

De Jong, M. G. G., de Nobel, J. S., Polman, E. M. N., Sterk, H. P. & Seijmonsbergen, A. C. (2024): Die spätglaziale und holozäne Beckenfüllung des Moores »Turbastall« bei Schlins (Vorarlberg, Österreich).

**inatura – Forschung online, 123: 16 S.**

Permalink: [www.inatura.at/forschung-online/ForschOn\\_2024\\_123\\_0001-0016.pdf](http://www.inatura.at/forschung-online/ForschOn_2024_123_0001-0016.pdf)



## Die spätglaziale und holozäne Beckenfüllung des Moores »Turbastall« bei Schlins (Vorarlberg, Österreich)

Nr. 123 - 2024

M. G. G. De Jong<sup>1</sup> , J. S. de Nobel<sup>2</sup> , E. M. N. Polman<sup>3</sup> , H. P. Sterk<sup>1</sup>   
& A. C. Seijmonsbergen<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Dr. Mat G. G. De Jong – Corresponding author, E-Mail: [mggdejong@rfase.org](mailto:mggdejong@rfase.org);  
Dr. Henk Pieter Sterk, RFASE - Research Foundation for Alpine and Subalpine  
Environments, Berkenrodestraat 17, 2012 LA, Haarlem, The Netherlands

<sup>2</sup> Jeroen S. de Nobel, M.Sc.  
Iv-Infra B.V., Waarderweg 40, 2031 BP Haarlem, The Netherlands

<sup>3</sup> Emma M. N. Polman, M.Sc.; Dr. Arie C. (Harry) Seijmonsbergen,  
Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics (IBED), University of  
Amsterdam, Science Park 904, 1098 XH Amsterdam, The Netherlands

---

### Abstract

*The sediment fill of the small Turbastall basin near Schlins (Vorarlberg, Austria) was investigated. The basin was formed in Flysch bedrock by glacial erosion during the last – Würmian – glaciation. Once the glacier had disappeared, clastic and organic sediments were deposited. Six sediment types were identified in a total of 13 shallow borings and in a few local outcrops: subglacial till, lacustrine clay, calcareous gyttja, peat, clayey colluvium and silty colluvium. A 3D-model of the distribution of these sediment types was constructed in a geographical information system. »Ghost wells« – virtual borings with a sediment sequence based on expert knowledge – were added to the database, to compensate for the limited number of true data points and the uneven distribution over the present-day peat bog. The resulting 3D-model is considered a realistic approximation, and it depicts the fine-scale variation in sediment fill within the basin. Comparison of the fill with published records of nearby similar small basins (e. g. VAN MOURIK et al. 2013) indicates that local conditions determine the origin of the sediment succession against the background of late-glacial to post-glacial climate change. Evaluation of published <sup>10</sup>Be age datings of erratic boulders in the area around the town of Feldkirch (DE GRAAFF et al. 2023) suggests that the Turbastall basin became free of ice at about 16000 years ago, i. e. deposition started around this time. Carrying valuable information on the local and regional landscape evolution, Turbastall is a potential geoconservation site.*

*Keywords: Basin fill, 3D-model, Late Glacial-Holocene, landscape evolution, age dating, Turbastall, Vorarlberg  
Beckenfüllung, 3D-Modell, Spätglazial-Holozän, landschaftliche Entwicklung, Altersbestimmung, Turbastall (Vorarlberg)*

### Zusammenfassung

Die Sedimentfüllung des kleinen Beckens Turbastall bei Schlins (Vorarlberg, Österreich) wurde erforscht. Das Becken wurde im Flysch-Gestein durch Gletschererosion während der letzten = Würm-Eiszeit geformt. Nachdem der Gletscher verschwunden war, lagerten sich klastische und organische Sedimente ab. In insge-

samt 13 untiefen Bohrungen und in einigen kleinen Aufschlüssen wurden sechs Sedimenttypen identifiziert: Grundmoräne, lakustriner Ton, Kalkgyttja, Torf, toniges Kolluvium und schluffiges Kolluvium. Ein 3D-Modell der Verteilung der Sedimenttypen wurde in einem geographischen Informationssystem erstellt. »Geisterpunkte« – virtuelle Bohrungen mit einer auf Expertenwissen basierenden

Sedimentsequenz – wurden in die Datenbank der wahren Datenpunkte aufgenommen, um die begrenzte Anzahl und ungleichmäßige Verteilung realer Datenpunkte über das heutige Torfmoor auszugleichen. Das resultierende Modell wird als realistische Annäherung angesehen, und es zeigt die feinmaßstäbliche Variation der Sedimentfüllung im Becken. Der Vergleich der Füllung mit publizierten Daten

von nahe gelegenen ähnlichen kleinen Becken (z. B. VAN MOURIK et al. 2013) zeigt, dass die lokalen Bedingungen den generellen spätglazialen bis postglazialen Klimawandel überlagern. Die Auswertung der veröffentlichten <sup>10</sup>Be-Altersdatierungen von Findlingen im größeren Bereich (DE GRAAFF et al. 2023) deutet darauf hin, dass das Turbastall-Becken vor etwa 16000 Jahren eisfrei wurde, d. h. die Ablagerung begann um diese Zeit. Der Turbastall ist aufgrund der wertvollen Informationen über die lokale und regionale Landschaftsentwicklung ein potenzieller Geokonservierungsstandort.

## 1 Einleitung

### 1.1 Rahmenbedingungen

Die Erforschung spätglazialer und holozäner Seen und Torfmoore in den Alpen hat eine lange Geschichte (HEIRI et al. 2014). HAAGSMA (1974) erwähnt Beobachtungen, die von SCHREIBER (1910) an Ablagerungen auf der Walgau-Nordseite in Vorarlberg bereits um 1910 gemacht wurden. BURGA & CHÉDEL (2016) berücksichtigen im Rahmen ihrer Arbeit am Moor Maria Grün bei Feldkirch viele Untersuchungen im Alpenraum. Altersdatierung, Klima-/Temperaturrekonstruktion und Rekonstruktion der Vegetationsgeschichte sind häufige und klassische Forschungsthemen (AMMANN et al. 2013; OEGGL et al. 2005; VAN RADEN et al. 2013). In den letzten Jahrzehnten ist die Erforschung des Klimawandels der Vergangenheit über die akademische Welt hinaus relevant geworden. Sie trägt zu einem besseren Verständnis der Mechanismen, die hinter der aktuellen Erwärmung des Klimas stehen, bei (BRAUMANN et al. 2022). Dazu kommt, dass das Erhalten – und das Aufwerten – von Biotopen heutzutage aktiv in die Hand genommen wird, mit Zielen in den Bereichen der Konservierung und des Umweltunterrichts (AMANN & BURTSCHER o. J.). Diversität der Natur nimmt bei diesen

Anstrengungen eine zentrale Rolle ein, wobei Natur in der Regel nur den belebten Teil betrifft, also die Biologie. Doch neben der Biodiversität steht die Geodiversität, die den unbelebte Teil der Natur – Geologie, Geomorphologie, Boden und Hydrologie – umfasst. Geodiversität rückt immer mehr als natürlicher Partner der belebten Natur in den Vordergrund (GRAY 2013; GRAY et al. 2024; SEIJMONSBERGEN et al. 2014). In diesem Rahmen haben wir ein geomorphologisch-sedimentologisches Studium des kleinen Moores Turbastall in der Gemeinde Schlins (Abb. 1 und 2) durchgeführt.

### 1.2 Turbastall

Das Becken Turbastall ist eine kleine Mulde in einem von Kalksandsteinen und Tonschiefern der Hällritzer-Formation des Vorarlberger Flysches (OBERHAUSER 2007) unterlagerten Geländerrücken im Walgau, im unteren Illtal ost-südöstlich der Gemeinde Schlins (Abb. 1). Das Becken wurde durch glaziale Erosion während der würmeiszeitlichen Vergletscherung (LGM, Last Glacial Maximum) gebildet. Als das Eis des Ill-Gletschers am Ende der Eiszeit – während des Spätglazials (DE GRAAFF et al. 2007; HEIRI et al. 2014; PREUSSER 2004, 2010; PREUSSER et al. 2011) – abschmolz, bildete sich ein kleiner See im Becken, der am Ende des Spätglazials

verlandete (OEGGL & HEIDENWOLF 2019). Ab dann bildete sich eine Moorlandschaft, gekennzeichnet durch Torfablagerungen. Der Turbastall ist heute eine Teilfläche des Biotopes Eggwald (Biotop 10407) des Vorarlberger Biotopinventars (STAUDINGER 2023a, 2023b). Die ursprüngliche Moorlandschaft war im Laufe der Zeit durch menschliches Eingreifen – Torfstich bis in die 1950er Jahre, Entwässerung – nicht mehr erkennbar. In den Jahren 2016/17 wurde der Turbastall im Rahmen des Interreg-Projektes »Kleingewässer« aufgewertet (AMANN & BURTSCHER o. J.). Unter anderem wurde der heutige Moorweiher ausgehoben und das Gelände naturnah ausgeformt. Der Wasserspiegel für den Weiher, die Tümpel und die Flachwasserzonen wurde mit der Errichtung eines Dammes um etwa 30 cm angehoben. Der Wasserspiegel liegt auf 560,7 m Seehöhe. Nützlich für unsere Untersuchungen im Turbastall sind die Arbeiten, die in den vergangenen Jahren an nahegelegenen ähnlichen Stellen im Walgau durchgeführt worden sind (Abb. 1). Slotboom (in SIMONS 1985; siehe auch HAAGSMA 1974) analysierte die Schichtenfolge im Schnifner Ried (590 m ü. A.) nördlich des Turbastalls. Pollenanalytisch wurde das Präboreal in einer Kalkgyttja determiniert; das Alter von tieferen Schichten konnte nicht festgestellt werden. Die spät-

