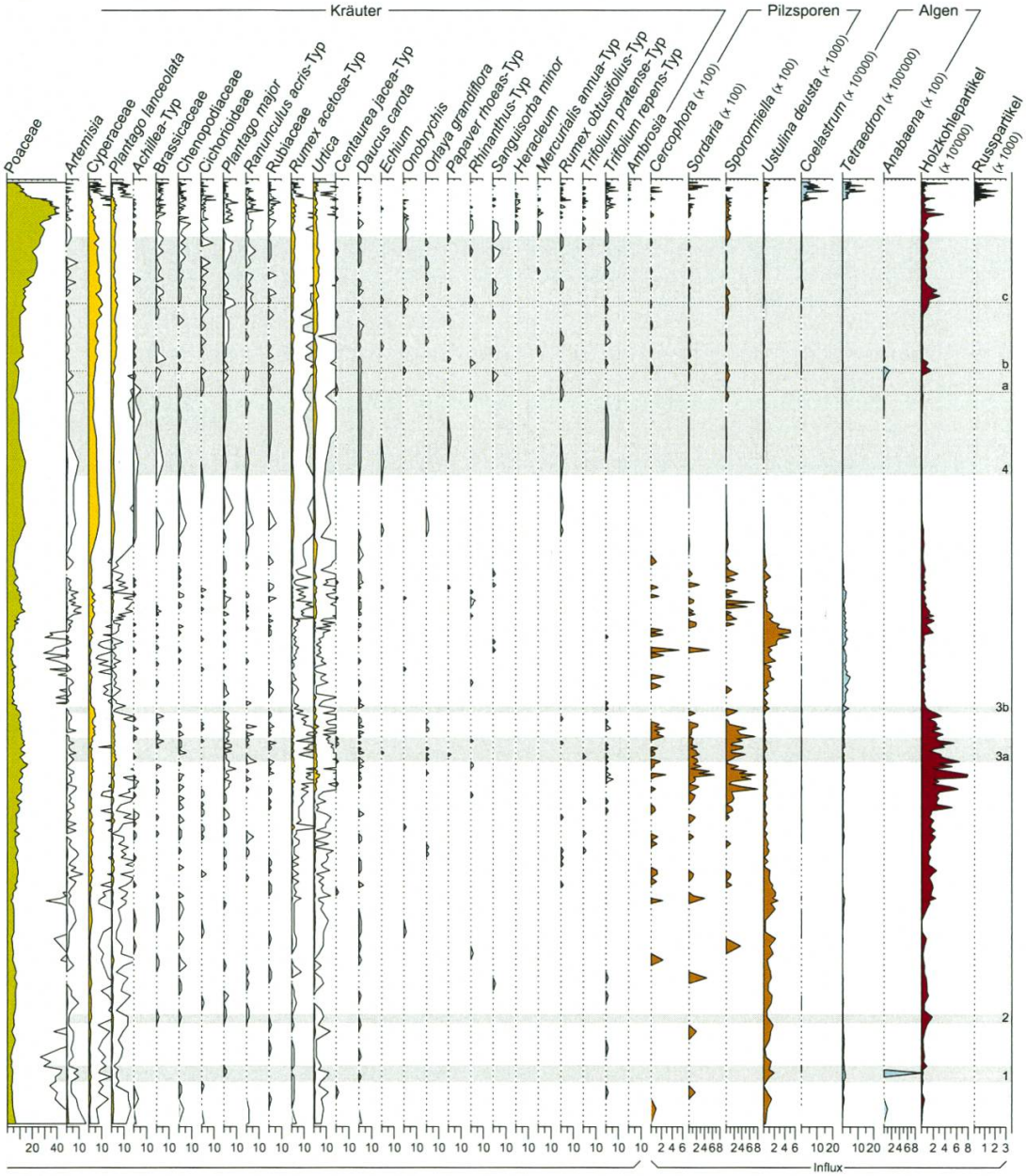


Abbildung 5-12: Hüttwilersee: Pollendiagramm Spätbronzezeit bis Neuzeit. Dargestellt sind die Prozente von ausgewählten Pollentypen und die Influxwerte einzelner Pilzsporen, Algen, der Russpartikel (SCPs) sowie der mikroskopischen Holzkohle (Influxwerte in cm^{-2} Jahr^{-1}). Die weissen Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Prozentwerte. Die Ziffern 1-4 am rechten Rand markieren archäologisch belegte Siedlungsphasen in der Region (Hasenfratz & Schnyder 1998): *1 = spätbronzezeitliches Dorf am Nussbaumersee (850-780 v. Chr.), 2 = eisenzeitliches Haus am Nussbaumersee (663-638 v. Chr.), 3a, b = Römischer Gutshof Hüttwilen-Stutheien (175-250 n. Chr. sowie 325-350 n. Chr.), 4 = Burg/Kloster Ittingen (Burg 1079-1150, Augustinerkloster 1150-1461, Kartause 1461-1848). a-c markieren wichtige historische Ereignisse: a = erste grosse Pestwelle 1348, b = Konzil von Konstanz 1414-1418, c = Dreissigjähriger Krieg 1618-1648.*


