

Zeitschrift:	Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft
Herausgeber:	Thurgauische Naturforschende Gesellschaft
Band:	72 (2024)
Artikel:	Umweltveränderungen im Thurgau während der vergangenen 17'000 Jahre : Synthese und Diskussion der Projektresultate
Autor:	Heiri, Oliver / Leuzinger, Urs / Wick, Lucia
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1062285

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: 23.12.2025

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

3. Umweltveränderungen im Thurgau während der vergangenen 17'000 Jahre: Synthese und Diskussion der Projekt-Resultate

Oliver Heiri, Urs Leuzinger, Lucia Wick, Hansjörg Brem, Simona Breu, Colin Courtney-Mustaphi, Ieva Grudzinska, Pierre Lapellegerie, Fabian Rey, Nathalie Dubois, Zoe Moser & Sönke Szidat

3.1 Einleitung

Es war von Projektbeginn an klar, dass paläoökologische, geochemische und umweltgeschichtliche Analysen im Rahmen des KUMIT-Projekts auf einem technisch hohen Niveau durchgeführt, den international gültigen, wissenschaftlichen Ansprüchen genügen und daher auch detailliert präsentiert werden sollen. Gleichzeitig hat das Projekt das Ziel, die Forschungsresultate nicht nur Fachspezialistinnen und Fachspezialisten zugänglich zu machen, sondern auch der interessierten Öffentlichkeit, Lehrpersonen, Forscherinnen und Forschern aus verwandten Fachbereichen (z. B. Geschichte, Archäologie, Geografie und Ökologie) sowie anderen möglichen Nutzern wie beispielsweise Regierungs- und Amtsstellen. Es wurde daher beschlossen, in diesem Band die Synthese und Diskussion der Projektergebnisse den einzelnen, spezialisierten Fachkapiteln voranzustellen. Dies sollte es der interessierten Leserschaft erlauben, in diesem Synthesekapitel schnell und unkompliziert eine Übersicht über die Hauptresultate und Erkenntnisse des Projekts zu erhalten. Gleichzeitig können Fachleute sowie an weiteren Informationen interessierte Leserinnen und Leser die detaillierten Beschreibungen der Methoden und Resultate zusammen mit weiterführenden Diskussionen in den nachfolgenden Fachkapiteln 4–7 finden. Diese in der Fachliteratur etwas ungebräuchliche Struktur entspricht hoffentlich einem sinnvollen Kompromiss zwischen Zugänglichkeit und wissenschaftlichen Ansprüchen, der allen zugutekommt.

27

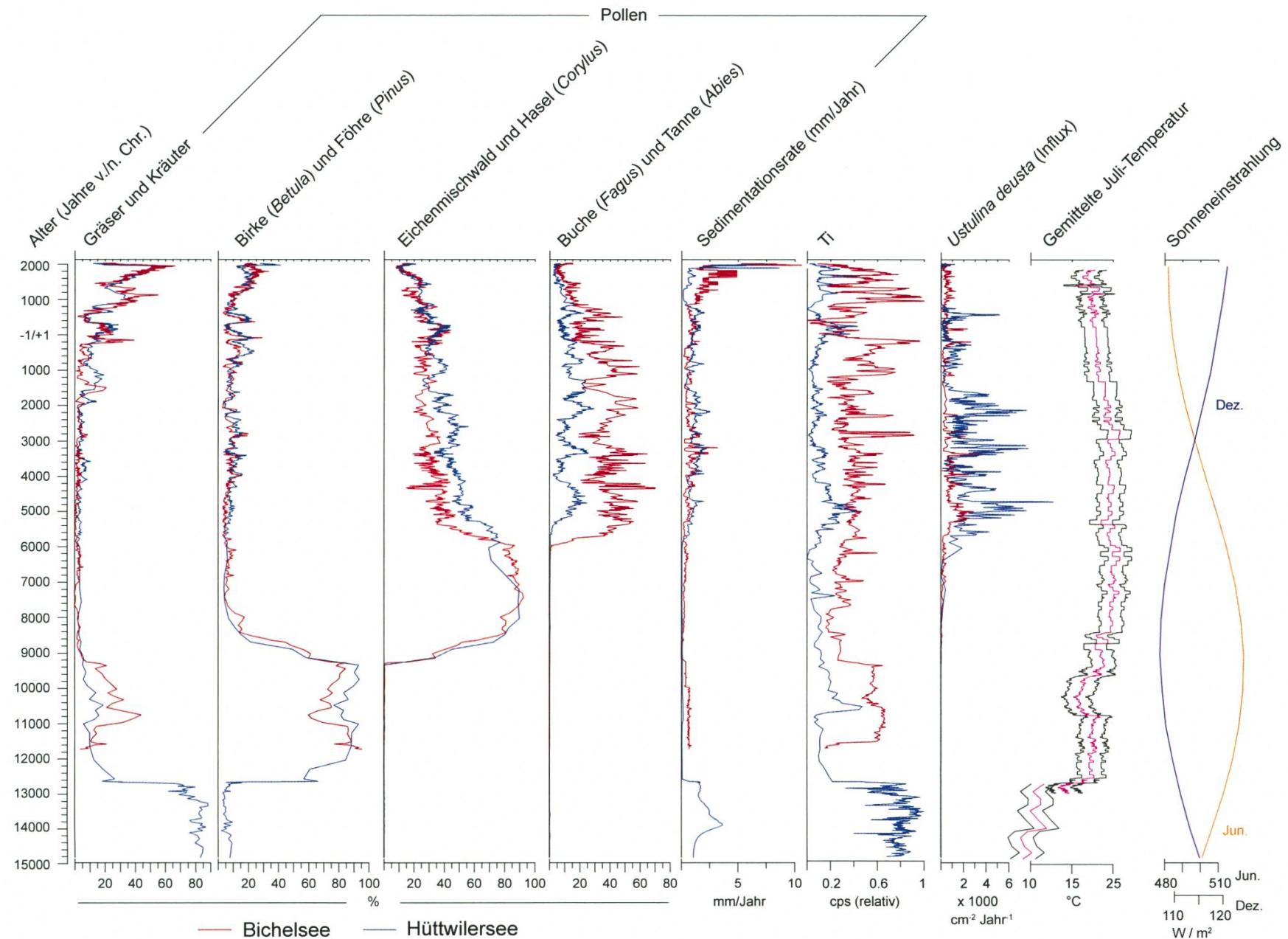
Die interdisziplinären Untersuchungen des KUMIT-Projekts an den Bohrkernen aus dem Bichelsee und dem Hüttwilersee lieferten zahlreiche neue Erkenntnisse, die detailliert in den Fachkapiteln 4–7 beschrieben werden. Die Sedimentabfolgen gehen an beiden Seen bis ans Ende der letzten Eiszeit zurück, sodass Umweltveränderungen und der menschliche Einfluss auf Vegetation und aquatische Ökosysteme in den letzten fast 17'000 bzw. 14'000 Jahren nahezu lückenlos – Hinweise auf grössere zeitliche Lücken (Hiaten) sind keine erkennbar – rekonstruiert werden konnten. Die Proben wurden, verglichen mit bisher bestehenden umweltgeschichtlichen Studien an Seesedimenten, zeitlich sehr hochaufgelöst analysiert. Dazu kommt eine sehr gute chronologische Zuordnung anhand von 201 Radiokarbonatierungen (*Heiri et al. in diesem Band*). Im Hüttwilersee konnten auch Tuffreste der Laacher See Tephra ($13'006 \pm 9$ Jahre vor heute) nachgewiesen und die obersten Sedimentabschnitte in beiden Seen anhand von ^{210}Pb - und ^{137}Cs -Messungen verlässlich datiert werden.

Die vorgelegten Resultate gehören zu den derzeit detailliertesten paläoökologischen Untersuchungen des schweizerischen Mittellandes. In der folgenden Synthese werden die Resultate der nachfolgenden Kapitel unter den Aspekten der terrestrischen und aquatischen Umweltgeschichte sowie der Verknüpfung mit archäologischen und historischen Ereignissen zusammengefasst und besprochen. Die in den Diagrammen vorgelegten und in den Fachkapiteln noch detaillierter präsentierten Daten bilden dabei das naturwissenschaftliche Grundgerüst. Oft gelang eine paläoökologische und (prä-)historische Interpretation und Einordnung dieser naturwissenschaftlichen Daten. Andere Resultate sind neu und unerwartet und sie lassen sich nicht leicht im bestehenden paläoökologischen und archäologischen Kontext interpretieren. Solche Daten laden zu vertiefteren Forschungen, Neuformulierung von Forschungsfragen oder in bestimmten Situationen auch zu Neuinterpretationen von Aspekten der Umweltgeschichte des Kantons Thurgau ein.

3.2 Terrestrische Umweltgeschichte

Die paläoökologischen und v. a. die pollenanalytischen (palynologischen) Analysen am Hüttwilersee und Bichelsee zeigen die langfristige natürliche Vegetationsentwicklung an den zwei Seen (*Wick et al. in diesem Band*). Diese war besonders durch den Übergang von Tundra zu bewaldeter Vegetation am Ende der letzten Eiszeit und danach durch die Einwanderung und Ausbreitung der wichtigsten Baumarten in den Wäldern um die Seen geprägt. Gleichzeitig erlauben die Resultate aber auch eine Interpretation von kurzfristigeren Veränderungen wie z. B. Phasen der Landschaftsöffnung und des zunehmenden menschlichen Einflusses auf die Vegetation und zeigen die Erholung und Schliessung der Vegetation nach solchen Störungen. In den Pollen- und Pflanzenmakrorestprofilen des Hüttwilersees zeigt sich klar die Tundra-vegetation, die auch gemäss weiteren untersuchten Pollenprofilen bis ca. 14'700 Jahre vor heute im nördlichen Alpenvorland vorherrschte (*Ammann et al. 2013, Rey et al. 2017, 2020*). Relativ hohe Häufigkeiten der Sporen von koprophilen (dungliebenden) Pilzen wurden ebenfalls bereits an verschiedenen Standorten für diese Zeit beschrieben. Das Vorkommen dieser Sporen am Hüttwilersee weist darauf hin, dass auch im Kanton Thurgau die Tundra-Landschaft durch verschiedene Grossräger wie z. B. Mammuts, Wollnashörner oder Rentiere besiedelt war. Hohe Sedimentationsraten und hohe Werte von Titan in den Sedimenten (*Abbildung 3-1*) zeigen, dass die offene Tundra-Vegetation und die wohl nicht vollständig geschlossene Vegeta-

Abbildung 3-1: Veränderungen der Pollen-Prozentwerte von Gräsern und Kräutern und von wichtigen Baumgruppen am Bichelsee (rot) und am Hüttwilersee (blau), im Vergleich mit den Sedimentationsraten, den relativen Titankonzentrationen und den Influxwerten von Sporen des Brandkrustenpilzes Ustulina deusta (Daten aus Heiri et al. in diesem Band und Wick et al. in diesem Band). Die Kurven werden verglichen mit anhand von Chironomiden rekonstruierten Sommertemperaturen für den Alpenraum und dem Verlauf der Sommer- und Winterinsolationswerte auf dem 45. nördlichen Breitengrad. Gezeigt werden Pollenwerte von Gräsern und Kräutern, von Charakterarten der spätglazialen borealen Wälder (Birke, Föhre), von charakteristischen Pollentypen der frühholozänen Eichenmischwälder (Eiche, Ulme, Linde, Esche, Ahorn, Hasel) und der schattenliebenden Arten Rotbuche und Weisstanne. Titanwerte aus den XRF-Analysen wurden für jeden See linear von 0–1 skaliert. Rekonstruierte Temperaturen im oberen Abschnitt bis 13'000 v. Chr. entsprechen gemittelten Werten mehrerer Lokalitäten im Alpenraum (Heiri et al. 2015) und von 15'000 bis 13'000 v. Chr. der Rekonstruktion vom Lago di Origlio, Tessin (Samartin et al. 2012), korrigiert auf die Höhe des Schweizer Mittellandes (Rey et al. 2020). Sonneneinstrahlungswerte entsprechen der 1978 solution in Berger & Loutre (1991).