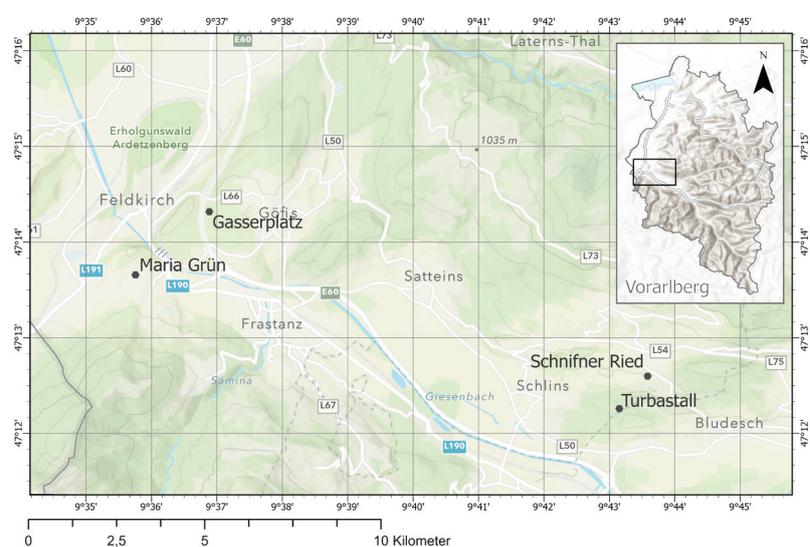


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebiets (Kartenhintergrund: ESRI 2024).



Abb. 2: Das Moor Turbastall von Norden (links) und von Süden (rechts) aus gesehen (Sommer 2024).

glazialen Ablagerungen im kleinen Becken vom Gasserplatz ( $\approx 560$  m ü. A.) westlich des Turbastalls wurden im Detail von DE GRAAFF et al. (1989, 1994) und VAN MOURIK et al. (2013) untersucht. Das Holozän wurde nicht in die Untersuchungen einbezogen. BURGA & CHÉDEL (2016; siehe auch JORDI 1977, 1986) analysierten pollenanalytisch sowohl die spätglazialen als auch die holozänen Ablagerungen im Moor Maria Grün ( $\approx 544$  m ü. A.) in der Nähe von Feldkirch.

Der Turbastall wurde vor einigen Jahren von OEGGL & HEIDENWOLF (2019) pollenanalytisch untersucht. Im Rahmen unserer langfristigen geomorphologischen Untersuchungen in Vorarlberg

(SEIJMONSBERGEN et al. 2014; DE JONG et al. 2021a; RFASE 2022) haben wir auf Anregung von Schöcha Verein Waldriedpflege Schlins die Entwicklung des kleinen Beckens von der Bedeckung des würmeiszeitlichen Gletschers bis zur heutigen Konfiguration rekonstruiert, d. h. wir haben die Erweiterung von einer 1D-Beschreibung eines Bohrkerns zu einem 3D-Modell der Schichtenlagerung vorgenommen. Die Entwicklung des Beckens und die Abfolge beckenfüllender Ablagerungen sind Gegenstand unserer Forschung. Die präzise Erfassung der lokalen Vegetationsgeschichte wurde von OEGGL & HEIDENWOLF (2019) unter-

## 2 Daten und Methodik

### 2.1 Geomorphologie

Die geomorphologische Karte im Maßstab 1:10.000 vom Turbastall und Umgebung (Abb. 3) ist Teil der im Wesentlichen feldbasierten Karte »Schnifis«, die zwischen 1991 und 1993 von J. Rupke und A.C. Seijmonsbergen erstellt wurde. Die auf Papier erzeugte Originalkarte wurde rasterisiert und ist in der VOGIS-Datenbank des Landes Vorarlberg gespeichert. Sie wurde in eine GIS-basierte Karte umgewandelt (SEIJMONSBERGEN et al. 2014; DE JONG et al. 2021a; RFASE 2021) und ist, im größeren Rahmen, in einer im Internet

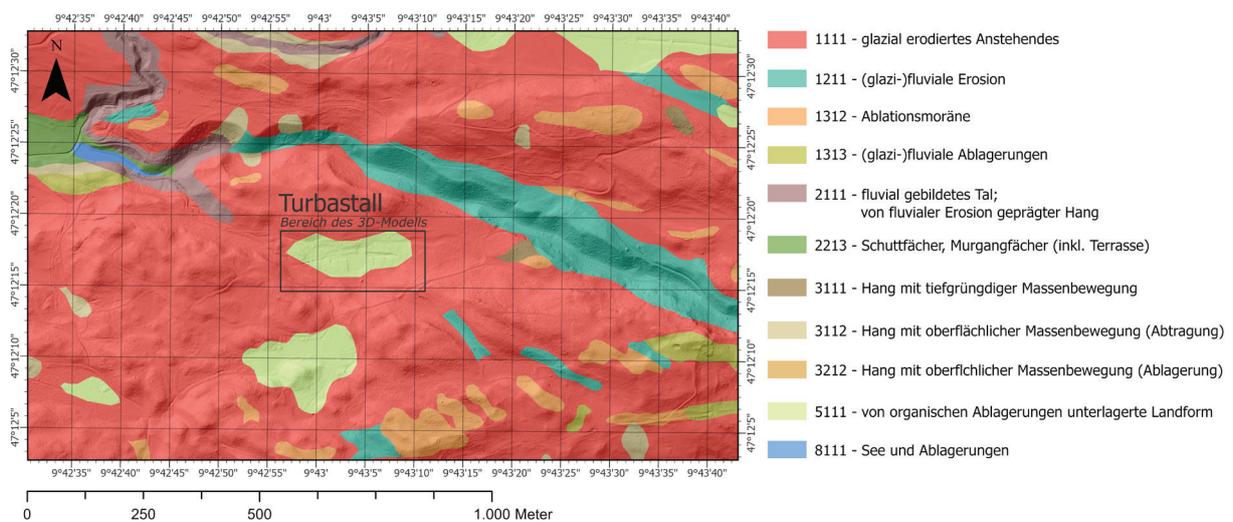
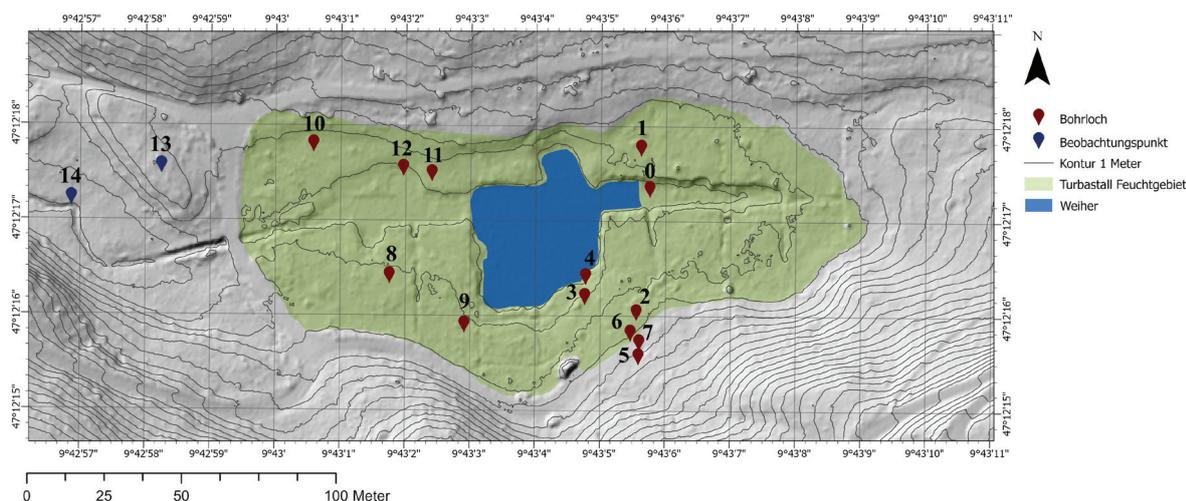


Abb. 3: Ausschnitt aus der geomorphologischen Karte, die in einer ESRI Storymap (RFASE 2022) online dargestellt ist. Die Originalkarte wurde im Gelände im Maßstab 1:10.000 kartiert. Kolluviale Ablagerungen mit geringer Ausdehnung um das Moor Turbastall und die damit verbundenen Denudationsnischen sowie die kleine Abflussrinne des Torfriedbächles wurden in dieser Aufnahme nicht erfasst (siehe Abschnitt 3.3).