Kräuter
Pilzsporen
Algen
Poaceae
Artemisia
Cyperaceae
Plantago lanceolata
Achillea-Typ
Brassicaceae
Chenopodiaceae
Cichorioideae
Plantago major
Ranunculus acris-Typ
Rubiaceae
Rumex acetosa-Typ
Urtica
Centaurea jacea-Typ
Daucus carota
Echium
Onobrychis
Orlaya grandiflora
Papaver rhoeas-Typ
Rhinanthus-Typ
Sanguisorba minor
Heracleum
Mercurialis annua-Typ
Rumex obtusifolius-Typ
Trifolium pratense-Typ
Trifolium repens-Typ
Ambrosia
Cercophora (x 100)
Sordaria (x 100)
Sporormiella (x 100)
Ustulina deusta (x 1000)
Coelastrum (x 10000)
Tetraedron (x 100000)
Anabaena (x 100)
Holzkohlepartikel (x 10000)
Russpartikel (x 1000)
c
b
a
4
3b
3a
2
1
Influx

gen 5-9 und *5-12)*. Das Minimum der Kräuterpollenprozente wurde im 14. Jahrhundert erreicht und könnte möglicherweise teilweise eine Folge der kühleren Klimabedingungen während der Kleinen Eiszeit sein *(Pfister & Wanner 2021)*. Der Schwarze Tod von 1348 und die immer wiederkehrenden Pestwellen in den Jahrzehnten danach könnten zu fehlenden Arbeitskräften auf den Feldern geführt haben, was möglicherweise Landnutzungsänderungen in der Region des Hüttwilersees erklären könnte. So setzte womöglich eine schrittweise Wiederbewaldung ein, so wie das steigende Pollenprozente von *Quercus* und *Pinus sylvestris* vermuten lassen, und es wurden eventuell die Wälder wieder vermehrt beweidet. Weitere auffallende Änderungen im Pollenprofil zu der Zeit waren die starke Abnahme der Getreidepollen (v. a. *Secale*) und die Zunahme von *Cannabis sativa*, was ebenfalls auf deutliche Änderungen in der Bewirtschaftung des Umlands hinweist. Nach dem Konstanzer Konzil (1414–1418) und wohl im Zusammenhang mit dem Aufblühen der nahe gelegenen Kartause Ittingen in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts verstärkt sich die Landnutzung wieder, wie es die stetig ansteigenden Kräuterpollenprozente (v.a. Poaceae) und Zunahme von *Secale* verdeutlichen *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*. Die Gras- und Weidewirtschaft scheint zudem regional wichtiger geworden zu sein als der Ackerbau, da die Pollenprozente der Kulturpflanzen (Getreide) nie mehr die gleich hohen Werte erreichen, wie zuvor im Hochmittelalter, wohingegen die Prozente von Poaceae, *Plantago lanceolata* und *Rumex acetosa* (Sauerampfer) hohe Werte aufweisen. Der Dreissigjährige Krieg (1618–1648) scheint kaum Auswirkungen auf die Landnutzung rund um den Hüttwilersee gehabt zu haben, da die Kräuterpollenprozente als Zeiger für die Offenheit der Landschaft praktisch fortlaufend ansteigen. Nebst der Heu- und Weidewirtschaft sowie dem Ackerbau, wurde auch der Obstanbau wichtiger, was die Prozentkurven von *Prunus* und Maloideae (Kernobstgewächse) zeigen. Die Kartäuser haben zudem rege Weinbau betrieben, da Pollenkörner von *Vitis* wie zuletzt während der Römerzeit wieder regelmässig auftreten. *Cannabis sativa* zeigt absolute Maximalwerte, weshalb das Gewässer wohl intensiv für die Hanffaserproduktion genutzt wurde. Ab der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts tritt zudem *Zea mays* (Mais) als Nutzpflanze erstmals auf *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*. Insgesamt scheint sich mit der Blütezeit der Kartause in Ittingen eine sehr diverse Landwirtschaft um den See etabliert zu haben. Zusammen mit den höchsten Pollenprozenten von *Cannabis sativa* sind auch Grünalgen *(Tetraedron, Coelastrum)* wieder vermehrt zu finden.