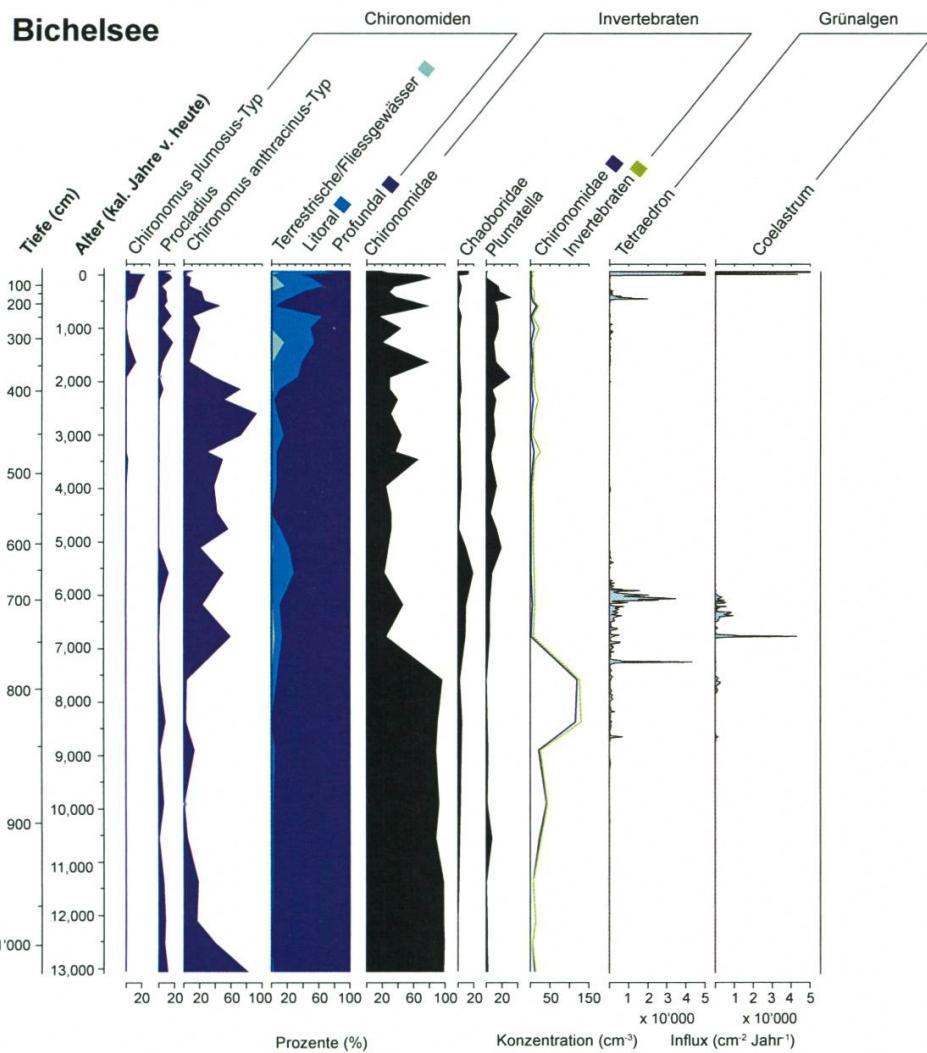


tionsdecke zu einem starken Eintrag von Sedimenten aus dem Einzugsgebiet in den See führten. Erste vereinzelte Bäume und Baumgruppen sind anhand der Zunahme der Baumbirke (*Betula*) ab ca. 15'300 Jahre vor heute in der Landschaft zu vermuten. Die Wiederbewaldung des Seebachtals folgte ca. 14'700–14'600 Jahre vor heute mit einer ausgeprägt kurzen, nur wenige Jahrzehnte andauernden Phase, in welcher Wacholder (*Juniperus*) dominierte, auf welche fast gleichzeitig die Ausbreitung von Baumbirken und etwas später (ca. 14'300 Jahre vor heute) auch der Waldföhre (*Pinus sylvestris*) folgte. Zum Zeitpunkt dieser Wiederbewaldung durch boreale Baumarten (Abbildung 3-1) verschwinden auch verschiedene kälteliebende Arten der Zuckmücken (Chironomiden) aus dem Hüttwilersee (z. B. *Protanypus*, *Paracladius*, *Micropsectra radialis*-Typ; Lapellegerie et al. in diesem Band; Abbildung 3-2), was gut mit der für diese Periode beschriebenen Erwärmung des Klimas um ca. 4 °C (Sommertemperatur; Heiri et al. 2015) übereinstimmt. Die Wiederbewaldung führte zu einem markanten Rückgang der Erosion und des Sedimenteneintrags, was durch stark abnehmende Sedimentationsraten und Erosionsindikatoren (z. B. Titan, Silicium) im Sediment belegt ist. Boreale Wälder, in unterschiedlicher Ausprägung durch Baumbirken und Waldföhren geprägt, dominierten in den folgenden Jahrtausenden. Die frühesten verfügbaren paläobotanischen Daten aus dem Bichelsee weisen ebenfalls auf birken- und föhrendominierte Wälder im Spätglazial hin, allerdings mit mehr Wacholder und Sanddorn (*Hippophaë*) und Zwergsträuchern wie Meerträubchen (*Ephedra*), was für etwas offenere Bedingungen als am Hüttwilersee spricht. Diese Interpretation einer offeneren Landschaft wird auch durch höhere spätglaziale Sedimentationsraten als am Hüttwilersee unterstützt (Abbildung 3-1). Zudem belegen die hohen Werte von Titan und Silicium in den Sedimenten, dass am Bichelsee die erhöhte Sedimentation im Spätglazial v. a. durch den Eintrag von anorganischem Sediment verursacht war.

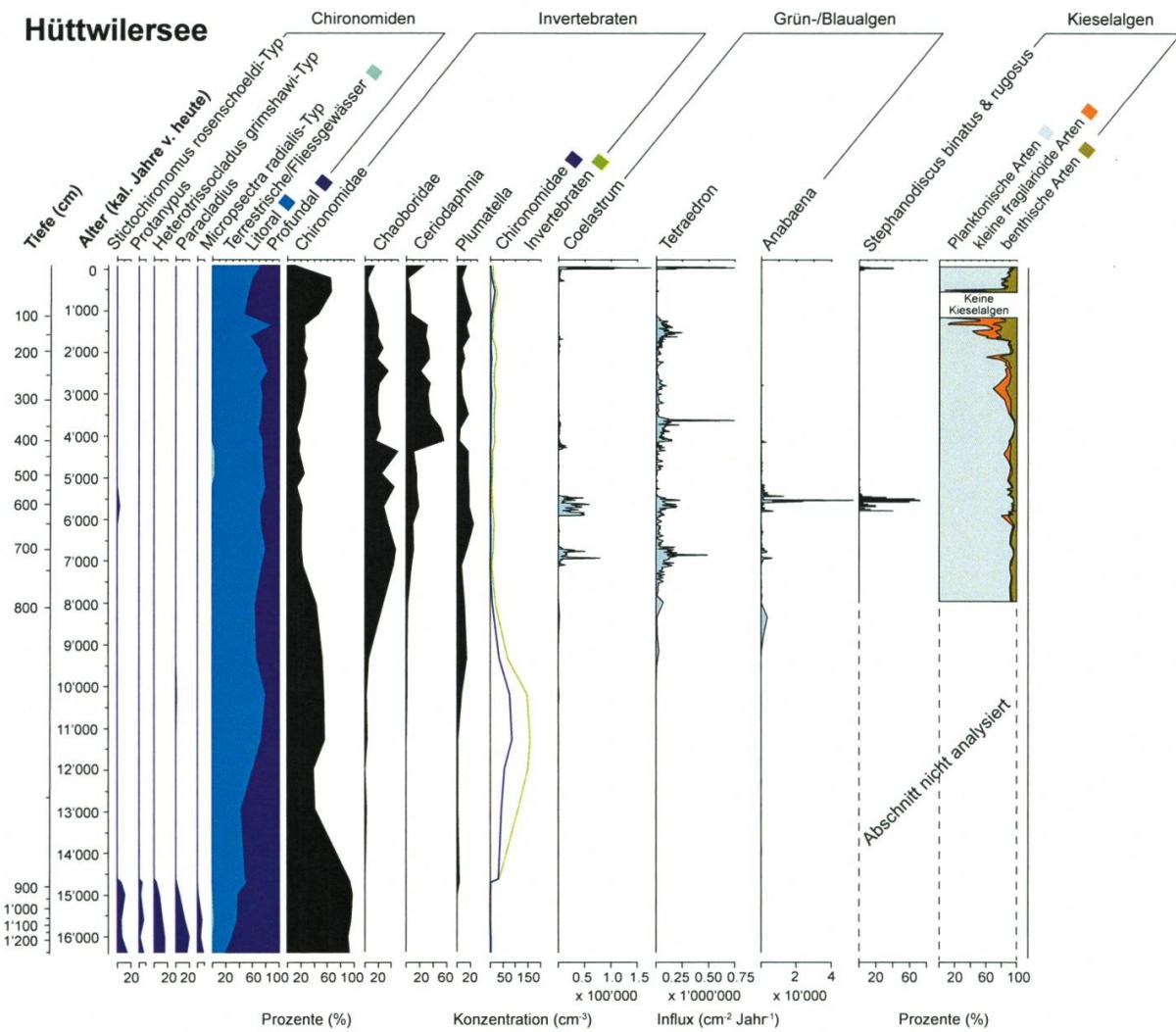
Die tausendjährige Kälte- und Trockenphase während der Jüngeren Dryaszeit (vor ca. 12'650–11'700 Jahren) beeinflusste die Vegetation an beiden Standorten. Höhere Pollenwerte von Gräsern (Poaceae, Cyperaceae), Tundra- und Steppenkräutern und Wacholder zeigen ein erneutes Öffnen der Vegetation. Mit der Klimaerwärmung zu Beginn des Holozäns vor ca. 11'700 Jahren verändert sich die Vegetation an beiden Seen. Am Hüttwilersee ist die erste Reaktion der Vegetation charakterisiert durch den Rückgang einiger wichtiger Tundra- und Steppenzeiger sowie von weiteren Pflanzenarten, welche typisch für offene Vegetation sind, wie z. B. Beifuss (*Artemisia*), Chenopodiaceae und *Juniperus*. Einige Hundert Jahre später folgt die Ausbreitung von wärmeliebenden Baumarten wie Hasel (*Corylus*) und Ulme (*Ulmus*), kurz danach auch Eiche (*Quercus*) und Linde (*Tilia*) (Abbildung 3-1). Am Bichelsee

Abbildung 3-2: Vergleich der Häufigkeiten verschiedener Chironomiden- und Invertebratengruppen im Bichelsee und Hüttwilersee mit den Influxwerten von Grün- und Blaualgenresten und, für den Hüttwilersee, den Prozentwerten wichtiger Kieselalgengruppen (Daten aus Grudzinska & Heiri in diesem Band, Heiri et al. in diesem Band, Lapellegerie et al. in diesem Band und Wick et al. in diesem Band). Die Kategorien «Litoral», «Profundal» und «Terrestrische/Fliessgewässer» fassen Chironomidengruppen zusammen, die auf den Uferbereich (das Litoral) von Seen beschränkt sind, auch den Tiefenbereich (das Profundal) besiedeln können oder vor allem in Fliessgewässern und terrestrischen Habitaten zu finden sind. Schwankungen der Influxwerte von Coelastrum und Tetraedron im Bichelsee werden nur bis zu einem Wert von 50'000 cm⁻² Jahr⁻¹ gezeigt (die Höchstwerte im 20. Jahrhundert n. Chr. sind ca. 360'000 cm⁻² Jahr⁻¹ für Coelastrum und 1'600'000 cm⁻² Jahr⁻¹ für Tetraedron).