**Abb. 4:** Zwölf Bohrungen (1-12) und zwei geologische Beobachtungen (13-14) in und rund um das Moor Turbastall aus den Jahren 2020 und 2021 bilden die Basis der Analyse. Die von OEGGL & HEIDENWOLF (2019) betrachtete Bohrung wurde 2016 an Stelle 0 abgeteuft. Die Höhenlinien (1 m) sind auf einer DGM-Schummerungskarte dargestellt. Der Bereich der Karte (310 x 130 Meter) entspricht dem 3D-Modell (Abb. 5, 6). Die Wasserfläche beträgt etwa 1630 m<sup>2</sup> (Stand 2017).

verfügbaren ESRI-Storymap (RFASE 2022) dargestellt. Diese Karte ist der Ausgangspunkt unserer Forschungen im Turbastall.

## 2.2 Bohrungen und Korngrößenanalyse

Zwölf Handbohrungen mit Edelman-Bohrer und/oder mit Hohlmeißelbohrer (in Torf) wurden im Sommer 2020 und 2021 durchgeführt. Die Tiefe variierte von 0,80 m bis 3,90 m (Bohrloch 1 bis 12 in Abb. 4). Zwei zusätzliche geologische Beobachtungen wurden am Anstehenden gemacht (Beobachtungspunkte 13 und 14 in Abb. 4). Der von Oegg & Heidenwolf analysierte Bohrkern aus dem Jahr 2016 hat eine Länge von 443 cm (OEGGL & HEIDENWOLF 2019; Stelle 0 in Abb. 4).

Die lithologischen Beschreibungen und die Bestimmung der Schichtgrenzen in den Bohrungen 1 bis 12 erfolgten im Gelände. Von fünf Proben wurde die Korngrößenzusammensetzung in Ergänzung zu den im Gelände gemachten Interpretationen determiniert. Die Proben wurden gesiebt, um alle Bodenpartikel mit einer Größe von < 2 mm zu behalten. Der Gehalt an organischer Substanz im Boden wurde mittels Zündverlustmethode bei 550 °C für 16 Stunden bestimmt. Das Proben-

material für die Texturanalyse wurde mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> behandelt, um organische Stoffe zu entfernen, und mit Chlorsäure, um Karbonate zu entfernen. Bodenpartikel mit einer Größe von 63-2000 µm wurden durch Trockensiebung entfernt.

## 2.3 Modellierung der Beckenfüllung

Das normale Verfahren zur Erstellung eines 3D-Modells einer Beckenfüllung auf Basis von integrierten Daten von Bohrungen und geophysikalischen Messungen konnten wir nicht anwenden (Daten nicht vorhanden; siehe Abschnitt 4.1). Als Alternative haben wir einen Workflow in ArcGIS Pro Software (Version 3.1.3. 2023), der LiDAR-basierte Höhendaten (LiDAR = Light Detection and Ranging) mit einer Auflösung von 50 cm, Daten aus der Bohrungen (siehe Abschnitt 2.2) und zusätzliche Feld- und Literaturinformationen kombiniert (siehe Abschnitt 2.1), erstellt, um das 3D-Modell der Beckenfüllung zu konstruieren. Die Lage sowie die oberen und unteren Grenzen der verschiedenen Sediment- und Gesteinstypen wurden als digitale Punktdaten im GIS eingetragen und dienen als Grundlage für eine kugelbasierte empirische Bayesische Interpolation (KRIVORUCHKO

& GRIBOV 2019). Diese Methode erzeugt 2D-interpolierte Ebenen in 1 cm Tiefenabständen, die anschließend in mehrere dreidimensionale Blockdiagramme umgewandelt werden. Die Ausdehnung dieser 3D-Blöcke hängt von der räumlichen Verteilung der Bohrungen und deren Tiefen ab. Weil die Verbreitung der Bohrungen unregelmäßig und die Anzahl gering ist, haben wir ergänzend eine Reihe von »ghost wells« (»Geisterpunkte«) eingeführt, d. h. virtuelle Bohrungen, deren Schichtenfolge und Schichtenmächtigkeit im Wesentlichen auf Expertenwissen beruhen. Fachkenntnisse von Beckenfüllungen und Sedimentationsvorgängen, zusätzliche Informationen aus Aufschlüssen am Rande des Beckens und aus dem vorhandenen geomorphologischen Kartenblatt Schnifis (Abschnitt 2.1) wurden zur bestmöglichen Schätzung der Schichtfolge und -mächtigkeit an den ausgewählten Stellen kombiniert. Weil der Flyschfelsuntergrund in keiner der Bohrungen erreicht wurde, haben wir einschätzen müssen, wie tief dieser sich unter der Endtiefe befindet; wir haben eine Maximaltiefe von 50 cm genommen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Geomorphologische Entwicklung

Das Moor Turbastall hat sich in einem glazial erodierten Becken über Flyschgestein mehr oder weniger entlang der Streichrichtung entwickelt. Das Vorkommen von Grundmoräne wurde erst bei den Untersuchungen 2020-21 in einer Bohrung (Tab. 1) festgestellt. Lokale oberflächliche Abtragung mit geringmächtiger kolluvialer Anhäufung an den Nordwest- und Südsüdostseiten – schon bei der ursprünglichen Kartierung beobachtet - wurde nicht in der Originalkarte (Abb. 3) eingetragen. Die Entwässerung des heutigen Moorweihers geschieht durch einen Überlauf (≈ 560,7 m ü. A.) in einem niedrigen künstlichen Damm auf der Westseite des Moores (Abschnitt 1.2). Stromabwärts fließt das Wasser des Torfriedbächles durch ein relativ breites, OSO-WNW gerichtetes und primär von Gletschererosion gebildetes Tal. Durch oberflächliche Abtragung wird die Südflanke dieses Tals postglazial einigermaßen umgestaltet. Das Torfriedbächle fließt über den Wiesenbach, den Vermülsbach und den Gießenbach in die Ill. Obwohl es in der Umgebung des Turbastalls eine Vielzahl von glazifluvialen Relikten und eine Streuung von Erratiken gibt (Abb. 3; RUPKE & DE JONG 1983; TIEFENTHALER & DE GRAAFF 2016; RFASE 2022), ist es nicht möglich, das Becken in einem gut definierten, durchgehenden, eisrandnahen späteiszeitlichen Entwässerungssystem einzufügen. Das Vorkommen bläulichgrauer Seetone (Tab. 1) – allgemein als Gletschermilch interpretiert (VAN MOURIK et al. 2013) – deutet darauf hin, dass, sobald

Sedimenttyp 1	schluffiges Kolluvium	Siehe <i>Tabelle 2</i> für Textur: Proben HS2, HS3 und HS5	südlicher Teil des Moores (Bohrungen 2, 3, 4, 6 und 9)	graue Farbe, reduziert
			Südflanke des Beckens (Bohrungen 5 und 7)	beige/braune Farben, oxydiert
Sedimenttyp 2	toniges Kolluvium		nordwestlicher Teil des Moores (Bohrungen 10, 11 und 12)	grau-schwarze Farbe; humos, reduziert
Sedimenttyp 3	Torf	Siehe <i>Tabelle 2</i> für Textur: Proben HS1A und HS1B	weitverbreitet (Bohrungen 0, 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11 und 12)	braune Farbe
Sedimenttyp 4	Kalkgyttja		im zentralen östlichen Teil (Bohrung 0) und am Nordwestrand des Moores (Bohrungen 10 und 12)	(grau)weiße Farbe
Sedimenttyp 5	lakustrischer Ton		Nordwestrand des Moores (Bohrungen 10 und 12)	bläulichgraue Farbe
Sedimenttyp 6	Grundmoräne		im westlichen Teil des Beckens (Bohrung 8) und in der westlichen Abflussrinne (OP 14)	graue Farbe (Bohrung 8); gelbe Farbe (OP 14)
Anstehendes	Flysch	Hällritzer-Fm. (Vlbg Flysch): Kalksandstein und Tonschiefer (OBERHAUSER 2007)	nordwestlich des Beckens (OP 13)	

Tab. 1: Zusammenfassende Beschreibung der sechs Sedimenttypen. Für eine vollständige Beschreibung der Bohrlöcher siehe den *Appendix*. OP=observation point (geologische Beobachtung).

das Gebiet eisfrei wurde, sich im Becken ein See bildete, in dem Schmelzwasser das feinkörnige Sediment ablagerte. Folgendes kann über den Wasserspiegel und dessen Höhe im Laufe der Zeit gesagt werden: Das Grundmoränenvorkommen in Bohrung 8 (Tab. 1; ≈ 561,9 m ü. A.) und OP 14 (≈ 558,65 m ü. A.) lässt vermuten, dass die Westflanke des Beckens von dieser Ablagerung unterlagert ist, d. h. eine Schwelle von Grundmoräne die Höhe des Wasserspiegels im Becken kontrollierte. Die Höhe der natürlichen Schwelle liegt auf etwa 560,4 m ü. A. (560,7 m – 0,3 = 560,4 m). Das von uns festgestellte höchste Vorkommen von spätglazialer Kalkgyttja (Seekreide, Kalkschlammablagerung, Kalkmudde) liegt auf ≈ 560 m ü. A. (Bohrung 10, *Appendix* & Tab. 1), also nur wenig unterhalb der Höhe des ursprünglichen Überlaufs. Das tiefste Vorkommen von

der im klaren, stagnierenden Wasser gebildeten Kalkgyttja ist in Bohrung 0 und befindet auf 556,6 m ü. A. (*Appendix*). Die Höhe der Wassersäule im See während der Kalkmuddebildung war also etwa 3,5 m. Bereits im Alleröd (Tab. 3, *Abschnitt 4*) verlandete der See, und eine Moorlandschaft bildete sich, im Wesentlichen gekennzeichnet durch Torfablagerungen.