Die Vegetationsgeschichte der letzten 200 Jahre: Industrialisierung und Übergang zur modernen Landwirtschaft

Im Verlauf des 19. Jahrhunderts nahm die Landnutzung weiterhin stark zu (Kräuterpollenprozente >50 %, *Abbildungen 5-9* und *5-13*). Seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts dürfte Mais vermehrt angepflanzt worden sein, da Pollenkörner von *Zea mays* häufiger auftreten. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts sinken die Pollenprozente von *Cannabis sativa* rapide ab. Die Einfuhr der kostengünstigeren Baumwolle als Faserpflanze dürfte wahrscheinlich zum grössten Teil für das Verschwinden der Hanfröste verantwortlich gewesen sein. Die lokale und regionale Weinproduktion scheint bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts stark rückläufig gewesen zu sein, da Pollenkörner von *Vitis* nur noch sporadisch gefunden wurden. Hier dürfte die einfache und kostengünstige Einfuhr (mit der Eisen-

bahn) von qualitativ besserem Wein aus anderen europäischen Weinregionen sowie die Schäden der Reblaus, andere Pflanzenkrankheiten und Fehlernten massiv zum Niedergang des Weinbaus im Thurgau beigetragen haben *(Altwegg 2020)*. Die maximale Öffnung der Landschaft mit den höchsten Kräuterpollenprozenten wurde zwischen dem Ersten und Zweiten Weltkrieg erreicht *(Abbildungen 5-9* und *5-12)*. Bis dahin dominierten artenreiche Magerwiesen mit *Onobrychis* (Esparsette) und *Sanguisorba minor* (Kleiner Wiesenknopf). Erst die Intensivierung der Landwirtschaft ab Mitte der 1950er-Jahre erlaubte die Etablierung von ertragsreicheren, aber artenärmeren Fettwiesen mit hauptsächlich Gräsern, *Heracleum* (Bärenklau), *Trifolium repens* (Kriechender Klee) und *Rumex obtusifolius* (Blacke). Die artenreicheren, weniger nährstoffreichen Wiesen hingegen verschwanden zunehmend und trotz des Aufkommens weiterer Neophyten wie *Ambrosia* (Traubenkraut) oder *Platanus* (Platane) ging das Gesamtpollenspektrum in den letzten 200 Jahren eher in Richtung einer geringeren Diversität. Mit der intensiveren Bewirtschaftung im Umland wurde der Hüttwilersee nährstoffreicher, wie es die extrem hohen Werte der Grünalgen-Zellen aufzeigen und auch bei den Kieselalgen in den Sedimenten angezeigt wird. Davon hat sich der See trotz Tiefenwasserableitung und der Ausbreitung eines Vegetationsgürtels mit Birken und Erlen im Seeuferbereich in den letzten Jahrzehnten nur teilweise erholt *(Grudzinska & Heiri in diesem Band)*. Gleichzeitig mit der Intensivierung der Landwirtschaft nahmen auch die Werte der Russpartikel seit dem Zweiten Weltkrieg zu. Diese sind erst mit der Einführung von Russpartikelfiltern ab den 1980er-Jahren wieder rückläufig.

5.4 Fazit und Zusammenfassung

Die Pollen- und Pflanzen-Makrorestprofile des Bichelsees und des Hüttwilersees zeigen in bemerkenswerter zeitlicher Auflösung vergangene Vegetationsveränderungen im Umland der zwei Seen seit dem Ende der letzten Eiszeit. Die Daten bilden die Grundlage des Synthesekapitels dieses Bands *(Heiri et al. in diesem Band, Kapitel 3)* und werden dort zusammengefasst und mit bestehenden archäologischen Daten verglichen, weshalb hier auf einen detaillierten Vergleich der zwei Standorte verzichtet wird. Trotzdem lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die neuen Daten eindrücklich zeigen, wie Vegetationsänderungen auf dem Gebiet des heutigen Kantons Thurgau in einer ersten Phase über Jahrtausende durch die Klimaschwankungen der letzten Eiszeit, die Wiederbewaldung der Tundra-Landschaft und die Einwanderung und Ausbreitung wichtiger, waldbildender Baumarten geprägt waren. Erste Anzeichen menschlicher Einflüsse auf die Vegetation sind an beiden Seen seit der Jungsteinzeit ersichtlich, mit der Zunahme der Feueraktivität, ersten Rodungs- und Wiederbewaldungsphasen und der Zunahme von Kulturpflanzen, Kulturfolgern und Weidezeigern. Später sind zunehmend stärkere Öffnungen der Wälder in der Bronze- und der Eisenzeit und verstärkt in der Römerzeit, im Mittelalter und in der frühen Neuzeit ersichtlich, unterbrochen von Phasen der Erholung und des Zurückdrängens der Kulturlandschaft. Veränderungen in der Struktur und Zusammensetzung der umliegenden Wälder sind infolge der menschlichen Aktivitäten über die Jahrtausende erkennbar und zeigen interessante Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede an den Seen. So verlaufen zum Beispiel einige der Waldöffnungsphasen am Bichelsee und am Hüttwilersee synchron *(Heiri et al. in diesem Band, Kapi-*