Bichelsee



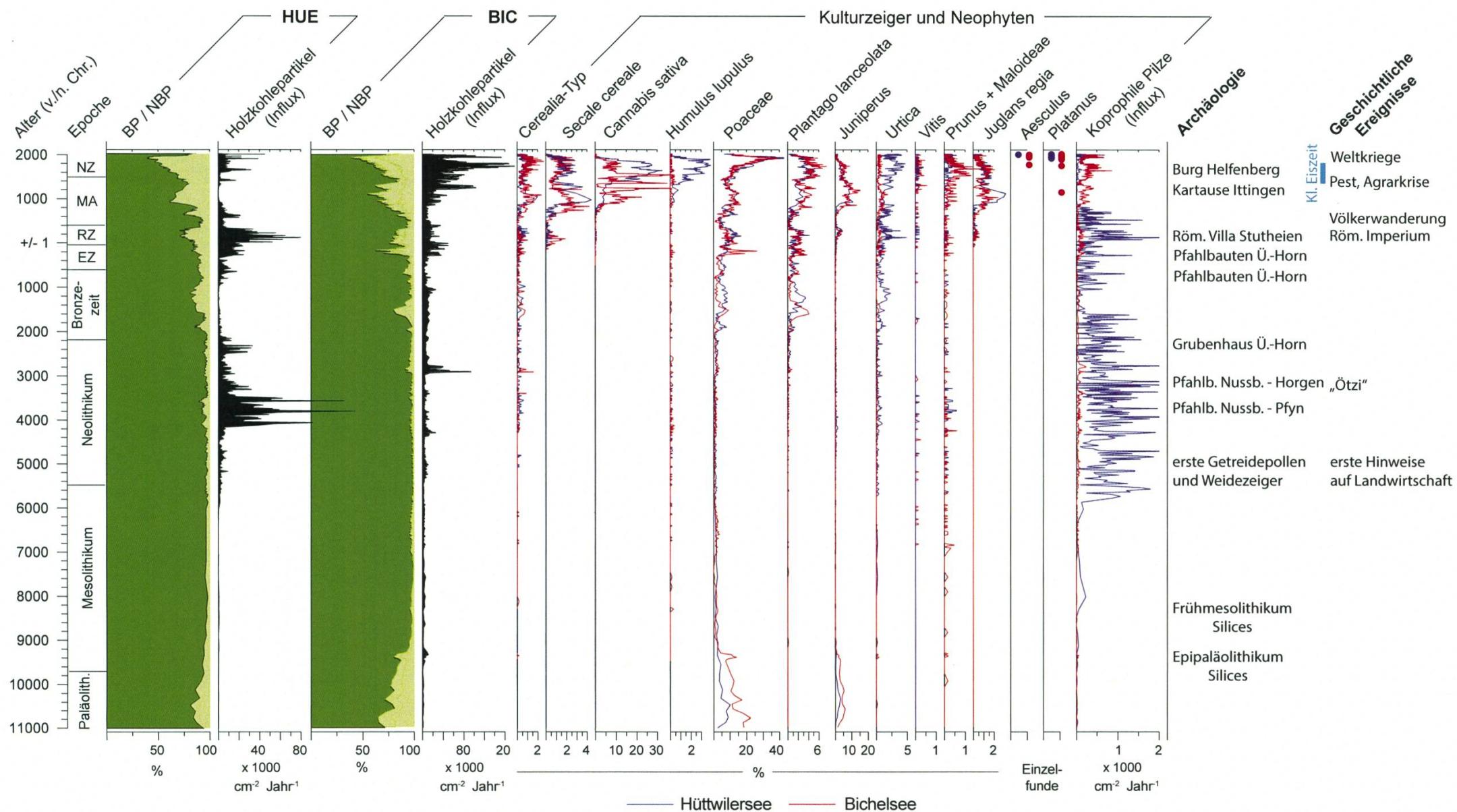
Hüttwilersee



halten sich Tundra- und Steppenzeiger interessanterweise bis zur Ausbreitung von Hasel und Ulme, welche gleichzeitig wie am Hüttwilersee stattfindet. Dies deutet darauf hin, dass sich die offenere Vegetation, welche die Jüngere Dryaszeit charakterisierte, im Tannenzapfenland wohl einige Hundert Jahre länger halten konnte als im Seebachtal und erst mit der Ausbreitung der wärmeliebenden Baumarten verdrängt wurde.

Die wärmeliebenden Bäume Hasel, Ulme, Linde, Eiche und ab ca. 10'000 Jahre vor heute auch Esche (*Fraxinus*) waren über weite Teile des Früh- und Mittelholozäns die dominierenden Baumarten im Umland der zwei Seen. Diese Etablierung von Eichenmischwäldern ist auch für weitere untersuchte Lokalitäten aus dem Schweizer Mittelland und dem nördlichen Alpenvorland bekannt (Lotter 2001, Conedera et al. 2017, Rey et al. 2017, 2020). Tiefe Werte der geochemischen Erosionszeiger Titan und Silicium in den Sedimenten, sowie die tiefsten Sedimentationsraten in den Seen, weisen auf stabile Verhältnisse und die geringsten Erosionsraten im Einzugsgebiet des Hüttwilersees und des Bichelsees während dieser Phase im Früh- und Mittelholozän hin. Vor 7700–7300 Jahren am Hüttwilersee, und etwas früher, vor 8000–7800 Jahren am Bichelsee, breitete sich die Buche (*Fagus*) auf Kosten von Hasel, Ulme und Linde im Untersuchungsgebiet aus, was zu einer weiteren Veränderung der Waldgemeinschaften und zur Etablierung von Buchen-Eichen-Mischwäldern führte. Am Bichelsee folgte die Ausbreitung der Weisstanne (*Abies*) und der Eibe (*Taxus*) vor ca. 7000 Jahren, während Pollen dieser Baumarten am Hüttwilersee nur in sehr geringen Häufigkeiten zu finden waren. Die Ausbreitung und Zunahme dieser Bäume wurde auch an vielen weiteren Standorten im Schweizer Mittelland beschrieben (Lotter 2001, Conedera et al. 2017, Rey et al. 2017, 2020) und üblicherweise als Folge der zunehmend feuchteren, ozeanischen Klimabedingungen interpretiert, unter welchen sich die Buche und die Weisstanne gegen die frühholozänen Waldbildner durchsetzen konnten (Rey et al. 2013). Ab dieser Zeit nahmen auch die Sedimentationsraten, Pilzsporen – u.a. auch von koprophilen Arten und der Störungs- und Erosionszeiger *Ustulina* und *Glomus* – sowie die Titanwerte an beiden Seen zu. Interessanterweise ist der erste Anstieg einiger dieser Indikatoren klar vor dem Beginn der Jungsteinzeit erkennbar, obwohl sich der Trend dann im Verlauf des Neolithikums deutlich verstärkt. Dies deutet darauf hin, dass die klimatischen Veränderungen, welche zu einer Ausbreitung der Buche führten, oder die Vegetationsveränderungen selbst, bereits zu einer ersten leichten Zunahme der Sedimentations- und Erosionsraten an den Seen führten, bevor diese dann durch menschliche Aktivitäten in der Jungsteinzeit massiv erhöht wurden. Vor ca. 6500–6000 Jahren zeigen sich dann klar erkennbare Zunahmen der Mikroholzkohlepartikel in den Sedimenten des Hüttwilersees und des Bichelsees, zusammen mit ersten deutlichen Anzeichen von Öffnungen der Wälder im Umland und höheren Werten von wichtigen Kulturpflanzen (z.B. Getreide/Cerealia), Kulturfolgern (z.B. Klatsch-

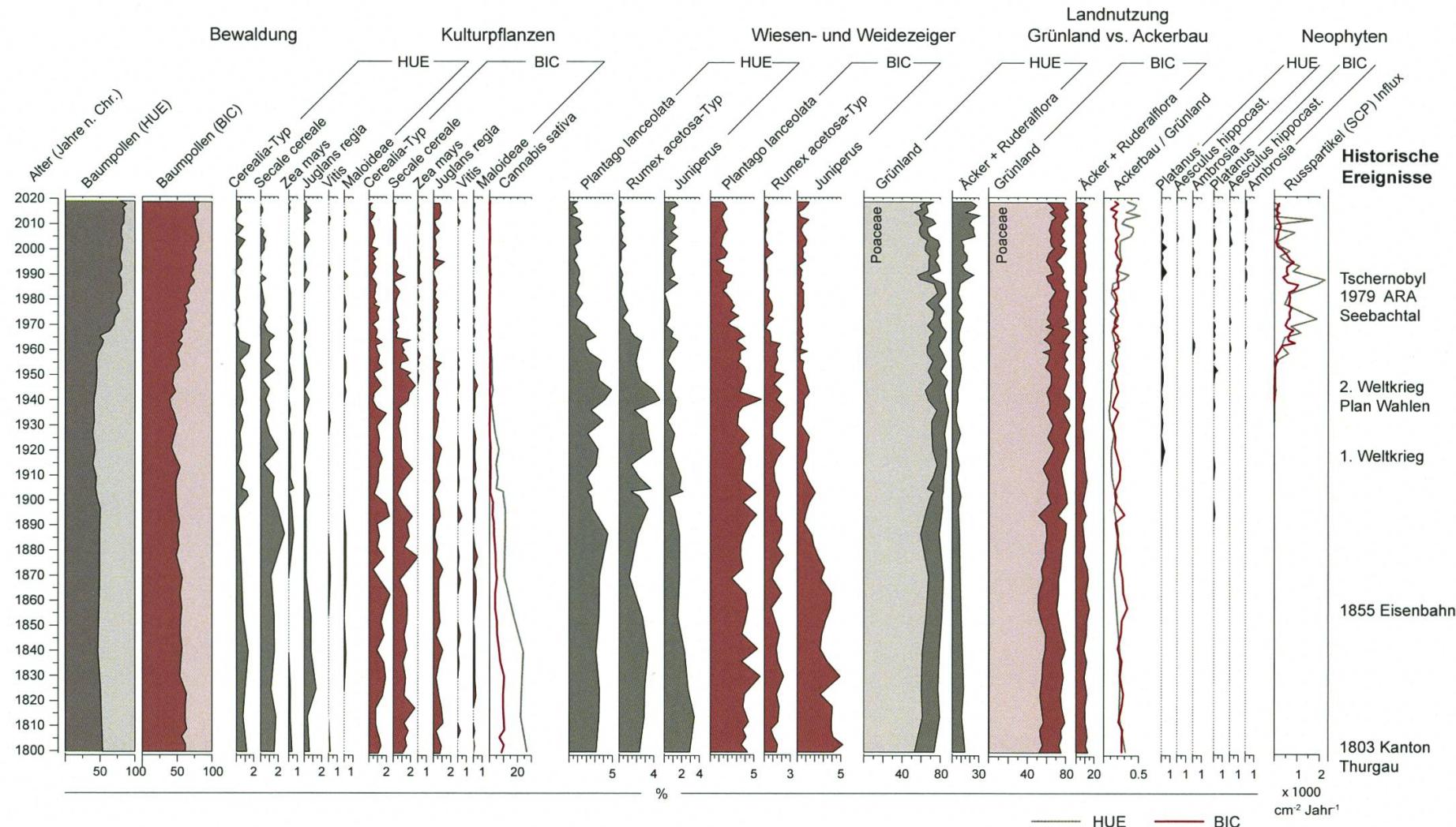
Abbildung 3-3: Veränderungen von Baumpollen, Mikroholzkohle und verschiedenen Kulturzeigern in den Pollenprofilen des Bichelsees und des Hüttwilersees (Daten aus Wick et al. in diesem Band) verglichen mit archäologisch und historisch dokumentierten Ereignissen. B/C: Bichelsee, HUE: Hüttwilersee, BP: Baumpollen, NBP: Nichtbaumpollen, NZ: Neuzeit, MA: Mittelalter, RZ: Römerzeit, EZ: Eisenzeit. Die abgekürzten archäologischen Fundstellen werden im Haupttext genauer beschrieben.