#### 3.2 Spätglaziale und holozäne Sedimente

Die sechs von uns im Gelände in den Bohrungen unterschiedenen Lithologien wurden anhand der Korngrößenanalysen und geomorphologischer Kriterien im Sinne von Entstehungsprozessen charakterisiert. Im *Appendix* sind die Details der Datenaufnahme dokumentiert: Höhe/Tiefe der vorliegenden Schicht, Lithologie, Farbe, Anmerkungen, Deutung, und Proben-tiefe. Eine zusammenfassende Beschreibung ist in *Tab. 1* dargestellt. *Tab. 2* zeigt die Korngrößenverteilungen.

Die Korngrößenanalysen der Torfproben zeigen, dass eine relativ geringe Menge von klastischem, meist schluffigem Material vorkommt (20–25 %).

Probe	Bohrung - Tiefe der Probenahme - Sedimenttyp	Textur		Texturklassen - klastisch		
		organisch	klastisch	Sand	Schluff	Ton
HS1A	1 - 75 cm - Torf	75,0 %	25,0 %	15,7 %	84,3 %	1,7 %
HS1B	1 - 220 cm - Torf	79,7 %	20,3 %	4,0 %	83,7 %	12,2 %
HS2	2 - 80 cm - Kolluvium	4,3 %	95,7 %	11,7 %	51,5 %	36,2 %
HS3	3 - 100 cm - Kolluvium	9,8 %	90,2 %	9,0 %	60,5 %	30,5 %
HS5	5 - 120 cm - Kolluvium	6,2 %	93,8 %	20,7 %	52,4 %	26,9 %

Tab. 2: Texturanalyse der klastischen und organischen Ablagerungen.

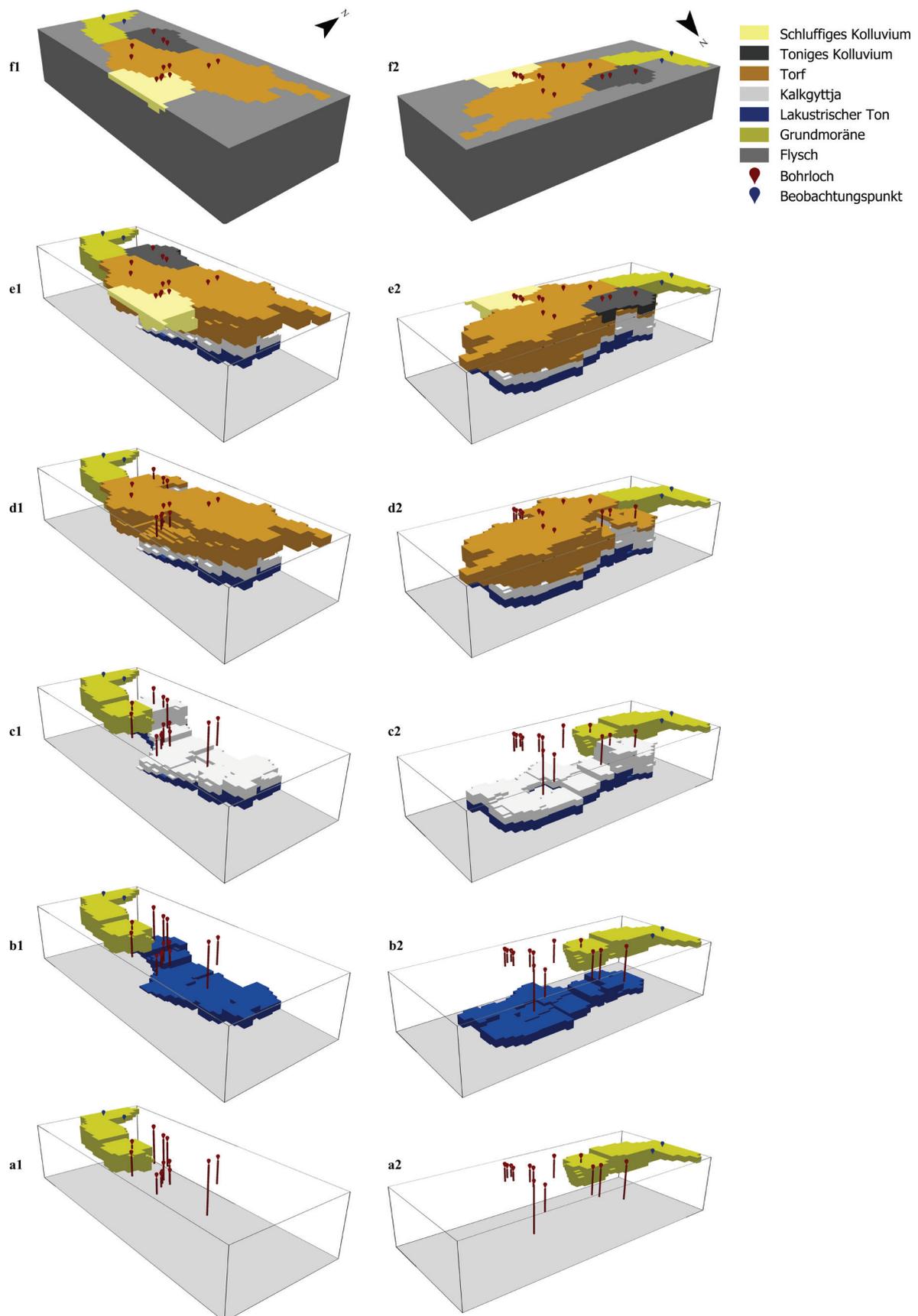


Abb. 5: 3D-Modell der Abfolge der Schichtenbildung, angefangen mit a1–a2. Blockdiagramm f1–f2 zeigt die heutige Lage im Felsuntergrund. Das GIS-Verfahren generiert Kompartimente, die von vertikalen Verwerfungen mit geringen Sprunghöhen getrennt sind; es sei betont, dass diese Verwerfungen keine physische Realität haben. Überhöhung: x 10. Pfeilchen in f1–f2 zeigen den Blickwinkel.