HÜTTWILERSEE

Neuzeit

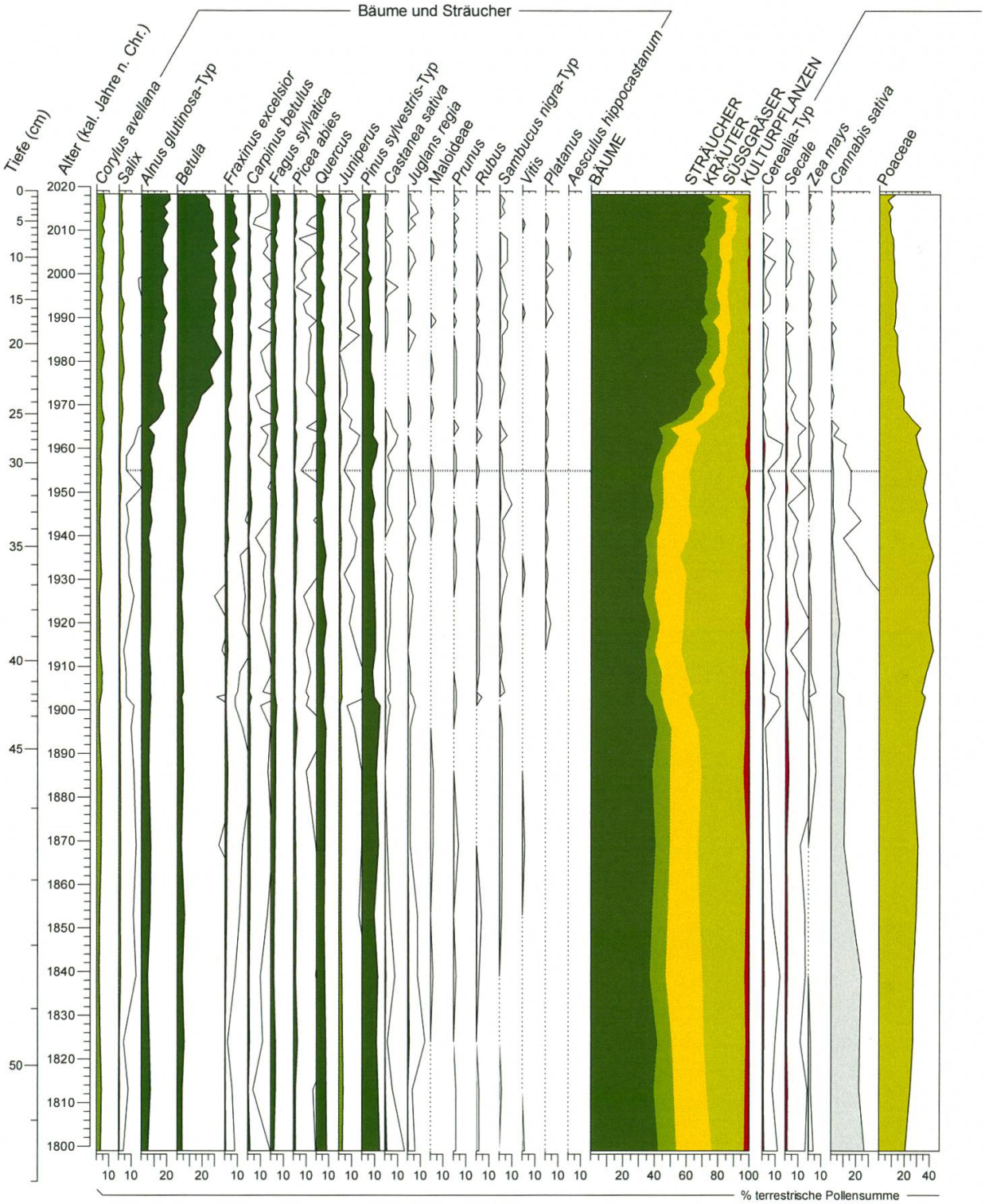
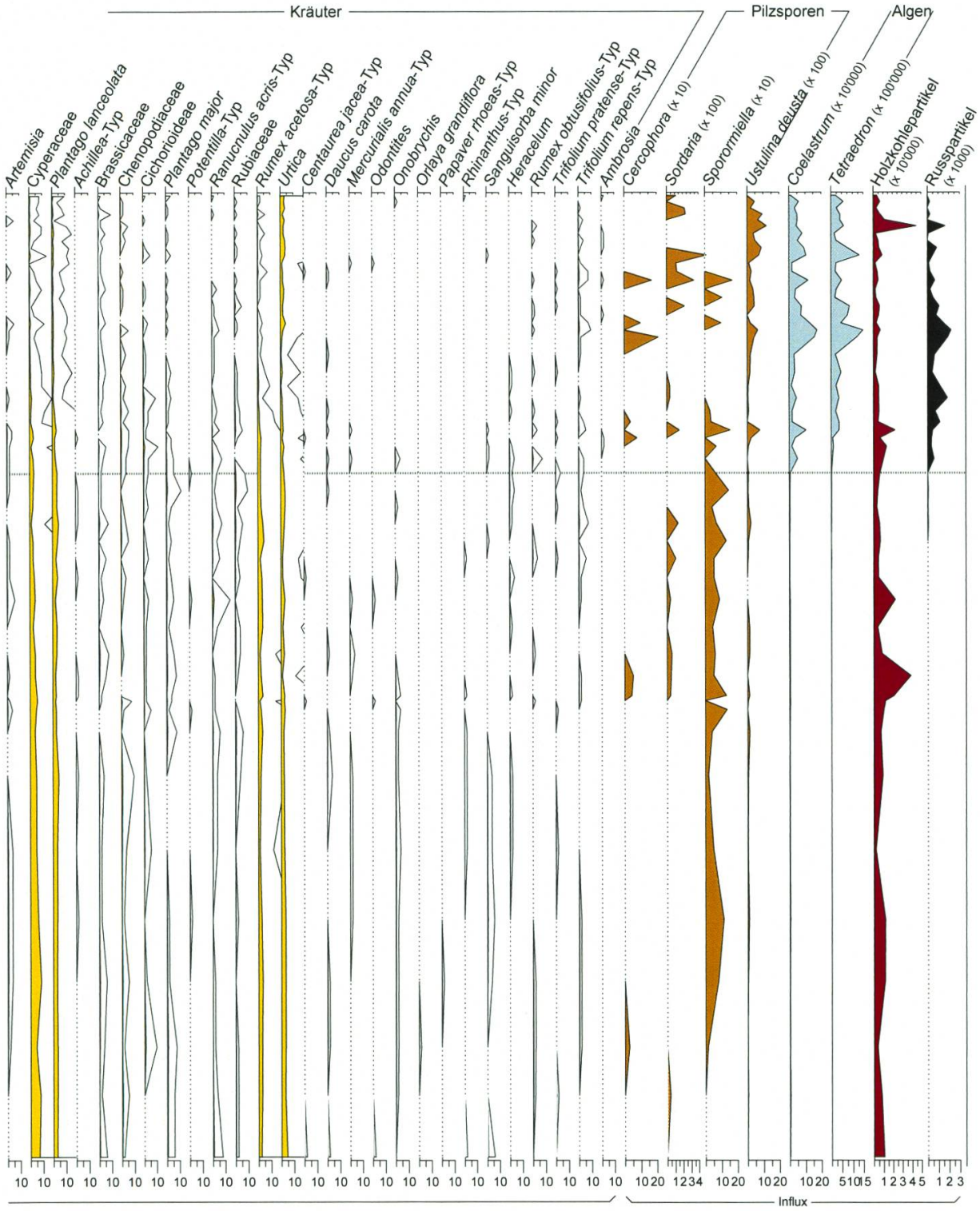