mohn/*Papaver rhoeas*), Weidezeigern (z. B. Spitzwegerich/*Plantago lanceolata*), Acker-Unkräutern (z. B. Kleiner Sauerampfer/*Rumex acetosella*) und Nährstoffzeigern (z. B. Brennessel/*Urtica*). Ab dieser Zeit steigt der menschliche Einfluss auf die Vegetation und v. a. auch auf die Walddynamik zunehmend. Phasen der Zurückdrängung der dominierenden Buche während des Neolithikums und der Bronzezeit werden begleitet oder gefolgt von Phasen der Verbuschung oder Wiederbewaldung, in denen Hasel und Birke erhöhte Werte zeigten. Die Offenheit der Landschaft nahm zu, was deutlich an den höheren Pollenwerten krautiger Pflanzen zu erkennen ist (*Abbildung 3-1*), mit bedeutenden Öffnungsphasen an beiden Seen seit dem Neolithikum und zunehmend in der Bronzezeit, Eisenzeit und Römerzeit.

Sedimentationsraten und biologische wie auch geochemische Zeiger von Erosion und Sedimenteintrag (Titan, Silicium, *Ustulina*) zeigen ab der Jungsteinzeit einen sehr dynamischen Verlauf, aber nehmen generell deutlich zu: Dies kann mit einer zunehmenden Erosion durch menschliche Aktivitäten im Einzugsgebiet des Hüttwilersees und des Bichelsees erklärt werden. Landnutzung und Förderung während der Eisen- und der Römerzeit (von ca. 700 v. Chr. bis 400 n. Chr.) führten auch zu zunehmender Wichtigkeit der Eiche im Umland der Seen. Im Spätholozän breitete sich mit der Hainbuche (*Carpinus*) auch der letzte aus heutiger Sicht wichtige Waldbaum in der Region aus, obwohl die Pollenwerte – wie auch an anderen Lokalitäten im Schweizer Mittelland – sehr tief bleiben. Im Frühmittelalter, v. a. in der Völkerwanderungszeit (ca. 350–650 n. Chr.), schloss sich die Vegetation an beiden Standorten mit einer bedeutenden Zunahme der Buche und in geringerem Umfang der Hainbuche, während die Bedeutung der Eiche wieder abnahm. Steigende Pollenwerte für die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*-Typ), Birke und Esche deuten darauf hin, dass möglicherweise auch die Seeufer wieder stärker bewaldet waren. Seit der Merowingerzeit (ca. 650 n. Chr.) und dann verstärkt ab ca. 800–900 n. Chr. wurde der Wald erneut zurückgedrängt und hohe Werte von Wacholder belegen bessere Lichtverhältnisse und Beweidung. Im Hoch- und Spätmittelalter und in der Neuzeit erreicht dann die Landschaft die höchste Offenheit mit tiefen Werten der Baumpollen (*Abbildung 3-1*) und hohen Werten von Weideindikatoren und Kräutern. Eine Zunahme von *Pinus sylvestris*-Pollen an beiden Standorten deutet darauf hin, dass die Wald föhre sich in der Umgebung der Seen zunehmend etablieren konnte. Im Gegensatz zu Pollenprofilen aus erhöhten Lagen erreicht die Fichte (*Picea abies*) allerdings nur sehr geringe Häufigkeiten in den Pollendiagrammen beider Seen, was darauf hinweist, dass diese Baumart im Umland nicht sehr häufig war. Die tiefsten Werte an Baumpollen dokumentieren eine sehr offene Vegetation in der Mitte des 20. Jahrhunderts, gefolgt von einer Zunahme der Bewaldung und sehr wahrscheinlich v. a. des Baumgürtels in unmittelbarer Ufernähe ab den 1950er- bis 1960er-Jahren. Dies stimmt mit historischen Fotografien und Luftaufnahmen sowie Zeichnungen (*Braun*

Abbildung 3-4: Landschaft und Landnutzung seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts. Veränderungen von Baumpollen sowie von Pollenprozenten wichtiger Kulturpflanzen, Wiesen- und Weidezeiger, Indikatoren für Grünland und Ackerbau und Neophyten in den Pollenprofilen des Bichelsees und des Hüttwilersees (Daten aus Wick et al. in diesem Band). Das Verhältnis zwischen Indikatoren für Grünland (ohne Poaceae) und Indikatoren für den Ackerbau sowie die Influxwerte der in den Pollenpräparaten gezählten Russpartikel (SCPs) werden ebenfalls gezeigt. B/C: Bichelsee, HUE: Hüttwilersee.



1935) der Seen überein, welche zeigen, dass das Ufer in den 1930er- bis 1940er-Jahren zu grossen Teilen baumlos war, während heute die Ufer beider Seen mit Bäumen bewachsen sind. In den jüngsten Sedimenten, ab ca. 1500–1600 n. Chr. und besonders im 20. Jahrhundert, nehmen dann die Sedimentationsraten an beiden Seen wieder zu. Dies kann durch einen stark erhöhten Sedimenteintrag (z. B. infolge landwirtschaftlicher Aktivitäten wie Pflügen) und möglichweise auch eine höhere Produktion von organischen und anorganischen Sedimentbestandteilen in den Seen infolge höherer Nährstoffwerte erklärt werden.

3.3 Aquatische Umweltgeschichte

In den Sedimenten des Bichelsees und des Hüttwilersees konnten eine Reihe von Überresten aquatischer Organismen gefunden werden, u. a. chitinhaltige Exoskelettfragmente, Überdauerungsstadien und Mundwerkzeuge von aquatischen Invertebraten, Kieselalgenfrusteln, Zysten von goldbraunen Algen (Chrysophyceae), Samen und Pollen von aquatischen Pflanzen, Mollusken, Fischreste (Knochen, Schuppen), organische Reste von Grün- und Blaualgen sowie Eihüllen von einzelnen Zooplanktern. Verschiedene dieser Überreste konnten nicht im Detail untersucht und bestimmt werden (z. B. Fischreste). Andere gehören zu Arten oder Gruppen, welche unter sehr unterschiedlichen Umweltbedingungen in Seen abgelagert werden können (z. B. die Grünalge *Botryococcus*), oder es ist nicht genug über die Ökologie der beobachteten Organismengruppen bekannt, um ihr Vorkommen in Seesedimenten verlässlich zu interpretieren (z. B. Eier verschiedener Rädertierchen/ Rotatoria). Die Überreste solcher Organismengruppen erlauben nur sehr beschränkt Aussagen über Veränderungen in den Seeökosystemen und ihrer Flora und Fauna. Andere Mikrofossilien von taxonomisch gut beschriebenen Gruppen hingegen, wie z. B. den Kieselalgen oder Chironomiden (Zuckmücken), waren zahlreich in den Sedimenten zu finden und konnten detailliert durch Spezialistinnen und Spezialisten untersucht werden (*Grudzinska & Heiri in diesem Band, Lapellegerie et al. in diesem Band*). Da für diese Organismengruppen verlässliche Angaben zu ihrer Ökologie und Verbreitung verfügbar sind, erlauben sie Einblicke in die langfristige Entwicklung des Bichelsees und des Hüttwilersees. Zusammen mit Häufigkeitsveränderungen verschiedener weniger aufwendig untersuchter Gruppen (z. B. Grünalgen, Cyanobakterien, andere aquatische Invertebratengruppen) dokumentieren die beobachteten Wechsel bei den Chironomiden und den Kieselalgen die verschiedenen Phasen der Ökosystementwicklung der beiden Seen.

Chitinhaltige Invertebratenreste wurden in beiden Seen über die gesamten untersuchten Sedimentabschnitte analysiert, wobei die Larvenreste der Chironomiden besonders genau untersucht wurden. Im Hüttwilersee reichten die ältesten geborgenen Sedimente bis fast 17'000 Jahre vor heute zurück. Für diese Zeit deutet das Vorkommen von Invertebraten, die nur in kalten Gewässern häufig sind (z. B. kälteliebende Chironomiden), auf kühle Bedingungen am Hüttwilersee. Dies passt gut mit der bekannten Klimageschichte des Schweizer Mittellandes und der rekonstruierten Vegetation am See überein, die für diese Phase (vor ca. 17'000–14'700 Jahren) auf kalte Sommer- und tiefe Jahresmitteltemperaturen (von Grafenstein et al. 2013, Heiri et al. 2015) sowie unbewaldete Tundravegetation (Wick et al. in diesem Band) am See

schliessen lassen. Der hohe Anteil von Chironomidenlarven in der Invertebratenfauna (*Abbildung 3-2*) und die generell tiefen Konzentrationen der Reste von Invertebraten und anderen aquatischen Organismen im Sediment deuten auf nährstoffarme und sauerstoffreiche Bedingungen im Tiefenwasser des Hüttwilersees hin.

Mit der Wiederbewaldung vor ca. 14'700 Jahren und dem wärmeren Klima ab der Bølling-Zeit ändern sich dann auch die Bedingungen für die aquatischen Organismen. Die Chironomiden- und Invertebratenkonzentrationen nehmen zu (*Abbildung 3-2*), was auf produktivere Bedingungen deutet, während der Anteil von litoralbewohnenden Chironomiden vor ca. 14'700 und 13'000–11'000 Jahren auf Kosten der tiefenwasserbewohnenden Gruppen zunimmt. Zusammen mit dem ersten Vorkommen von *Chaoborus* kann dies als ein erstes Anzeichen von saisonal sauerstoffarmen Bedingungen im Tiefenwasser des Hüttwilersees interpretiert werden. Das Vorkommen von *Plumatella* und der hohe Anteil von litoralbewohnenden Chironomiden in dieser Phase könnten auch durch produktivere Bedingungen und stärker strukturierte Habitate im Uferbereich des Sees gefördert worden sein. Zwischen ca. 13'000 und 10'000 Jahren vor heute nehmen die Konzentrationen von Invertebraten im Hüttwilersee weiter zu, der Anteil der Tiefenwassergruppen bei den Chironomiden allerdings nimmt ab, was mit weiter produktiveren, im Tiefenwasser aber zunehmend sauerstofflimitierten Bedingungen erklärt werden könnte. Zwischen ca. 10'000 und 8000 Jahren vor heute nehmen die Invertebraten- und Chironomidenkonzentrationen dann deutlich ab und der Anteil der Chaoboriden bei den Invertebraten steigt an. Dies lässt einen Wechsel zu stark anoxischen Bedingungen im Tiefenbereich des Hüttwilersees vermuten, zumindest saisonal während der Sommermonate. Die gleichzeitige Zunahme von Grünalgen wie *Coelastrum* oder *Tetraedron* weist auf produktivere Bedingungen für das Plankton des Sees hin. Die Entwicklung zu diesen sauerstoffärmeren, produktiveren Bedingungen über die Jahrtausende wurde möglicherweise durch die Etablierung gemässigter, laubwerfender Wälder im Umland vor ca. 11'000 Jahren gefördert. Mitverantwortlich hierfür waren wohl auch die zunehmenden Sommertemperaturen, welche im Mittelholozän dann Maximalwerte erreichten (*Abbildung 3-1*).