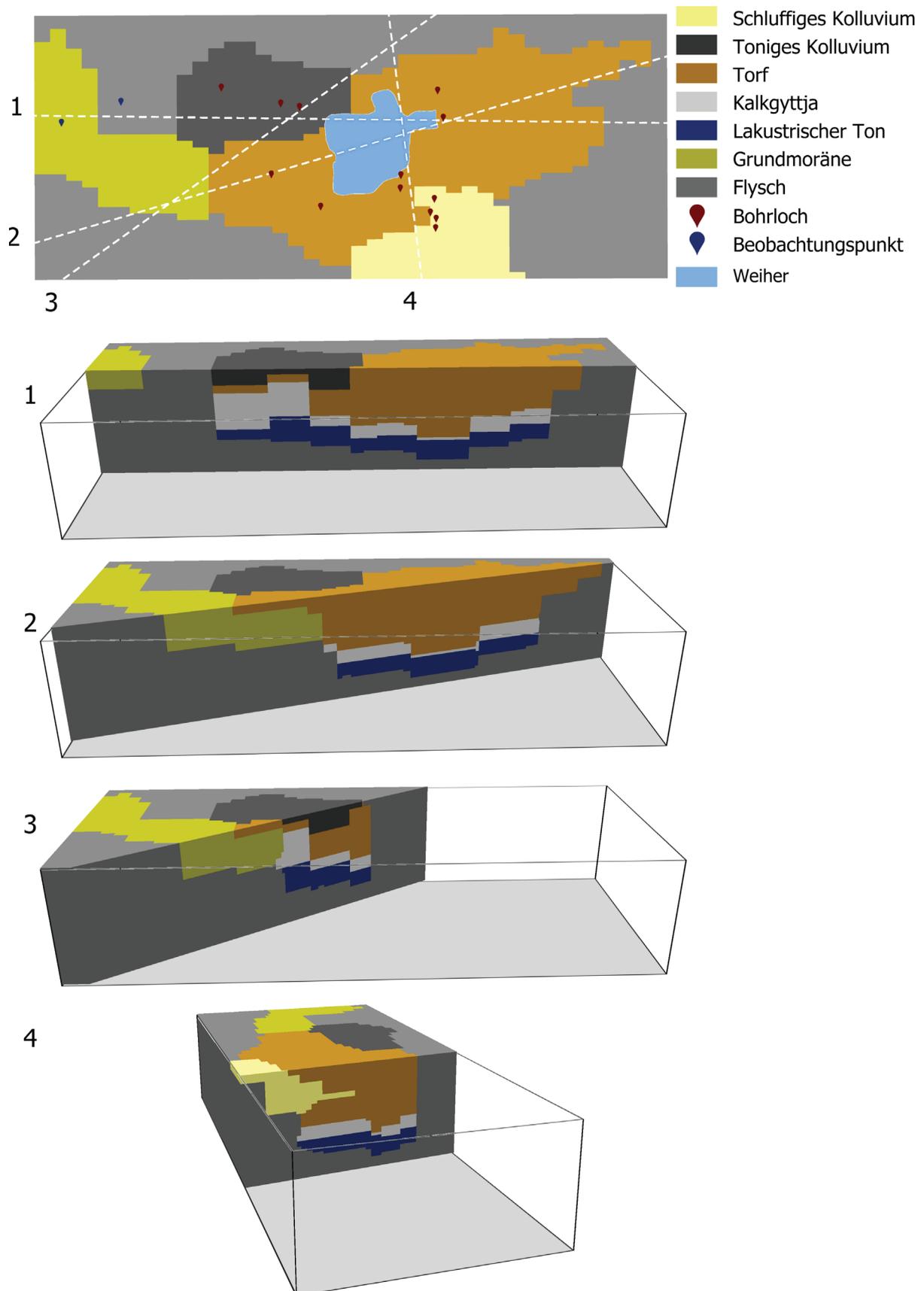


Abb. 6: Oben geologische Karte des Moores Turbastall und seiner Umgebung. Unten vier Querschnitte. Das GIS-Verfahren generiert Kompartimente, die von vertikalen Verwerfungen mit geringen Sprunghöhen getrennt sind; es sei betont, dass diese Verwerfungen keine physische Realität haben. Überhöhung: x 10.

Das Kolluvium enthält eine geringe Menge von organischem Material (4–10 %). Es besteht hauptsächlich aus Schluff und Ton, mit einer untergeordneten Menge von Sand. Flyschgestein wird als Herkunft des Kolluviums gedeutet, das klastische Material im Torf ist eingeschwemmtes Kolluvium.

Kenntnisse der Ablagerungsvorgänge ermöglichen es, ein 3D-Modell der Beckenfüllung durch auf Expertenwissen basiertes Einschätzen von Verbreitung und Mächtigkeit der einzelnen Schichten (*Abschnitt 3.3*) zu erstellen.

### 3.3 Geologie - Beckenfüllung

Die 3D-Modellierung in ArcGIS Pro führte zu einer Reihe von Blockdiagrammen (*Abb. 5, 6*), die die Ausdehnung der Schichten im Becken zeigen und damit die Sedimentationsvorgänge nach dem Abschmelzen des Ill-Gletschers widerspiegeln. In *Abb. 5* wird der Ablauf der Beckenfüllung in einer Reihe von fünf Blockdiagrammen aus zwei verschiedenen Blickwinkeln visualisiert. Als erstes wurde Grundmoräne (a1-a2) abgelagert. Darüber folgten lakustrischer Ton (b1-b2) und anschließend Kalkgyttja (c1-c2). Diese Schichten sind von Torf (d1-d2) und tonigem/schluffigem Kolluvium (e1-e2) überlagert. *Abb. 6* zeigt die Architektur der Beckenfüllung in vier Querschnitten. Siehe *Abschnitt 4* für eine Diskussion des Modells und seine lokale und regionale Bedeutung.

## 4 Diskussion

Wir konnten die Entwicklung des Moores Turbastalls anhand von zwölf Handbohrungen, einem Bohrkern, einigen lokalen geologischen Beobachtungen und Daten aus dem geomorphologischen Kartenblatt Schnifis rekonstruieren. Unsere Ergebnisse zeigen, dass das von glazialer Erosion gebildete Becken nach dem Abschmelzen des Gletschers von sechs Sedimenttypen gefüllt wurde. Der nächste Schritt besteht darin, unsere Methode und die

Beckenfüllung zu diskutieren, und die Abfolge im Kontext der nahegelegenen Beckenfüllungen von Maria Grün (BURGA & CHÉDEL 2016) und Gasserplatz (DE GRAAFF et al. 1989, 1994; VAN MOURIK et al. 2013) zu deuten.

### 4.1 Daten und Methodik

In Ermangelung geophysikalischer Profile - geophysikalische Untersuchungen im Moorweiher stellten sich als zu kostspielig heraus - mussten wir einen alternativen Ansatz wählen, um die 3D-Beckenfüllung im Moor Turbastall rekonstruieren zu können. Dazu haben wir die integrierten Tools von ArcGIS Pro 3.1.3 (ESRI Inc. 2023) verwendet, welche die Generierung eines voxelbasierten 3D-Modells ermöglichen. Obwohl zahlreiche hochentwickelte Softwarepakete verfügbar sind, die für professionelle geologische Anwendungen entwickelt wurden, erwiesen sich die ausgewählten Tools und ihre 3D-Interpolationsfunktionalität für unser Ziel als ausreichend. Insbesondere die Möglichkeit, fein aufgelöste feldbasierte Informationen in Kombination mit den Labortexturdaten und den zusätzlichen »ghost wells« einzubeziehen, erwies sich als sehr nützlich.

Bei der Wahl der Lage sowie der Schichtfolge und -mächtigkeit in den »ghost wells« gibt es dennoch viele Ungewissheiten (siehe *Abschnitt 4.2*). Trotzdem glauben wir sagen zu dürfen, dass unser 3D-Modell vom Turbastall – obwohl nicht eindeutig – annähernd richtig ist. Es sei angemerkt, dass die kleinen Verwerfungen in *Abb. 5 und 6* im GIS-Verfahren generiert wurden, sie haben keine physische Realität. Die hohe räumliche Auflösung der LiDAR-Daten (50 cm) erwies sich als entscheidend für die Rekonstruktion der Wasserspiegel.

### 4.2 Beckenfüllung

Obwohl das Becken als klein betrachtet werden kann (*Abb. 4*), ist die Füllung räumlich differenziert. Die

Schichtenfolge und -mächtigkeit in den Bohrungen, die nur wenige Meter tief sind und sich meistens in einer ufernahen Lage befinden, sind unterschiedlich. Das trifft nicht nur auf die organogenen Bildungen (Kalkgyttja, Torf) sondern auch auf die klastischen Ablagerungen (Ton, Kolluvium) zu. Im Wesentlichen ungelöst bleibt die Frage, ob die Ablagerung von Kolluvium begann, sobald das Gebiet eisfrei wurde und das Gelände noch anfällig für oberflächliche Abtragung war, also gleichzeitig mit der Ablagerung des Tons und auch schon gleichzeitig mit der Bildung von Kalkgyttja stattfand. In unserem 3D-Modell der Schichtlagerung sind die kolluviale Ablagerungen jünger als der Ton und die Kalkgyttja. Kalkgyttja wird hauptsächlich in ruhigem, sauberem und klarem Wasser mit hohem Kalkgehalt abgelagert (DE GRAAFF et al. 1989), während Kolluvium auf mehr oder weniger trübes Wasser deutet; gleichzeitige Ablagerung würde unterschiedliche Wasserbedingungen über kurze Strecken bedeuten. Ähnliches gilt für die Kalkgyttja und den Torf: in unserem Modell ist die Kalkgyttja älter als der Torf. Aber es kann nicht ausgeschlossen werden, dass der obere Teil der Kalkgyttja im westlichen Bereich gleichaltrig wie die jüngeren Torfschichten im östlichen Teil des Beckens ist. Palynostratigraphische Daten oder Altersdatierungen, die zur Lösung dieser Fragen beitragen könnten, sind nicht vorhanden. Erwähnenswert ist, dass das schluffige Kolluvium am südlichen Moorrand am Fuß einer Denudationsnische abgelagert wurde. Kleine Quellen, die sich hier manchmal bei starken Niederschlägen bilden, deuten auch auf oberflächliche Abtragung hin.