Abbildung 5-13: Hüttwilersee: Pollendiagramm 1800 n. Chr. bis Gegenwart. Dargestellt sind die Prozente von ausgewählten Pollentypen und die Influxwerte einzelner Pilzsporen, Algen, der Russpartikel (SCPs) sowie der mikroskopischen Holzkohle (Influxwerte in cm^{-2} Jahr^{-1}). Die weissen Kurvenflächen repräsentieren die 10-fachen Überhöhungen der Prozentwerte. Die gestrichelte Linie markiert den Beginn der modernen Landwirtschaft ab Mitte der 1950er-Jahre.


Kräuter
Pilzsporen
Algen
Artemisia
Cyperaceae
Plantago lanceolata
Achillea-Typ
Brassicaceae
Chenopodiaceae
Cichorioideae
Plantago major
Potentilla-Typ
Ranucnulus acris-Typ
Rubiaceae
Rumex acetosa-Typ
Urtica
Centaurea jacea-Typ
Daucus carota
Mercurialis annua-Typ
Odontites
Onobrychis
Orlaya grandiflora
Papaver rhoeas-Typ
Rhinanthus-Typ
Sanguisorba minor
Heracelum
Rumex obtusifolius-Typ
Trifolium pratense-Typ
Trifolium repens-Typ
Ambrosia
Cercophora (x 10)
Sordaria (x 100)
Sporormiella (x 10)
Ustulina deusta (x 100)
Coelastrum (x 10'000)
Tetraedron (x 100'000)
Holzkohlepartikel (x 10'000)
Russpartikel (x 1000)
10 10 10