37

Beim Bichelsee, für den die ältesten Sedimente auf 14'000–13'000 Jahre vor heute datiert worden sind, weist bis vor ca. 7500 Jahren der recht hohe Anteil von Chironomiden in den Invertebratenproben auf sauerstoffreichere Bedingungen als im Hüttwilersee hin. Das Vorkommen einzelner Chironomidengruppen, die tiefe Sauerstoffwerte tolerieren, und ab ca. 11'000 Jahren vor heute auch von *Chaoborus*, lässt allerdings für diese Phase bereits saisonal teilweise reduzierte Sauerstoffkonzentrationen im tiefsten Bereich vermuten, obwohl die Chironomidenlarven wohl noch den grössten Teil des Seebeckens besiedeln konnten. Wie am Hüttwilersee nehmen die Konzentrationen von Invertebraten- und Chironomidenfossilien im Frühholozän zu und erreichen im Bichelsee maximale Werte bis ca. 7500 Jahre vor heute. Zunehmende Häufigkeiten von Grünalgen vor ca. 9000–8000 Jahren weisen auch für den Bichelsee auf zunehmend produktivere Bedingungen in diesem Intervall hin. Ebenfalls wie am Hüttwilersee nehmen die Invertebraten- und Chironomidenkonzentrationen nach einem Maximum wieder ab, ein Wechsel, der am Bichelsee allerdings bedeutend später (7500–7000 Jahre vor heute) stattfindet als am Hüttwiler-

see (ca. 10'000–8000 Jahre vor heute). Auch für den Bichelsee kann dieser Wechsel als Folge abnehmender Sauerstoffwerte im Tiefenwasser interpretiert werden, da er mit einer Zunahme des Anteils der Chaoboriden in den Invertebratenproben, der litoralen Chironomiden und von Chironomidengruppen, die auf sauerstoffarme Bedingungen angewiesen sind (z. B. der *Chironomus anthracinus*-Typ), zusammenfällt.

Für den Hüttwilersee sind ab ca. 8000 Jahren vor heute detaillierte Analysen von Kieselalgen (Diatomeen) verfügbar, welche auf grösstenteils oligo- bis mesotrophe Bedingungen im Seewasser hindeuten. Im Mittelholozän nehmen am Hüttwilersee auch die Reste verschiedener Algen zu, z. B. von *Coelastrum*, *Tetraedron* und *Anabaena*. Auffallende Maxima dieser Indikatoren von erhöhter Produktivität sind in bestimmten Abschnitten wie z. B. 7000–6650 Jahre und 5900–5500 Jahre vor heute ersichtlich. Für die jüngere dieser beiden Phasen zeigen die Pollendaten auffällige Zunahmen von Indikatoren, die auf erhöhte menschliche Aktivität im Einzugsgebiet weisen (z. B. Cerealia-Typ, Weidezeiger wir *Plantago*, Holzkohlepartikel). Erstaunlicherweise sind für diesen Zeitraum auch Zunahmen von Kieselalgen zu verzeichnen, die erst während der Eutrophierung des Hüttwilersees im 20. Jahrhundert wieder ähnlich hohe Abundanzen erreichen. Zusammen mit deutlichen Zunahmen der Blaulage *Anabaena* lässt dies auf eine ausgeprägte Eutrophierungsphase des Sees infolge menschlicher Aktivitäten bereits vor 6000–5500 Jahren schliessen. Sowohl im Hüttwilersee (ca. 9000–4500 Jahre vor heute) wie auch im Bichelsee (ca. 7300–5000 Jahre vor heute) sind im Mittelholozän hohe Werte von Chaoboriden, tiefe Chironomidenkonzentrationen und bedeutende Anteile von Litoralgruppen bei den Chironomiden zu beobachten. Dies alles deutet auf mindestens saisonal tiefe Sauerstoffwerte im Tiefenwasser. Hohe Abundanzen des Moostierchens *Plumatella* lassen ab dieser Zeit auch eine gut strukturierte Ufervegetation vermuten oder andere Habitate im See (z. B. Totholz), welche diese kolonienbildenden Invertebraten besiedeln konnten.

38

Für das Spätholozän zeigen die Invertebratenanalysen weiterhin deutliche Anzeichen für mindestens saisonal tiefe Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser bei der Seen. Ab der Römerzeit und dem Mittelalter sind dann wiederum einige auffallende Änderungen in den analysierten Algengruppen in den Seen erkennbar, wie z. B. eine Zunahme von Grünalgen im Bichelsee und eine Zunahme von periphytischen Kieselalgenarten im Hüttwilersee. An beiden Lokalitäten sind auch Veränderungen bei den Invertebraten erkennbar, die auf veränderliche Sauerstoffbedingungen schliessen lassen. Im Hüttwilersee weisen z. B. Schwankungen im Anteil der Tiefwasser-Chironomiden ab ca. 2000 Jahren vor heute und v. a. die Zunahme der Chironomiden in den Invertebratenproben im Mittelalter auf verbesserte Bedingungen für Chironomidenlarven im See hin. Dies ist möglicherweise eine Folge etwas erhöhter Sauerstoffkonzentrationen, zusätzlicher Habitate sowie eines verbesserten Nahrungsangebots. Auffallend ist, dass die jüngere dieser beiden Veränderungen mit einer starken Abnahme von Schwarzerlen (Pollen und Makroreste) und dem Beginn einer Zunahme von *Cannabis* (Hanf-)Pollen übereinstimmt. Dies lässt eine Abholzung der Ufervegetation vermuten, die dazu geführt haben könnte, dass der See stärker dem Wind ausgesetzt war und daher auch effizienter im Herbst, Winter

und Frühjahr durch Wind durchgemischt werden konnte. Bäume im Uferbereich reduzieren allerdings auch die Lichtverhältnisse in Ufernähe und der herbstliche Laubwurf entlang des Ufers kann zu einem bedeutenden Eintrag von organischem Material in den See führen. Das Abholzen der Bäume könnte also auch das Nahrungsangebot für Chironomiden (z. B. zugunsten von benthischen Algen anstatt abgeworfenem Laub) sowie die Sauerstoffverhältnisse im Uferbereich (z. B. durch Lichtbedingungen und Laubwurf) verändert haben. Hanf wurde im Mittelalter zur Fasergewinnung in Wasser eingelegt. Stark erhöhte Einträge von Hanfpollen in verschiedenen Sedimentprofilen zeigen, dass der Uferbereich vieler Schweizer Seen im Mittelalter für dieses Hanfrösten verwendet wurde (Rey et al. 2017). Diese Aktivität könnte die Umweltbedingungen für die Chironomiden und andere aquatische Invertebraten im Uferbereich des Hüttwilersees ebenfalls beeinflusst haben. Im Bichelsee deuten Veränderungen in den Invertebraten und Chironomiden ebenfalls auf variable Umweltverhältnisse und Schwankungen der Sauerstoffverfügbarkeit im Spätholozän, mit grösseren Veränderungen im Anteil der Chironomiden in den Invertebratenproben und in der Häufigkeit von litoralen Chironomiden. Auch Zunahmen von Chironomidengruppen, die besonders unter sauerstoffarmen Bedingungen konkurrenzstark sind, wie *Chironomus plumosus*-Typ und *Procladius*, sind in dieser Phase erkennbar.

Im Bichelsee weist eine starke Abnahme von *Plumatella* im 17.–18. Jahrhundert auf eine bedeutende Reduktion der Habitate dieser Gruppe, wie z. B. aquatische Makrophyten oder Totholz im Uferbereich. In dieser Zeit sind zudem Abnahmen verschiedener aquatischer Makrophyten (z. B. *Myriophyllum*, *Nymphaea alba*) in den Pollen- und Makrorest-Daten zu beobachten. In den obersten Sedimentabschnitten nimmt in beiden Seen der Anteil von Chironomiden in den Invertebraten wieder ab und derjenige von Chaoboriden zu, was auf eine erneute Abnahme der Sauerstoffkonzentrationen hinweist. Seit den 1940er- bis 1950er-Jahren lassen dann zunehmende Werte von Grünalgen und Veränderungen der Zusammensetzung der Kieselalgen-Vergesellschaftungen in beiden Seen auf stetig nährstoffreichere Bedingungen schliessen, welche zu einer maximalen Eutrophierung in den 1960er- bis 1980er-Jahren führte. Diese Phase wird in beiden Seen durch Höchstwerte des Eutrophierungszeigers *Stephanodiscus binatus* & *S. rugosus* in den Kieselalgenproben angezeigt. Rückgänge dieser Kieselalgengruppe ab Ende der 1970er-Jahre (Hüttwilersee) bzw. Ende der 1980er-Jahre (Bichelsee) dürften dann die Folge abnehmender Nährstoffkonzentrationen sein. Der Beginn dieser Erholung passt zeitlich gut mit dem Bau der Abwasserreinigungsanlagen in den zwei Regionen (z. B. ARA Lützelmurgtal in Aadorf 1973, ARA Seebachtal 1979) sowie weiteren, schweizweit durchgesetzten Massnahmen zur Reduktion des Nährstoffeintrags in Seen überein (z. B. Bau von Ring- und Gabelleitungen, Verbot von Phosphaten in Waschmitteln; Wehrli & Wüst 1996). Allerdings hinkt der Bichelsee in dieser Entwicklung dem Hüttwilersee offensichtlich etwas hinterher. Trotz dieser Erholungsphasen ist klar, dass beide Seeökosysteme im Vergleich mit den 1940er-/1950er-Jahren heute noch immer stark verändert sind und sich noch nicht vollständig zum Zustand vor der Nährstoffzunahme im 20. Jahrhundert zurückentwickelt haben. Dies ist z. B. anhand der veränderten Kieselalgenflora ersichtlich, da heute immer noch Arten in den Seen zu finden sind, welche erst im Verlauf der Eutrophierung im 20. Jahrhundert zugenommen haben.

Man erkennt dies aber auch anhand der Grünalgen, die in den jüngsten untersuchten Sedimentabschnitten immer noch deutlich höhere Werte aufweisen als vor der Eutrophierungsphase.