### 4.3 Regionale Bedeutung

Die Ergebnisse unserer Forschungen an der Beckenfüllung des Moores Turbastall ermöglichen, in einem Vergleich mit den Daten aus den Mooren Gasserplatz und Maria Grün (*Tab. 3*) Aussagen zu treffen, die das beste-

		Lithologie/Fazies			
		Turbastall		Gasserplatz (Bohrkern 2)	Maria Grün
Chronozone	OEGGL & HEIDENWOLF (2019)	dieser Beitrag		VAN MOURIK et al. (2013)	BURGA & CHÉDEL (2016)
Holozän	Torf	Torf	Kolluvium	Torf	Torf
Jüngere Dryas				hellgraue Kalkgyttja (mit dunkelbraunen geringmächtigen humosen Schichten)	grau-olive und dunkelbraune Fein- und Grobdetritusgyttja
Alleröd				kalkige Feindetritusgyttja	hellgraue Kalkgyttja
Ältere Dryas	Kalkgyttja, Feindetritusgyttja	(grau)weisse Kalkgyttja	Kolluvium?		
Bölling	Kalkgyttja				
	Tongyttja				
Älteste Dryas	Kalkgyttja				
		bläulichgrauer Ton		blauer Ton	graublauer Ton (mit Steinchen)
		Grundmoräne			Moräne
		Flysch (Fels)			

Tab. 3: Das Alter (Chronozonen) der Sedimentschichten der Moore Turbastall, Gasserplatz und Maria Grün. Bemerkenswert ist die unterschiedliche Faziesentwicklung im Laufe der Zeit.

hende Wissen über die landschaftliche Entwicklung des Gebietes im breiteren Sinne während des spätglazialen bis holozänen Klimawandels ergänzen. Bemerkenswert ist der Unterschied der Füllung vom Turbastall gegenüber denen vom Gasserplatz und von Maria Grün, mit dem Hinweis, dass die letztere weniger genau dreidimensional erforscht wurden. Die in der nördlichen Hemisphäre gut definierte klima-

bedingte Chronozonenwechselfolge Älteste Dryas – Holozän (Tab. 3; siehe RASMUSSEN et al. 2014 für eine Erläuterung dieser Begriffe) ist sowohl in den Ablagerungen vom Turbastall als auch in derjenigen von Gasserplatz und Maria Grün belegt. Sehr auffällig ist, dass die Schichtfolge in den Becken zeitlich unterschiedlich ist. Nicht nur überregionale Klimafaktoren sind lenkend, sondern auch lokale Bedingungen.

In ihrem Überblick der letzteiszeitlichen Gletschersysteme von Rhein und Reuss wurden die große Anzahl und Vielfalt der am Eisrand gebildeten Landformen und Ablagerungen an der Ostflanke des Vorarlberger Alpenrheintals und im Walgau (KELLER 1988b; SEIJMONSBERGEN et al. 2014; SIMONS 1985; TIEFENTHALER & DE GRAAFF 2016) von KAMLEITNER et al. (2023) nicht erwähnt. Diese Bildungen belegen das allmähli-

<sup>10</sup> Be-Daten (DE GRAAFF et al. 2023; KAMLEITNER et al. 2023)									
Probennummer	Stelle	Höhe	innere Unsicherheit (Jahre)	zentraler Wert (Jahre)	äußere Unsicherheit (Jahre)	1/Sigma^2	Mittelwert/Sigma^2	Mindestalter der Landform (Jahre)	
								gewichteter Mittelwert	äußere Unsicherheit
MUG01	Muggabill	874 m	1151	16172	1498	4,45632E-07	7,21E-03	16172	1498
TSC03	Tschengla	1227 m	671	15976	1160	7,43163E-07	1,19E-02	16275	649
TSC01		1155 m	556	16217	1110	8,11622E-07	1,32E-02		
TSC04		1223 m	500	16604	1104	8,20468E-07	1,36E-02		
LAT08	Latz	732 m	1789	15408	2009	2,47765E-07	3,82E-03	16344	779
LAT04		737 m	1741	15567	1970	2,57672E-07	4,01E-03		
LAT06		730 m	1433	16615	1738	3,31055E-07	5,50E-03		
LAT05		738 m	931	16712	1359	5,41453E-07	9,05E-03		
LAT02		735 m	1650	16874	1929	2,68742E-07	4,53E-03		
WOL03	St. Wolfgang	732 m	781	16374	1245	6,45151E-07	1,06E-02	16740	900
WOL02		743 m	2061	16675	2285	1,91526E-07	3,19E-03		
WOL07		774 m	1207	17366	1586	3,97552E-07	6,90E-03		
LIE05	Eschnerberg	690 m		16900	500	0,000004	6,76E-02	16900	500
GUR03	Gurtis	974 m	1409	18396	1782	3,14909E-07	5,79E-03	18396	1782
LIE05 von KAMLEITNER et al. (2023); andere Proben von DE GRAAFF et al. (2023)									

Tab. 4: <sup>10</sup>Be-Datierungen in dem Walgau und westlich von Feldkirch. Wir verweisen auf DE GRAAFF et al. (2023) und KAMLEITNER et al. (2023) für Erläuterungen zur Auswahl und Qualitätskontrolle der Daten.

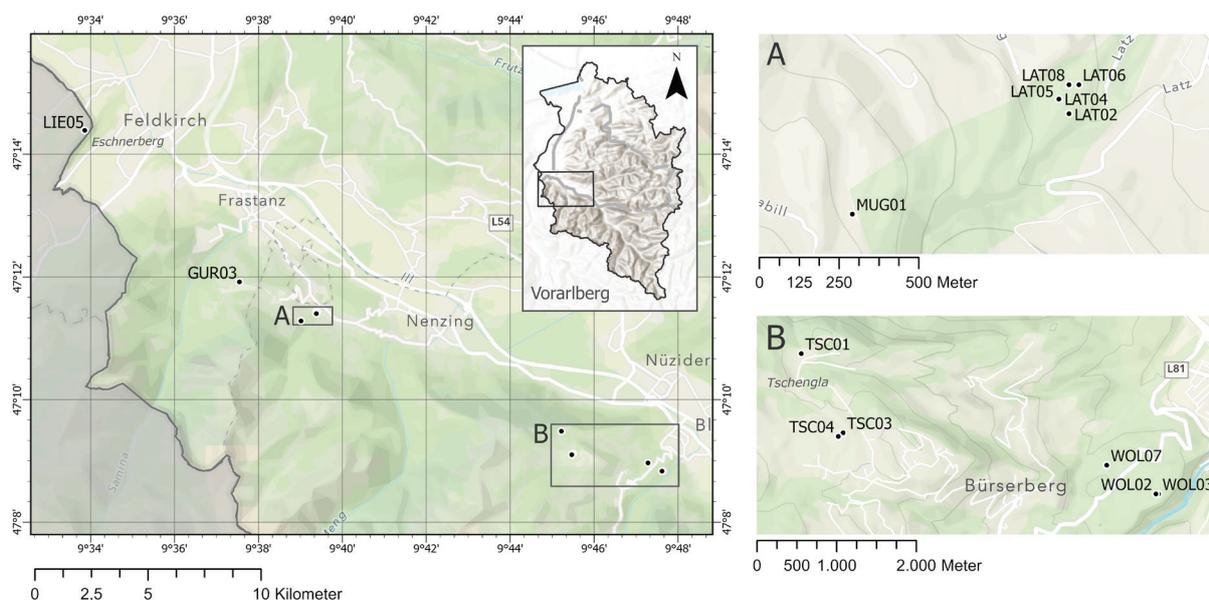


Abb. 7: Lage der  $^{10}\text{Be}$ -Datierungen (Tab. 4). Kartenhintergrund: ESRI 2024.

che Schmelzen der aktiven Rhein- und Ill-Gletscher (cf. KAMLEITNER et al. 2023); lokal stagnierte das Eis und es kam zu Toteisbildungen (SEIJMONSBERGEN 1992). Auf lokaler-regionaler Ebene wurden in morphostratigraphischen Studien stadiale Komplexe in der Abfolge abgegrenzt, z. B. das Weissbad-Stadium (KELLER 1987, 1988a, b; KELLER & KRAYSS 1987) und das etwas jüngere Feldkirch-Stadium (DE GRAAFF et al. 1989; JORDI 1977, 1986).

Morphostratigraphisch wird das Eisfreiwerden beim Gasserplatz (560 m ü. A.) von DE GRAAFF et al. (1989) und VAN MOURIK et al. (2013) etwa dem Feldkirch-Stadium gleichgestellt. Die Landformen um das Moor Maria Grün (540 m ü. A.) werden von BURGA & CHÉDEL (2016, siehe auch JORDI 1977, 1986) auch ins Feldkirch-Stadium gestellt (siehe auch unten). Auf Grund der ähnlichen Höhenlage und seiner Lokalisierung etwas stromaufwärts im Illtal glauben wir sagen zu können, dass der Turbastall mehr oder weniger gleichzeitig mit Gasserplatz und Maria Grün eisfrei wurde.