tel 3), während andere an einem See bedeutend stärker ausgeprägt sind als am anderen. Die Pollendaten zeigen auch beeindruckende Änderungen der Bewirtschaftung an beiden Standorten, beginnend mit den Rodungen und ersten Anzeichen von Viehwirtschaft und Landbau in der Jungsteinzeit, über die Bronzezeit, in der die Entwaldung vermehrt mithilfe von Werkzeugen und weniger unter Einsatz von Feuer durchgeführt wurde, bis zur Eisenzeit, als zum Beispiel die Förderung der Eiche an beiden Seen auf neue Arten der Waldnutzung deutet. Ab der Römerzeit, im Mittelalter und in der frühen Neuzeit sind wiederum neue Bewirtschaftungsformen (z. B. Anbau des Nussbaums und anderer Obstbäume, der Weinrebe, des Roggens, der Hanfanbau, die zunehmende Beweidung) erkennbar. In der späteren Neuzeit sind dann in den Vegetationsrekonstruktionen zunehmend Neophyten und der Übergang zu den Bewirtschaftungsformen der Moderne (z. B. Fettwiesen, Maisanbau) zu erkennen, welche den Wandel von der naturnahen Landschaft des Spätglazials und Früh- bis Mittelholozäns zur heutigen vielfältigen und über die Jahrtausende gewachsenen Kulturlandschaft abschliessen.

5.5 Literatur

- *Akeret, Ö., Kiefer, S., Kühn, M., Rentzel, Ph., Rösch, M. & Wick, L., 2018:* The buried medieval pasture of Onoldswil (Niederdorf BL, Switzerland, 1295 AD): An example of a well preserved palaeobiocoenosis. – Vegetation History and Archaeobotany, 27(1), 137–149.
- *Altwegg, A., 2020:* Die Reblausinvasion in der Schweiz – die überschätzte Katastrophe. – Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 1, 8–11.
- *Benguerel, S., Brem, H., Giger, M., Leuzinger, U., Pollmann, B., Schnyder, M., Schweichel, R., Steiner, F. & Streit, S., 2014:* Tasgetium III, römische Befunde. – Archäologie im Thurgau 19, Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld, 403 pp.
- *Beug, H.-J., 2004:* Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. – Pfeil, München, 542 pp.
- *Brombacher, C. & Jacomet, S., 1997:* Ackerbau, Sammelwirtschaft und Umwelt: Ergebnisse archäobotanischer Untersuchungen. – In: «Ökonomie und Ökologie neolithischer und bronzezeitlicher Ufersiedlungen am Zürichsee». Schibler, J., Hüster-Plogmann, H., Jacomet, S., Brombacher, C., Gross-Klee, E. & Rast-Eicher, E. (Hrsg.), 220–299 – Monographien der Kantonsarchäologie Zürich, 20, Zürich und Egg.
- *Brönnimann, S. & Krämer, D., 2016:* Tambora und das «Jahr ohne Sommer» 1816. Klima, Mensch und Gesellschaft – Geographica Bernensia, G90.
- *Flutsch, L., Niffeler, U. & Rossi, F., 2002 (Hrsg.):* Die Römerzeit in der Schweiz. – Die Schweiz vom Paläolithikum bis zum frühen Mittelalter 5, SPM V, Basel, 432 pp.
- *Frömelt, H., 1981:* Die Entwicklung der thurgauischen Obstbaulandschaft im 19. und 20. Jahrhundert. – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 44, 47–74.
- *Gill, J. L., Williams, J. W., Jackson, S. T., Donnelly, J. P. & Schellinger, G. C., 2012:* Climatic and megaherbivory controls on late-glacial vegetation dynamics: a new, high-resolution, multi-proxy record from Silver Lake, Ohio. – Quaternary Science Reviews, 34, 66–80.
- *Haas, J. N. & Hadorn, P., 1998:* Die Vegetations- und Kulturlandschaftsgeschichte

des Seebachtals von der Mittelsteinzeit bis zum Frühmittelalter anhand von Pollenanalysen. - In: «Das Seebachtal - Eine archäologische und paläoökologische Bestandesaufnahme», Hasenfratz, A. & Schnyder, M. (Hrsg.), 221-255 - Forschungen im Seebachtal 1 (Archäologie im Thurgau 4), Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld.