3.4 Vergleich von archäologischen und historischen Daten mit den paläoökologischen Analysen

Mit den interdisziplinär untersuchten Sedimentprofilen aus dem Bichelsee und dem Hüttwilersee liegen nun neue und hochaufgelöste Proxydaten zur Klima- und Umweltgeschichte im Kanton Thurgau vor. In den paläoökologischen Analysen lassen sich erwartungsgemäss auch anthropogene Einflüsse erkennen, die in der Regel mit archäologischen Fundstellen und historischen Quellen aus dem Seebachtal und der Region Bichelsee in Verbindung gebracht werden können. Ein wichtiger Vorteil der neuen Proxydaten ist hierbei, dass sie bedeutend höher aufgelöst analysiert und besser datiert werden konnten als frühere, vergleichbare Analysen (z. B. 129 ^{14}C -Datierungen am Hüttwilersee verglichen mit zwölf ^{14}C -Datierungen in einer früheren Studie am nebenan liegenden Nussbaumersee; *Haas & Hadorn 1998*). Einzelne Ereignisse in den Sedimentprofilen liessen sich daher oft mit einer Genauigkeit von wenigen Jahrzehnten datieren (*Heiri et al. in diesem Band*), was einen detaillierten Vergleich mit archäologischen Daten erlaubt.

Die Sedimentprofile reichen im Hüttwilersee ca. 17'000–16'000 Jahre, am Bichelsee ca. 14'000–13'000 Jahre zurück. Im Seebachtal belegen die Pollen der unteren Schichten eine offene Tundrasteppe mit Gräsern, Beifuss (*Artemisia*), Silberwurz (*Dryas*) und Sonnenröschen (*Helianthemum*). Zudem wuchsen damals Sträucher wie Weiden (*Salix*), Wacholder und Zwergbirken (*Betula nana*). Bemerkenswert sind Hinweise auf Sporen koprophiler Pilze, die indirekt Dunghaufen pleistozäner Herbivoren wie Mammut, Wollnashorn und Rentier belegen. In dieser Zeit des Magdalénien sind bisher keine archäologischen Funde in den untersuchten Regionen nachgewiesen. Die frühesten Hinweise auf Jagdlager von Wildbeutergruppen im Seebachtal datieren ins Epipaläolithikum (Jüngere Dryaszeit, vor ca. 12'700–11'700 Jahren) und ins Frühmesolithikum (Beginn Holozän, vor ca. 11'700–10'000 Jahren). Von diesen Rastplätzen auf kleinen Kuppen entlang des ehemaligen Seeufers – damals waren der Hüttwilersee und der Nussbaumersee noch zusammenhängend – liegen nur noch Überreste von bearbeiteten Steinwerkzeugen (Silices) vor, darunter auch typologisch charakteristische Mikrolithen (Geschoss spitzen). Der Einfluss dieser Wildbeuter auf das Umland war nicht bedeutend genug, um in den im Sediment analysierten Indikatoren Spuren zu hinterlassen.

Erste Hinweise auf frühe menschliche Einflüsse auf die Vegetation datieren auf ca. 5200–4500 v. Chr. Es handelt sich dabei um Zunahmen von Kulturzeigern wie Spitzwegerich (*Plantago lanceolata*), Getreide (Cerealia-Typ), erhöhte Holzkohlewerte sowie Zunahmen von koprophilen Pilzen und Grünalgen (*Abbildungen 3-2 und 3-3*). Archäologische Hinweise auf früh- und mittelneolithische Siedlungen sind im Thur gau bislang aber sehr selten. Es liegen lediglich drei charakteristische Steinbeile – sog. Schuhleistenkeile – vor, die von einer früh- bis mittelneolithischen Begehung zeugen. Die paläoökologischen Untersuchungen zeigen nun, dass durchaus mit einer

sehr frühen Agrarnutzung in der Umgebung der beiden Kleinseen zu rechnen ist. Sinkende Prozentwerte der Baumpollen und Veränderungen weiterer Indikatoren in der Zeit 3850–3550 v. Chr. sprechen für eine intensivierte Landnutzung durch neolithische Siedlergruppen am Hüttwilersee. Die nachgewiesenen Pollen von Getreide, Lein (*Linum usitatissimum*), Spitzwegerich, die Haselhöchstwerte sowie die teilweise stark ansteigenden Holzkohlewerte passen zu diesem Befund (*Wick et al. in diesem Band*). Auch die Zunahme von Blau- und Grünalgen sowie der Kieselalgengruppe *Stephanodiscus binatus* & *S. rugosus* sind Hinweise auf eine verstärkte Eutrophierung des Hüttwilersees während des Jung- und Spätneolithikums. Diese Resultate lassen sich hervorragend mit der archäologisch nachgewiesenen pfynzeitlichen Pfahlbausiedlung Hüttwilen-Nussbaumersee Inseli, die sich 2,2 km nordwestlich der Bohrsthelle im Hüttwilersee befindet, korrelieren. Die dendrochronologisch ermittelten Schlagphasen dieser Fundstelle datieren um 3840, 3732 und 3695 v. Chr. Die paläoökologischen Auswertungen von Bohrkernen aus dem Nussbaumersee (*Haas & Haldorn 1998, Hillbrand et al. 2014*) bestätigen ebenfalls, dass diese Pfahlbausiedlung mit einem hohen menschlichen Einfluss auf die damaligen Ökosysteme in der Umgebung einherging. Zudem sind Siedlungsaktivitäten der Horgener und Schnurkeramik Kultur archäologisch nachgewiesen (*Hasenfratz 1998a*). Dabei sei v. a. auf den Befund eines schnurkeramischen Grubenhauses auf der Halbinsel Horn im Nussbaumersee verwiesen (*Hasenfratz 1998b*).

Bemerkenswert sind Anstiege von neolithischen Kulturzeigern im Bohrkern aus dem Bichelsee (*Wick et al. in diesem Band; Abbildung 3-3*). Besonders der Fund eines Leinsamens, stark erhöhte Werte von Getreidepollen und Holzkohlen sowie ein Buchentiefstand während des 29./28. Jahrhunderts v. Chr. sprechen dafür, dass sich damals am Ufer des Bichelsees eine horgenzeitliche Siedlung befunden haben muss. Archäologische Sondierungen der Kantonsarchäologie Zürich im Jahr 2020 lieferten im Westen allerdings keinerlei Funde oder Befunde. Auch auf thurgauischem Gebiet liegen bisher keinerlei Hinweise auf eine Pfahlbaufundstelle vor. Die paläoökologischen Daten sind jedoch eindeutig. Das bisher als wenig günstig erachtete Gelände um den Bichelsee auf einer Höhe von 590 m ü.M. muss während der Horgener Kultur besiedelt gewesen sein.

Während der Frühbronzezeit um 1900 v. Chr. sind im Pollendiagramm des Hüttwilersees erstmals stärkere Waldöffnungen erkennbar. Die Kräuterprozente (v. a. Poaceae) und Spitzwegerichpollen sind stark erhöht. Diese Öffnung der Landschaft setzt sich nach einer kurzen Erholungspause von der späten Frühbronzezeit bis ans Ende der Spätbronzezeit fort (1600–800 v. Chr.). Interessanterweise sind die Holzkohlewerte in der Bronzezeit sehr gering. Vermutlich fanden die Rodungen nicht mit Hilfe von Feuer, sondern vorwiegend mit Werkzeugen statt. Archäologisch ist im Bereich der Halbinsel Horn eine mittelbronzezeitliche Siedlung mit Schlagphasen von 1555–1538 v. Chr. nachgewiesen (*Hasenfratz 1998c*). Eine anhand typologisch daterter Keramik etwas jüngere Siedlung lag am Westufer des Nussbaumersees im Bereich der Flur «Im Moos». Am besten untersucht ist die spätbronzezeitliche Dorfanlage Ürschhausen-Horn auf der Halbinsel (*Gollnisch-Moos 1999, Nagy 1999*), die dendrochronologisch in die Zeit von 850–780 v. Chr. datiert. Damals bestand die Anlage aus 100 bis 150 Gebäuden und es ist mit einem bedeutenden Einfluss von

menschlichen Aktivitäten auf die unmittelbare Umgebung zu rechnen. Interessanterweise hat diese Siedlungstätigkeit nur teilweise Spuren in den paläökologischen Daten der 2,2 km entfernten Bohrstelle hinterlassen. Zwar sind die Rotbuchenwerte sehr tief, was auf eine maximale Zurückdrängung des Waldes hindeutet. Die erhöhten Haselprozente sprechen aber für eine stetige Verbuschung bzw. Wiederbewaldung des umliegenden Territoriums zur Zeit der spätbronzezeitlichen Siedlung auf der Halbinsel im Nussbaumersee. Möglicherweise wurden in dieser Phase unterschiedliche Flächen im Umland des Seebachtals verschieden stark und variabel genutzt (z. B. Waldweide *versus* Ackerbau), was diese Beobachtungen erklären könnte. Archäologisch konnte gegen Ende der Besiedlung eine Vernässung des Standorts bzw. ein Seespiegelanstieg dokumentiert werden.

Am Bichelsee fehlen bisher archäologische Fundstellen aus der Bronzezeit. Die paläökologischen Untersuchungen belegen dort aber in dieser Epoche – besonders im 16. bis 15. Jahrhundert v. Chr. – eine verstärkte Entwaldung, Ackerbau und intensivierte Viehwirtschaft. Somit ist auch für diese Periode mit einer noch nicht entdeckten mittelbronzezeitlichen Siedlung im Umfeld des Sees zu rechnen.

Interessant sind die Hinweise auf lang anhaltende Landnutzungsphasen in der Eisenzeit, und zwar an beiden Seen. Am Nussbaumersee sind hallstattzeitliche Siedlungsreste um 663–638 v. Chr. nachgewiesen (*Gollnisch-Moos 1999*). Ansonsten sind archäologische Spuren aus der Älteren und Jüngeren Eisenzeit im Kanton Thurgau nach wie vor sehr selten. Die Kulturzeiger in den Diagrammen belegen nun offensichtlich eine dichte und intensive Besiedlung, die sich bisher archäologisch nicht oder nur schwach belegen lässt. Die in den letzten Jahren verstärkte Prospektion mit Metalldetektoren hat beispielsweise in Wilen bei Wil und auf dem benachbarten St. Galler Kantonsgebiet mehrere keltische Münzen erbracht, die ebenfalls eine Besiedlung der Region während der Spätlatènezeit nahelegen.

42

Wie zu erwarten war, belegen hohe Werte von Zeigern menschlicher Aktivitäten eine bedeutende Beeinflussung des Umlands beider Seen während der Römerzeit. Sehr hohe Holzkohleanteile zeigen, dass die Landschaft mit Brandrodungen offen gehalten wurde. Es liegen starke Prozentwerte von Roggen (*Secale*) vor und Pollen von Walnuss (*Juglans*) sowie Edelkastanie (*Castanea*) sind erstmals nachgewiesen. Letztere sind als Fernflug über den Alpenhauptkamm (Graubünden/Tessin) zu interpretieren. Bemerkenswert sind die erhöhten Prozentwerte der Eiche. Diese Baumart wurde seit der Spätlatènezeit und während der Römerzeit bewusst gefördert. Hier wäre eine Waldweidenutzung (Eichelmaist) denkbar. Die ansteigenden Werte von Wacholder und von koprophilen Pilzen würden diese Theorie unterstützen. Erstmals ist auch Hanf nachgewiesen, der wahrscheinlich v. a. als Faserpflanze angebaut wurde. Die Ruinen der römischen Villa von Stutheien liegen direkt über dem Hüttwilersee – lediglich 900 m von der Bohrstelle entfernt (*Roth-Rubi 1986*). Die landwirtschaftlichen Aktivitäten dieses Gutshofs dürften mitverantwortlich für die oben beschriebene menschliche Beeinflussung der Landschaft gewesen sein. Man kann sich gut vorstellen, dass die Pollenfunde von Buchsbaum (*Buxus sempervirens*), Wein (*Vitis*) und Kernobst (*Maloideae*) auf den Anbau dieser Pflanzen im Umfeld der römischen Villa zurückzuführen sind.