Die Chronologie der Schichtfolge vom Turbastall wird von uns durch den Vergleich mit dem Gasserplatz festgelegt. Die Pollenzonen, und damit die spätglazialen Chronozonen (Tab. 3), sind in beiden Mooren durch detaillierte Ana-

lysen belegt.  $^{14}\text{C}$ -Datierungen, die Erkennung von genau datiertem Tephra des Laacher Sees in der Schichtenfolge und der Vergleich von lokalen mit Grönländischen Sauerstoffsotopen-daten (VAN MOURIK et al. 2013) zeigen, dass die Serie von Bölling bis Jüngerer Dryas vom Gasserplatz zeitlich gut mit den Grönländischen Ereignissen GI-1 (Greenland Interstadial-1;  $14.692 \pm 4 - 12.896 \pm 4$  a b2k) und GS-1 (Greenland Stadial-1;  $12.896 \pm 4 - 11.703 \pm 4$  a b2k) übereinstimmen (RASMUSSEN et al. 2014). Wir glauben behaupten zu können, dass das Gleiche für den Turbastall gilt. Die Altersbestimmung der Schichten in Maria Grün ist weniger genau als die vom Gasserplatz durch Datierungen gestützt (BURGA & CHÉDEL 2016), die Chronologie ist aber mit hinreichender Sicherheit gleichzusetzen. Das Eisfreiwerden des Turbastalls und Umgebung – und deshalb auch des Gasserplatzes und von Maria Grün – kann auch annähernd anhand von rezent publizierten  $^{10}\text{Be}$ -Datierungen von Findlingen bestimmt werden (Tab. 4, Abb. 7; DE GRAAFF et al. 2023; KAMLEITNER et al. 2023). Auf Grund seiner Höhenlage wurde das Gebiet um Maria Grün ( $\approx 550$  m ü. A.) zweifelsohne später eisfrei als der relativ nahe – d. h. etwas mehr als 2,5 km weiter nordwestlich im Rheintal – gelegene

Eschnerberg ( $\approx 700$  m ü. A.), der beim spätglazialen Schwinden der großen Ill- und Rhein-Gletscher als ein Nunatak über die Eismassen hinaus ragte. Die  $^{10}\text{Be}$ -Datierung von einem Findling auf dem Eschnerberg (LIE05 in Tab. 4) belegt, dass diese Stelle mindestens vor  $16.900 \pm 500$  Jahren eisfrei war (GS-2.1a, Greenland Stadial-2.1a:  $17.480 - 14.692 \pm 4$  a b2k, RASMUSSEN et al. 2014). Ähnliches trifft auf den Gasserplatz zu (560 m ü. A., etwa 3,5 km westlich des Eschnerbergs). Die jüngeren Stufen der Abfolge von Eisrandlagen zwischen Gurtis und Latz (SEIJMONSBERGEN et al. 2014: S. 225; siehe auch SEIJMONSBERGEN 1992), etwa 5 km südöstlich von Maria Grün auf der Walgau-Südseite gelegen, haben ein Mindestalter von  $16.344 \pm 779$  Jahren; die Altersbestimmung auf Basis von fünf Messungen gilt als zuverlässig (Tab. 4: LAT02-08,  $\approx 735$  m ü. A.). Auf einer Höhe von 560 m ü. A. am Fuß der Walgau-Nordseite (Abb. 7) wurde der Turbastall zweifelsohne später eisfrei als die Abfolge zwischen Gurtis und Latz. Vorsichtig kann man daraus schließen, dass der Turbastall – und auch Gasserplatz und Maria Grün – nicht viel früher als vor etwa 16.000 Jahren eisfrei wurde (siehe auch Abschnitt 3.1).

Angemerkt sei, dass wir damit die Interpretation von BURGA & CHÉDEL (2016),

dass Maria Grün schon um 19-20 ka eisfrei war, nicht unterschreiben können.

#### 4.4 Schlussbemerkungen

Zum Schluss sei gesagt, dass unsere Studie im Bereich des Moores – so klein es auch sein mag – durchaus bemerkenswerte und für die Quartärforschung von Vorarlberg und Umgebung wichtige Einblicke in die spät- bis postglazialen Sedimentationsvorgänge in einem auf den ersten Blick einfachen Moor gegeben hat. Dazu kommt, dass das Einfügen der lokalen Daten in den regionalen Rahmen zu einem besseren Verständnis der spätglazialen Chronologie beiträgt. Das Moor Turbastall ist als Teilfläche des Biotops Eggwald (Biotop 10407; STAUDINGER 2023a, b) geschützt. Das Moor wurde von DE JONG et al. (2021b; siehe auch SEIJMONSBERGEN et al. 2014 und RFASE 2022) als potenziell schützenswertes Morphogeotop klassifiziert. Diese Auswertung wurde durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigt. Die Kombination von Biotop und potenziell schützenswertes Morphogeotop gibt dem Turbastall einen besonderen Platz in der Natur Vorarlbergs.

#### 5 Danksagung

Wir sind dem Museum inatura – Erlebnis Naturschau Dornbirn dankbar für die langfristige Unterstützung unserer Forschungen in Vorarlberg.

Georg Amann von Schöchla (Verein für Waldriedpflege in Schlins) ergriff die Initiative für diese Studie, hat uns die Thematik vorgelegt und hat das Manuskript kommentiert; wir sind ihm zu Dank verpflichtet.

Die LiDAR DGM Daten (2017) von Vorarlberg wurden freundlicherweise von der Abteilung Geoinformation, Landesamt für Vermessung und Geoinformation (Feldkirch, Vorarlberg) zur Verfügung gestellt.

Die Korngrößenanalysen wurden von R. L. van Hall, M.Sc., am Physical and Chemical Laboratory des Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics (IBED) der University of Amsterdam durchgeführt, wofür wir ihm herzlich danken.

Kartenhintergrund in *Abb. 1 und 7*: »Outdoor« und »World Hillshade« von ESRI (2024).

J. G. Friebe hat die deutsche Fassung des Textes redigiert.

#### 6 Autorenbeiträge

M. G. G. De Jong und A. C. Seijmonsbergen führten die Feldarbeit durch, sammelten und analysierten alle Daten. M. G. G. De Jong ist verantwortlich für das Manuskript, das von A. C. Seijmonsbergen kommentiert und ergänzt wurde. Aufbauend auf der Arbeit von H. P. Sterk und E. M. N. Polman entwickelte J. de Nobel die ESRI ArcGIS Pro-Routinen für das 3D-Modell. J. de Nobel hat auch die Abbildungen angefertigt.

#### 7 Ergänzende Daten

Das ArcGIS Pro 3D-Modell ist verfügbar unter:

[doi: 10.21942/uva.26928598.v2](https://doi.org/10.21942/uva.26928598.v2)

#### 8 Literatur

AMANN, G. & BURTSCHER, B. (o. J. [= 2018]): Interreg-Projekt „Kleingewässer“. Maßnahmen im Turbastall, Schlins. – Veröffentlicht auf <https://naturschutzbund.at/>.

[Permalink \(inatura\)](#)

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.

[doi: 10.1016/j.palaeo.2012.07.010](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.07.010)

BRAUMANN, S. M., SCHAEFER, J. M., NEUHUBER, S. & FIEBIG, M. (2022): Moraines in the Austrian Alps record repeated phases of glacier stabilization through the Late Glacial and the Early Holocene. – *Scientific Reports*, 12, 9438: 15 pp.

[doi: 10.1038/s41598-022-12477-x](https://doi.org/10.1038/s41598-022-12477-x)

BURGA, C. A. & CHÉDEL, M. (2016): Spät- und nacheiszeitliche Floren- und Vegetationsgeschichte der Region Feldkirch-St. Galler Rheintal am Beispiel des Pollenprofils von Mariagrün (544 m ü. M., Vorarlberg, Österreich). – *Bauhinia*, 26: 25-46.

[Permalink \(ZOBODAT\)](#)

DE GRAAFF, L. W. S., KUIJPER, W. J. & SLOTBOOM, R. T. (1989): Schlußvereisung und spätglaziale Entwicklung des Moorgebietes Gasserplatz (Feldkirch Göfis, Vorarlberg). – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 132(2): 397-413.

[Permalink \(ZOBODAT\)](#)

DE GRAAFF, L. W. S., KUIJPER, W. J. & SLOTBOOM, R. T. (1994): Das Moorgebiet Gasserplatz im Pleistozän: 3000 Jahre Biotop-Entwicklung und Klimageschichte nach der Schlußvereisung. – *Jahrbuch 1994. Vorarlberger Landesmuseumsverein – Freunde der Landeskunde*, 138: 9-29.

DE GRAAFF, L. W. S., DE JONG, M. G. G. & SEIJMONSBERGEN, A. C. (2007): Landschaftsentwicklung und Quartär. – In: FRIEBE, J. G. [Red.]: *Geologie der Österreichischen Bundesländer. Vorarlberg*: 174 S. (21-32); Wien (Geologische Bundesanstalt).