- *Hafner, A., Harb, C., Amstutz, M., Francuz, J. & Moll Dau, F., 2012:* Moosseedorf, Moossee Oststation, Strandbad. Strandbadneubau, Pfahlbauten und das älteste Boot der Schweiz. - Jahrbuch des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern, ArchBE 2012, 71-77.
- *Hasenfratz, A. & Schnyder, M., 1998:* Das Seebachtal. Eine archäologische und paläoökologische Bestandesaufnahme. Mit Beiträgen von Haas, J. N., Hadorn, Ph., Gollnisch, H., Junkes, M., Kaufmann, B., Leuzinger, U. & Markert, D. - Forschungen im Seebachtal 1 (Archäologie im Thurgau 4), Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld, 268 pp.
- *Heiri, O., Bedford, A., Hazekamp, M., Ilyashuk, B., Jeffers, E. S., Lang, B., Kirilova, E., Kuiper, S., Millet, L., Samartin, S., Toth, M., Verbruggen, F., Watson, J. E., van Asch, N., Lammertsma, E., Amon, L., Birks, H. H., Birks, H. J. B., Mortensen, M. F., Hoek, W. Z., Magyari, E., Sobrino, C. M., Seppa, H., Tinner, W., Tonkov, S., Veski, S. & Lotter, A. F., 2014:* Validation of climate model-inferred regional temperature change for lateglacial Europe. - Nature Communications, 5, 1-7.
- *Hillbrand, M., van Geel, B., Hasenfratz, A., Hadorn, P. & Haas, J. N., 2014:* Non-pollen palynomorphs show human- and livestock-induced eutrophication of Lake Nussbaumersee (Thurgau, Switzerland) since Neolithic times (3840 bc). - The Holocene, 24, 559-568.
- *Holzhauser, H., 1995:* Gletscherschwankungen innerhalb der letzten 3200 Jahre am Beispiel des grossen Aletsch- und des Gornergletschers. - In: «Gletscher im ständigen Wandel. Jubiläums-Symposium der Schweiz». Gletscherkommission 1993 in Verbier (VS), Zürich, 101-122.
- *Innes, J., Blackford, J. & Simmons, I., 2010:* Woodland disturbance and possible land-use regimes during the Late Mesolithic in the English uplands: pollen, charcoal and non-pollen palynomorph evidence from Bluewath Beck, North York Moors, UK. - Vegetation History and Archaeobotany, 19, 439-452.
- *Jacomet, S. & Schibler, J., 2017:* Landwirtschaft und Umwelt im Neolithikum. - In: «Archäologie in der Schweiz. Lebensweisen in der Steinzeit», Röder, B., Bolliger Schreyer, S. & Schreyer, S. (Hrsg.), 117-123 - Hier und Jetzt Verlag, Baden.
- *Kühn, M., & Wick, L., 2010:* Pflanzenreste in Koprolithen von Schafen und Ziegen: Was frassen die kleinen Wiederkäuer von Pfäffikon-Burg? - In: «Die horgenzeitliche Siedlung Pfäffikon-Burg», Eberli, U. (Hrsg.), 256-261 - Monographien der Kantonsarchäologie Zürich, 40, Zürich und Egg.
- *Lang, G., Ammann, B., Behre, K.-E. & Tinner, W., 2023 (Hrsg.):* Quaternary vegetation dynamics of Europe - Haupt Verlag, Bern, 688 pp.
- *Lauber, K., Wagner, G. & Gygax, A., 2018:* Flora Helvetica. - 6. Ausgabe, Haupt Verlag, Bern, 1686 pp.
- *Leuschner, R. M., 1978:* Registrierte Luftpollen von Ambrosia L. als Hinweis auf ein Vorkommen dieser Adventivpflanzen. - Bauhinia, 6(2), 265-271.
- *Moore, P. D., Webb, J. A. & Collinson, M. E., 1991:* Pollen analysis, 2nd Edition. - Blackwell, Oxford, 216 pp.