Ab der Mitte des 3. Jahrhunderts n. Chr. lässt sich eine sukzessive Wiederbewaldung in der Umgebung beider Seen erkennen. Diese Abnahme des menschlichen Einflusses auf die Vegetation in der Region geht mit verschiedenen Krisen im römischen Reich und v. a. auch mit dem Rückzug der römischen Truppen und der Völkerwanderungszeit einher (Brem 2017, Steiner 2017). Eine Ausbreitung von Buchenmischwäldern ist in beiden Pollendiagrammen bis in die Mitte des 7. Jahrhunderts erkennbar. Um 650 n. Chr. fand mit der frühmittelalterlichen Besiedlung wieder eine verstärkte Entwaldung statt. Es entstanden in der Umgebung beider Seen offene Weideflächen, zudem gewann man Ackerland und pflanzte Getreide an, darunter vermehrt auch Roggen. Der starke Rückgang der Erle in beiden Pollenprofilen deutet auf eine Abholzung von Bäumen entlang des Uferbereichs bereits im Frühmittelalter (ca. 700–900 Jahre n. Chr.) hin, möglicherweise für die Gewinnung von zusätzlichen Weideflächen. Ab dem Hochmittelalter dürften die Seeufer mehr oder weniger baumfrei gewesen sein, da Makroreste von Bäumen in den Proben beinahe vollständig fehlen. Die Kräuterpollenwerte erreichen über 30% und der Roggenanbau erlebte seinen Höhepunkt. Eichen- und Wacholderpollen liefern Hinweise auf Waldweidewirtschaft. Interessant ist auch der starke Anstieg von *Cannabis sativa*. Vermutlich wurden die Hanfstengel für die Fasergewinnung im Uferbereich geröstet. Die Entstehung von Obstgärten ist durch Pollen von Walnussbäumen (*Juglans*), Steinobst (*Prunus*) und Kernobst (*Maloideae*) belegt. Die Nährstoffkonzentrationen in den Seen veränderten sich gemäss der Grünalgenwerte trotz intensiver Landnutzung nicht gross, obwohl Veränderungen in der Häufigkeit von periphytischen Diatomeen und Chironomiden in den Seesedimenten durchaus auf Veränderungen im aquatischen Milieu hinweisen (Abschnitt 3.3). Im 13. und 14. Jahrhundert stand am südwestlichen Ufer des Hüttwilersees die Burg Helfenberg. Diese dürfte bereits 1413 nicht mehr bewohnt gewesen sein, da sie dannzumal urkundlich als Burgstall beschrieben wird. Die Aktivitäten der Burgbelegschaft scheinen keinen Niederschlag im Pollendiagramm gefunden zu haben. Zwischen 1300 und 1400 lässt sich an beiden beprobteten Seen ein Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzung sowie ein Minimum an Kräuterpollenwerten beobachten. Ob hier ein Zusammenhang mit einem Bevölkerungsrückgang durch die erste grosse Pestwelle von 1348 besteht, kann nur vermutet werden.

Nach dem Konstanzer Konzil von 1414–1418 und mit der Gründung der Kartause Ittingen im Jahr 1461 lassen die Pollenanalysen erneut eine Öffnung der Landschaft und eine Intensivierung landwirtschaftlicher Aktivitäten erkennen. Grosse Teile des Seebachtals waren im Besitz der Kartause Ittingen und deren Einfluss auf die Umgebung nahm stetig zu. Es wurde Getreide, Wein, Hopfen (*Humulus*) für die Bierproduktion und Hanf für die Faserverarbeitung angebaut. Die Bedeutung der Heu- und Weidewirtschaft lässt sich an den sehr hohen Pollenwerten von Süssgräsern, Spitzwegerich und Sauerampfer (*Rumex acetosa*) ablesen. Die Viehweiden dürften ab dem 16. Jahrhundert die Ackerzonen flächenmäßig übertroffen haben. Auch der Obstbau gewann stetig an Bedeutung, wie Zunahmen der Prozentwerte von Stein- und Kernobstgewächsen (*Prunus/Maloideae*) bezeugen. Am Bichelsee war die Entwicklung ähnlich, mit einem erneuten Rückgang der Baumpollenwerte ab Mitte des 15. Jahrhunderts und einer zunehmenden Bedeutung des Obst- und Weinanbaus, allerdings gefolgt von einem leichten Einbruch der Landnutzung im späten 16. und

frühen 17. Jahrhundert. Am Bichelsee zeigen dann zunehmende Pollenfunde von nährstoffliebenden Wiesenpflanzen in jüngeren Sedimentabschnitten ebenfalls die steigende Bedeutung der Viehwirtschaft. Bemerkenswert ist das frühe Auftreten von Maispollen im Seebachtal. Die ersten Pollenfunde im Bohrkern aus dem Hüttwilersee fanden sich in Schichten, die zeitlich in die zweite Hälfte des 17. Jahrhunderts fallen. Im Vergleich dazu datieren die ältesten Maispollen im Bichelseebohrkern erst in die 1960er-Jahre, als im Kanton Thurgau der grossflächige Anbau von Futtermais einsetzte. Insgesamt lässt sich für die Blütezeit der Kartause Ittingen eine vielfältige Landwirtschaft um den Hüttwilersee bestimmen. Dies passt hervorragend zu den Beschreibungen und Kartierungen im Urbar des Prokurator Josephus Wech (*Wech 1743*).

Bei der Formulierung der Fragestellungen für das KUMIT-Projekt ging es auch darum, paläoökologische Daten der letzten 200 Jahre möglichst präzise vorzulegen. Dank der interdisziplinären Auswertung der Kerne aus dem Bichelsee und dem Hüttwilersee mit Analysen von Pollen, *non-pollen palynomorphs*, Diatomeen, Invertebraten sowie Geochemie gelang es, zahlreiche historische Ereignisse oder Entwicklungen nachzuzeichnen. Im Verlauf des 19. Jahrhunderts wurde die Landwirtschaft um beide Seen stark intensiviert. Die Kräuterpollen erreichen Werte von über 50% (*Abbildung 3-4*). Gleichzeitig ging die Hanf- und wahrscheinlich auch die Flachsproduktion massiv zurück. Die Gründe dafür waren wohl u.a. eine schwere Krise in der Leinwandindustrie und möglicherweise auch die gescheiterten Versuche der Stadt St. Gallen, den zunehmenden Import von preisgünstiger Baumwolle zu regulieren (*Ziegler 1976*). Auch die Funde von Pollenkörnern der Weinrebe werden in dieser Zeit seltener. Die Kartause Ittingen und die späteren Eigentümer produzierten bis zum Verkauf an Victor Fehr im Jahr 1867 Wein im grossen Stil. Der junge Gutsbesitzer änderte dies. Er beschränkte den Weinanbau auf Eigenbedarf und baute im Gegenzug einen diversifizierten Betrieb mit Ackerbau und Milchwirtschaft auf (*Ackermann 2020*). Er dürfte im klimatisch günstigen Seebachtal auch mit dem Anbau von Körnermais begonnen haben und war ausserdem ein Pionier der Mechanisierung in der Landwirtschaft. Bereits 1873 importierte Victor Fehr eine erste dampfbetriebene Ransomes-Dreschmaschine aus Grossbritannien (*Ackermann 2020*).

Sowohl am Hüttwilersee als auch am Bichelsee setzte sich der seit Beginn des 19. Jahrhunderts anhaltende Trend zu mehr Grünlandflächen bis ins 20. Jahrhundert kontinuierlich fort, und zwar v. a. auf Kosten der Waldbestände. Die Entwaldung und die zunehmende Mechanisierung bei der Bodenbearbeitung im 20. Jahrhundert begünstigten die Bodenerosion und liessen die Eintragsraten von Sedimenten in die Seen ansteigen. Zwischen dem Ersten und Zweiten Weltkrieg wurde die maximale Öffnung der Landschaft erreicht. Dabei spielte wohl auch der erhöhte Brennholzbedarf wegen der eingeschränkten Einfuhr von Steinkohle aus Deutschland während des Zweiten Weltkriegs eine Rolle. Danach nahm die Waldfläche bis heute stetig zu; entlang der Seeufer etablierten sich wieder naturnahe Bestände mit Erlen, Birken und Eschen. In den 1940er-Jahren – vielleicht im Zusammenhang mit der Anbauschlacht Wahlen – vermehrte sich die Kieselalgengruppe *Stephanodiscus binatus* & *S. rugosus* im Hüttwilersee erstmals deutlich, was auf einen verstärkten Nährstoffeintrag in den See hinweist. Von 1960 bis 1980 explodierten diese Werte nahezu,

um dann mit der Inbetriebnahme der ARA Seebachtal im Jahr 1979 wieder stark abzunehmen. Die Umweltveränderungen und die Landnutzung verliefen ab den 1950er-Jahren an beiden Seen ähnlich. Mit dem Rückgang des Getreidebaus zugunsten der Viehwirtschaft entstanden ertragsreiche, aber artenärmere Fettwiesen. Typische Magerwiesenpflanzen wie Esparsette (*Onobrychis viciifolia*) und Kleiner Wiesenknopf (*Sanguisorba minor*) oder Ackerwildkräuter wie Kornblume (*Centaurea cyanus*), Grosse Sterndolde (*Orlaya grandiflora*) oder Klatschmohn (*Papaver rhoeas*-Typ) gingen durch die Intensivierung der Landwirtschaft zurück. V. a. in der Bichelseeregion wurde nach dem Zweiten Weltkrieg mit dem Ausbau der Graswirtschaft wohl auch der Anbau von Silo- und Futtermais gefördert, was im Pollendiagramm gut erkennbar ist. Hingegen verlor der Feldobstbau im Lauf des 20. Jahrhunderts an Bedeutung, vermutlich auch im Zusammenhang mit den Baumfällaktionen der Eidgenössischen Alkoholverwaltung zwischen den 1950er- und 1970er-Jahren und der darauffolgenden Umstellung auf Obstplantagen (Ruault 2021). Wie im Hüttwilersee führte die Intensivierung der Landwirtschaft auch im Bichelsee zu einer starken Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen, die aber, wie der Rückgang der entsprechenden Indikatoren bei den Kieselalgen und Grünalgen zeigt, in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgingen.

Bemerkenswert ist, dass in den Pollenprofilen beider Seen auch Neophyten wie Platanen (*Platanus*), Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*) und andere eingeführte Gehölze sowie seit den 1960er-Jahren auch die hochallergene *Ambrosia* nachgewiesen werden konnten. Interessant sind auch die Werte der Russpartikel. Diese steigen ab dem Zweiten Weltkrieg zunehmend an und sind erst mit der Einführung von Russpartikelfiltern in Heizungen und landwirtschaftlichen Maschinen in den 1980er-Jahren wieder rückläufig.

An den oberflächennahen Sedimenten des Hüttwilersees und des Bichelsees wurden ¹³⁷Cs-Messungen durchgeführt. Der maximale Eintrag von diesem radioaktiven Isotop geht auf verschiedene zeitlich eng eingrenzbare Ereignisse zurück. So sind es v. a. die Atombombentests seit den 1950er-Jahren mit einem Maximum oberirdischer Explosionen in den 1960er-Jahren sowie der Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl 1986, die zu Anreicherungen von ¹³⁷Cs führten. Die ¹⁴C-Datierungen, welche in den obersten Sedimentschichten des Hüttwilersees durchgeführt wurden, zeigen ebenfalls stark erhöhte Werte dieses Radionuklids, dessen Konzentration ebenfalls infolge der Atombombentests in der Atmosphäre erhöht worden ist. Somit dokumentieren die obersten analysierten Sedimentschichten des Bichelsees und des Hüttwilersees auch den Beginn des Atomzeitalters im Kanton Thurgau.