- *Muigg, B. & Tegel, W., 2022:* Umweltkrisen und der Untergang des Römischen Reiches. In: «Der Untergang des Römischen Reiches», Henrich, P. (Hrsg.), Schriftenreihe des Rheinischen Landesmuseums Trier, 44, 262-269. - wbg Theiss, Darmstadt.
- *Nielsen, E., 2013:* Response of the Lateglacial fauna to climatic change. - Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 391, 99-110.
- *Pfaffhauser, P., 2009:* Die Entstehung und Entwicklung des Forstdienstes. In: Der Forstdienst im Kanton Thurgau. Festschrift 100 Jahre Thurgauer Försterverband. - Forstamt Thurgau, Frauenfeld, 5-86.
- *Pfister, C. & Wanner, H., 2021:* Klima und Gesellschaft in Europa. Die letzten tausend Jahre. - Haupt Verlag, Bern, 423 pp.
- *Rast-Eicher, A., & Dietrich, A., 2015:* Neolithische und bronzezeitliche Gewebe und Geflechte, die Funde aus den Seeufersiedlungen im Kanton Zürich. - Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 46, Zürich und Egg, 289 pp.
- *Rey, F., Gobet, E., van Leeuwen, J. F. N., Gilli, A., van Raden, U. J., Hafner, A., Wey, O., Rhiner, J., Schmocker, D., Zünd, J. & Tinner, W., 2017:* Vegetational and agricultural dynamics at Burgäschisee (Swiss Plateau) recorded for 18,700 years by multi-proxy evidence from partly varved sediments. - Vegetation History and Archaeobotany, 26, 571-586.
- *Rey, F., Gobet, E., Schwörer, C., Wey, O., Hafner, A. & Tinner, W., 2019:* Causes and mechanisms of synchronous succession trajectories in primeval Central European mixed Fagus sylvatica forests. - Journal of Ecology, 107, 1392-1408.
- *Rey, F., Gobet, E., Schwörer, C., Hafner, A., Szidat, S. & Tinner, W., 2020:* Climate impacts on vegetation and fire dynamics since the last deglaciation at Moossee (Switzerland). - Climate of the Past, 16, 1347-1367.
- *Rösch, M., 1985:* Nussbaumer Seen - Spät- und postglaziale Umweltveränderungen einer Seengruppe im östlichen Schweizer Mittelland. - In: «Swiss lake and mire environments during the last 15000 years», Lang, G. (Hrsg.), 337-379 - Dissertationes Botanicae 87.
- *Rösch, M., 2000:* Anthropogener Landschaftswandel in Mitteleuropa während des Neolithikums. Beobachtungen und Überlegungen zu Verlauf und möglichen Ursachen. - Germania, 78(2), 293-318.
- *Rösch, M., 2005:* Spätneolithische und bronzezeitliche Landnutzung am westlichen Bodensee - Versuch einer Annäherung anhand archäobotanischer und experimenteller Daten. - In: «WES'04 Wetland economies and societies. Proceedings of the international conference in Zurich, 10-13 March 2004.», Della Casa, Ph. & Trachsel, M. (Hrsg.), 105-120 - Collectio Archæologica, 3, Chronos, Zürich.
- *Rösener, W., 2012:* Krise des Spätmittelalters in neuer Perspektive. - VSWG: Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, 99(2), 189-208.
- *Roth-Rubi, K., 1986:* Die Villa von Stutheien/Hüttwilen TG. Ein Gutshof der mittleren Kaiserzeit. - Antiqua 14, Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte, Basel, 152 pp.
- *Ruault, F., 2021:* Baummord, die staatlich organisierten Schweizer Obstbaum-Fällaktionen 1950-1975. - Historischer Verein Thurgau, Frauenfeld, pp 160.
- *Salathé, A., Hasenfratz, A., Brem, H., Steiner, H., Trösch, E. & Rothenbühler, V., 2017:* Thurgau. - In: «Historisches Lexikon der Schweiz (HLS)», Version vom

22.05.2017. https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/007393/2017-05-22/, aufgerufen am 21.1.2023.

- *Scherer, S., Höpfer, B., Deckers, K., Fischer, E., Fuchs, M., Kandeler, E., Lechterbeck, J., Lehndorff, E., Lomax, J., Marhan, S., Marinova, E., Meister, J., Poll, C., Rahimova, H., Rösch, M., Wroth, K., Zastrow, J., Knopf, T., Scholten, T. & Kühn, P., 2021:* Middle Bronze Age land use practices in the northwestern Alpine foreland – a multi-proxy study of colluvial deposits, archaeological features and peat bogs. – Soil, 7, 269–304.
- *Schilperoord, P., 2014:* Kulturpflanzen in der Schweiz – Mais. – Alvaneu. www.doi.org/10.22014/978-3-9524176-4-5.1.
- *Sigg, O., 1981:* Spätmittelalterliche «Agrarkrise». Aspekte der Zürcher Geschichte im Spannungsfeld von Sempacher Krieg und Altem Zürichkrieg. – Schweizerische Zeitschrift für Geschichte, 31(2), 121–143.
- *Szal, M., Kupryjanowicz, M. & Wyczółkowski, M., 2015:* Anthropogenic transformation of the vegetation in the immediate vicinity of the settlement complex at Poganowo (Mrągowo Lakeland, NE Poland). – Studia Quaternaria, 32(1), 19–29.
- *Tiefenbacher, E., 2020:* Wald und Waldbewirtschaftung im Mittelthurgau. Teil 1: Waldnutzung bis ins 19. Jahrhundert. – Blätter aus dem Thurgauer Wald, 27(1), 18–20.
- *Tinner, W. & Lotter, A. F., 2001:* Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka – Geology, 29, 551–554.
- *von Grafenstein, U., Erlenkeuser, H., Brauer, A., Jouzel, L. & Johnsen, S. J., 1999:* A mid-European decadal isotope-climate record from 15,500 to 5000 years B.P. – Science, 284, 1654–1657.
- *Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M., Ritz, S. P. & Jetel, M., 2011:* Structure and origin of Holocene cold events. – Quaternary Science Reviews, 30, 3109–3123.
- *Wick, L., 2015:* Das Hinterland von Augusta Raurica: paläoökologische Untersuchungen zur Vegetation und Landnutzung von der Eisenzeit bis zum Mittelalter. – Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst, 36, 209–215.