3.5 Fazit

Die Analyse und Auswertung der bis in die ausgehende Würmeiszeit zurückreichenden Sedimente des Bichelsees und des Hüttwilersees lieferten neue, hervorragend datierte und hochaufgelöste umweltgeschichtliche Daten und Erkenntnisse. Für den Kanton Thurgau steht somit erstmals eine wissenschaftlich fundierte und moderne Grundlage zur Verfügung, um diachron ökologische, archäologische und geschichtswissenschaftliche Fragestellungen zu Klima, Umwelt und dem menschlichen Einfluss

auf die Umgebung in den vergangenen ca. 17'000 Jahren zu untersuchen. Mit der vorliegenden Publikation konnten bereits viele der zu Beginn gestellten Fragen beantwortet oder zumindest angesprochen werden. Zusätzlich lieferten die Daten verschiedene neue, teilweise auch unerwartete Einsichten in die Umweltgeschichte des Kantons Thurgau. So weisen die bearbeiteten Sedimentprofile z. B. auf noch nicht durch archäologische Funde nachgewiesene jungsteinzeit- und bronzezeitliche Siedlungsphasen an den zwei Seen hin. Sie dokumentieren die Landöffnungsphasen und Änderungen in der agrarwirtschaftlichen Nutzung der Einzugsgebiete. Sie belegen die Einwanderung und die sich ändernde Bedeutung verschiedener Baumarten in den Wäldern um die Seen herum, aber beispielsweise auch, dass an diesen Standorten bestimmte Arten wie z. B. die Fichte nicht so häufig waren, wie man anhand von archäologisch untersuchten Hölzern bei Bauuntersuchungen in der Bodenseeregion erwarten würde (*Seim et al. 2022*). Auch die Ausbreitung von Neophyten und die Einflüsse der modernen Landwirtschaft auf die Seen und ihre Umgebung sind anhand der Untersuchungen zu erkennen. Die aquatischen Indikatoren zeigen, wie sich die Ökosysteme Bichelsee und Hüttwilersee auf langen Zeitskalen verändert haben, wann sich aus heutiger Sicht unerwünschte Bedingungen (z. B. Sauerstoffarmut, hohe Nährstoffkonzentrationen) etabliert haben und mit welcher Geschwindigkeit sich die Seen infolge menschlicher Aktivitäten verändert, aber nach deren Abklingen oder im Zuge von Seesanierungsmassnahmen auch wieder erholt haben. Aus seengeschichtlicher Sicht sind die sehr frühen menschlichen Einflüsse auf die Seeökosysteme, mit einer ausgeprägten Eutrophierungsphase des Hüttwilersees bereits in der Jungsteinzeit, sowie die frühe Etablierung von mindestens saisonal sauerstoffarmen Bedingungen im Tiefenwasser beider Seen bereits ab dem Früh- bis Mittelholozän spannende, aber unerwartete Ergebnisse. Die in beiden Profilen gut sichtbare Eutrophierungsphase und die ansteigenden Russpartikelwerte im 20. Jahrhundert zeigen, wie der zunehmende menschliche Druck zu negativen Auswirkungen auf unsere Umwelt und Ökosysteme geführt hat. Gleichzeitig belegen die Erholung der Seen von dieser Eutrophierung und die Stabilisierung bzw. Abnahme der Russpartikel in den obersten Sedimentschichten auch, wie umweltpolitische, gesellschaftliche Diskussionen und umweltrechtliche Massnahmen zu einer Erholung der Seenökosysteme und zur Verbesserung der Luftbedingungen geführt haben.

Obwohl viele Aspekte der neu gewonnenen Proxydaten in diesem Synthesekapitel und in den Fachkapiteln 4–7 detailliert präsentiert und interpretiert werden konnten, enthalten die Datensätze offensichtlich auch wertvolle Informationen, die hier nur sehr beschränkt oder überhaupt nicht angesprochen werden konnten. Es ist daher zu erwarten, dass zukünftige, detailliertere Analysen und Vergleiche der vorhandenen Datensätze, aber auch neue archäologische Funde oder neu entstehende geschichtswissenschaftliche Fragen zu einer wiederholten Nutzung und Neuinterpretation der Resultate führen werden. Besonders die Gegenüberstellung mit vergleichbaren Datensätzen aus dem westlichen Mittelland (z. B. Burgäschisee und Moossee in den Kantonen Solothurn und Bern), dem süddeutschen Alpenvorland und Oberösterreich (u. a. Kleinseen im Bodenseeraum, Attersee und Mondsee im Salzkammergut, Österreich) wird voraussichtlich spannende Erkenntnisse zu überregionalen Forschungsfragen liefern. Die über die Laufdauer des Projekts hinausreichende Interpretation der Daten war von Beginn an geplant und erwünscht. Es

war klar, dass die Fülle der gewonnenen Daten und ihre verschiedenen umweltgeschichtlichen Facetten kaum im Rahmen des Projekts abschliessend behandelt werden konnten.

Zusammenfassend hat das Forschungsprojekt KUMIT zu einem bedeutenden Gewinn an umweltgeschichtlicher Information im Kanton Thurgau geführt, insbesondere zu Informationen über die langfristige Entwicklung von Ökosystemen *off site*, also an Standorten, die nicht detailliert durch archäologische Grabungen untersucht worden sind, sondern die grossräumige Landschafts-, Vegetations- und Seeentwicklung repräsentieren. Die Resultate sind für die Archäologieforschung im Kanton Thurgau und in der Ostschweiz von grosser Bedeutung, da sie einerseits Hinweise über Siedlungs- und Landnutzungsphasen liefern, die bisher noch nicht oder nur ungenügend durch archäologische Funde belegt worden sind. Andererseits bieten die Daten einen detaillierten, umweltgeschichtlichen Rahmen für die Einordnung und Interpretation von bisherigen und zukünftigen archäologischen Funden. Dies wird es zusammen mit den vorhandenen geschichtswissenschaftlichen Erkenntnissen erlauben, die prähistorische und geschichtliche Vergangenheit des Kantons genauer, aus unterschiedlichen Perspektiven und ganzheitlicher zu rekonstruieren.

3.6 Literatur

- Ackermann, F., 2020: Ein Bankierssohn pflügt um. – In: «Thurgauer Köpfe. Katalog zur Sonderausstellung», Leuzinger, U. (Hrsg.), 50–63 – Museen Thurgau/Kulturamt und Amt für Archäologie Thurgau, Frauenfeld.
- Ammann, B., van Leeuwen, J. F. N., van der Knaap, W. O., Lischke, H., Heiri, O. & Tinner, W., 2013: Vegetation responses to rapid warming and to minor climatic fluctuations during the Late-Glacial Interstadial (GI-1) at Gerzensee (Switzerland). – Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 391, 40–59.
- Berger, A. & Loutre, M. F., 1991: Insolation values for the climate of the last 10 million years. – Quaternary Science Reviews, 10, 297–317.
- Braun, R., 1935: Bichelsee und das Tannenzapfenland. – Thurgauer Jahrbuch, 11, 22–29.
- Brem, H., 2017: Thurgau, Römerzeit. Historisches Lexikon der Schweiz, <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/007393/2017-05-22/>, aufgerufen am 9.5.2023.
- Conedera, M., Colombaroli, D., Tinner, W., Krebs, P. & Whitlock, C., 2017: Insights about past forest dynamics as a tool for present and future forest management in Switzerland. – Forest Ecology and Management, 388, 100–112.
- Gollnisch-Moos, H., 1999: Ürschhausen-Horn. Haus- und Siedlungsstrukturen der spätestbronzezeitlichen Siedlung. – Forschungen im Seebachtal 3 (Archäologie im Thurgau 7), Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld, 198 pp.
- 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.

- Hasenfratz, A., 1998a: Siedlungsaktivitäten der Horgener Kultur. – In: «Das Seebachtal – Eine archäologische und paläoökologische Bestandesaufnahme», Hasenfratz, A. & Schnyder, M. (Hrsg.), 154–156 – Forschungen im Seebachtal 1 (Archäologie im Thurgau 4), Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld.
- Hasenfratz, A., 1998b: Das schnurkeramische Grubenhäus. – In: «Das Seebachtal – Eine archäologische und paläoökologische Bestandesaufnahme», Hasenfratz, A. & Schnyder, M. (Hrsg.), 156–157 – Forschungen im Seebachtal 1 (Archäologie im Thurgau, 4), Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld.
- Hasenfratz, A., 1998c: Die früh- und mittelbronzezeitliche Phase. – In: «Das Seebachtal – Eine archäologische und paläoökologische Bestandesaufnahme», Hasenfratz, A. & Schnyder, M. (Hrsg.), 157–168 – Forschungen im Seebachtal 1 (Archäologie im Thurgau 4), Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld.
- Heiri, O., Ilyashuk, B., Millet, L., Samartin, S. & Lotter, A. F., 2015: Stacking of discontinuous regional palaeoclimate records: Chironomid-based summer temperatures from the Alpine region. – The Holocene, 25, 137–149.
- 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.
- Lotter, A. F., 2001: The palaeolimnology of Soppensee (Central Switzerland), as evidenced by diatom, pollen, and fossil-pigment analyses. – Journal of Paleolimnology, 25, 65–79.
- Nagy, G., 1999: Ürschhausen-Horn. Keramik- und Kleinfunde der spätestbronzezeitlichen Siedlung. Text. – Forschungen im Seebachtal 2 (Archäologie im Thurgau 6), Departement für Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau, Frauenfeld, 177 pp.
- Rey, F., Gobet, E., van Leeuwen, J. F. N., Gilli, A., van Raden, U. J., Hafner, A., Wey, O., Rhiner, J., Schmocke, 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., 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.
- 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.
- Samartin, S., Heiri, O., Lotter, A. F. & Tinner, W., 2012: Climate warming and vegetation response after Heinrich event 1 (16 700–16 000 cal yr BP) in Europe south of the Alps. – Climate of the Past, 8, 1913–1927.
- Seim, A., Marquer, L., Bisson, U., Hofmann, J., Herzig, F., Kontic, R., Lechterbeck, J., Muigg, B., Neyses-Eiden, M., Rzepecki, A., Rösch, M., Walder, F., Weidemüller, J.

- & Tegel, W., 2022: Historical spruce abundance in Central Europe: a combined dendrochronological and palynological approach. – *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 909453.
- Steiner, H., 2017: Thurgau, Spätantike – Merowingerzeit. Historisches Lexikon der Schweiz, <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/007393/2017-05-22/>, aufgerufen am 9.5.2023.
 - Wech, J., 1743: Urbarium über die Eigenthümliche Güether des Löblichen Gottshauses Jttingen, welche das Gottshaus selbsten bewirbt, sambt dero Nutzung, Beschwerden, und anderen darbey nöthigen Beobachtungen. – Staatsarchiv Thurgau 7'42'501, A°. 1743.
 - Wehrli, B. & Wüest, A., 1996: Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen. – Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf, 128 pp.
 - Ziegler, E., 1976: Vom Leinwandgewerbe im alten St. Gallen. – *Die Schweiz = Suisse = Svizzera = Switzerland*, 49, 13–17.