DE GRAAFF, L. W. S., RODÉS, Á., PALLAS SERRA, R., ANDERS, N. S., SEIJMONSBERGEN, A. C. & DE JONG, M. G. G. (2023): <sup>10</sup>Be age datings of Late Würmian erratics from Vorarlberg (Austria) and southern Germany. – *inatura - Forschung online*, 106: 8 S.; Dornbirn.

[urn:nbn:de:101:1-2023012416291953685552](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2023012416291953685552)

DE JONG, M. G. G., STERK, H. P., SHINNEMAN, S. & SEIJMONSBERGEN, A. C. (2021a): Hierarchical geomorphological mapping in mountainous areas. – *Journal of Maps*, 17(2), 214-224.

[doi: 10.1080/17445647.2021.1897047](https://doi.org/10.1080/17445647.2021.1897047)

DE JONG, M. G. G., SEIJMONSBERGEN, A. C. & DE GRAAFF, L. W. S., with contributions of POLMAN, E., SHINNEMAN, S., STEENVOORDEN, J., STERK, H. P. & ZITMAN, P. (2021b): Geomorphological Mapping, Geoconservation and Integration of Geodiversity and Biodiversity in

- Vorarlberg. Final Deliverables and Explanatory Notes, November, 2021. – unpublished report prepared for inatura: 32 pp.
- GRAY, M. (2013): *Geodiversity. Valuing and Conserving Abiotic Nature*. – 2<sup>nd</sup> Edition: 495 pp. (289-290); Chichester (Wiley-Blackwell).
- GRAY, M., FOX, N., GORDON, J. E., BRILHA, J., CHARKRABORTY, A., GARCIA, M. D. G., HJORT, J., KUBALIKOVÁ, L., SEJMONSBERGEN, A. C. & URBAN, J. (2024): Boundary of ecosystem services: A response to Chen et al. (0223). – *Journal of Environmental Management*, 351: 119666.  
[doi: 10.1016/j.jenvman.2023.119666](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119666)
- HAAGSMA, K. (1974): *Geomorfologische en glaciaalgeologische onderzoeken in de Walgau (Vorarlberg, Oostenrijk)*. – Ph.D. Thesis, Leiden University: 166 pp.
- HEIRI, O., KOINIG, K. A., SPÖTL, C., BARRET, S., BRAUER, A., DRESCHER-SCHNEIDER, R., GAAR, D., IVY-OCHS, S., KERSCHNER, H., LÜTSCHER, M., MORAN, A., NICOLUSSI, K., PREUSSER, F., SCHMIDT, R., SCHÖNEICH, P., SCHWÖRER, C., SPRAFKE, T., TERHORST, B. & TINNER, W. (2014): Palaeoclimate records 60-8 ka in the Austrian and Swiss Alps and their forelands. – *Quaternary Science Reviews*, 106: 186-205.  
[doi: 10.1016/j.quascirev.2014.05.021](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.05.021)
- JORDI, U. (1977): *Geomorphologische Untersuchungen im unteren Saminatal, im äußeren Walgau und in der Umgebung von Feldkirch (Vorarlberg)*. – Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit Geographisches Institut der Universität Bern: 122 S., Bern.
- JORDI, U. (1986): *Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch (Ostschweiz/Vorarlberg)*. – Dissertation Universität Bern. *Geographica Bernensia*, G 27: 168 S.
- KAMLEITNER, S., IVY-OCHS, S., MANATSCHAL, L., AKÇAR, N., CHRISTL, M., VOCKENHUBER, C., HAJDAS, I. & SYNAL, H.-A. (2023): Last Glacial Maximum glacier fluctuations on the northern Alpine foreland: Geomorphological and chronological reconstructions from the Rhine and Reuss glacier systems. – *Geomorphology*, 423: 108548 [26 pp.].  
[doi: 10.1016/j.geomorph.2022.108548](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108548)
- KELLER, O. (1987): Die Vergletscherung der Alpenrandzone zwischen Arlberg- und Rickenpass im älteren Spätwürm. Eisrand-Komplex des Weissbad-Stadiums (W/W). – Karte 1:100.000.
- KELLER, O. (1988a): Der stadiale Eisrandkomplex Weissbad, ein spätwürmzeitlicher Leithorizont im randalpinen Rheingletschergebiet. – *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., Suppl.-Bd. 70: 13-32.
- KELLER, O. (1988b): Ältere spätwürmzeitliche Gletschervorstöße und Zerfall des Eisstromnetzes in den nördlichen Rheinalpen (Weissbad-Stadium/Bühl-Stadium). – *Physische Geographie*, 27, Band A, Textband: 241 S.; Band B, Figuren und Abbildungen: 291 S.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1987): Die hochwürmzeitlichen Rückzugsphasen des Rhein-Vorlandgletschers und der erste alpine Eisrandkomplex im Spätglazial. – *Geographica Helvetica*, 42(2): 169-178.  
[doi: 10.5194/gh-42-169-1987](https://doi.org/10.5194/gh-42-169-1987)
- KRIVORUCHKO, K. & GRIBOV, A. (2019): Evaluation of empirical Bayesian kriging. – *Spatial Statistics*, 32: 100368.  
[doi: 10.1016/j.jspasta.2019.100368](https://doi.org/10.1016/j.jspasta.2019.100368)
- OBERHAUSER, R. (2007): *Geologische Karte von Vorarlberg 1:100.000*. – 1 Kt., Wien (Geologische Bundesanstalt).
- OEGGL, K. & HEIDENWOLF, P. (2019): Die spätglaziale und holozäne Vegetationsgeschichte des Moores "Turbastall" bei Schlins. Endbericht. – unveröff. Bericht i.A. inatura Erlebnis Naturschau GmbH und Land Vorarlberg, 25 S. & 1 Anh.
- OEGGL, K., KOFLER, W. & WAHLMÜHLER, N. (2005): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Montafon. – In: ROLLINGER, J. M. & ROLLINGER, R. [Hrsg.]: *Montafon 1. Mensch – Geschichte – Naturraum*: 183-207; Schruns (Stand Montafon).
- PREUSSER, F. (2004): Towards a chronology of the Late Pleistocene in the northern Alpine Foreland. – *Boreas*, 33(3), 195-210.  
[doi: 10.1111/j.1502-3885.2004.tb01141.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2004.tb01141.x)
- PREUSSER, F. (2010): Stratigraphische Gliederung des Eiszeitalters in der Schweiz, (Exkursion D am 8. April 2010). – *Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen geologischen Vereins*, N.F. 92: 83-98.
- PREUSSER, F., GRAF, H. R., KELLER, O., KRAYSS, E. & SCHLÜCHTER, C. (2011): Quaternary glaciation history of northern Switzerland. – *E&G Quaternary Science Journal*, 60(2/3): 282-305.  
[doi: 10.3285/eg.60.2-3.06](https://doi.org/10.3285/eg.60.2-3.06)
- RASMUSSEN, S. O., BIGLER, M., BLOCKLEY, S. P., BLUNIER, T., BUCHARDT, S. L., CLAUSEN, H. B., CVJANOVIC, I., DAHL-JENSEN, D., JOHNSEN, S. J., FISCHER, H., GKNIS, V., GUILLEVIC, M., HOEK, W. Z., LOWE, J. J., PEDRO, J. B., POPP, T., SEIERSTAD, I. K., STEFFENSEN, J. P., SVENSSON, A. M., VALLELONGA, P., VINSTER, B. M., WALKER, M. J. C., WHEATLEY, J. J. & WINSTRUP, M. (2014): A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. – *Quaternary Science Reviews*, 106: 14-28.  
[doi: 10.1016/j.quascirev.2014.09.007](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.09.007)  
[See references in this paper for other NGRIP publications].
- RFASE & UVA-IBED [eds.] (2021): *Mapping the geomorphology of mountainous areas. A novel hierarchical method developed for two case study areas in Vorarlberg, Austria*. – veröffentlicht im Internet.  
[Permalink: https://arcgis.com/jvvy4](https://arcgis.com/jvvy4)
- RFASE & UVA-IBED [eds.] (2022): *Identifying valuable landscapes in Vorarlberg. A toolbox for geomorphological mapping, geo-conservation assessment and integrating geomorphology and biotopes in Vorarlberg, Austria*. – veröffentlicht im Internet.  
[Permalink: https://bit.ly/vorarlberg-storymap](https://bit.ly/vorarlberg-storymap)
- RUPKE, J. & DE JONG, M. G. G. (1983): Slope collapse destroying ice marginal topography in the Walgau (Vorarlberg, Austria). An example of the application of a 1:10.000 geomorphological mapping system. – *Materialien zur Physiogeographie*, 5: 33-41.
- SCHREIBER, H. (1910): *Die Moore Vorarlbergs und des Fürstentums Liechtenstein in naturwissenschaftlicher und technischer Beziehung*. – 177 S., Staab (Deutsch-Österreichischer Moorverein).  
[urn:nbn:de:hebis:30-4-235618](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hebis:30-4-235618)

- SEJMONSBERGEN, A. C. (1992): Geomorphological evolution of an alpine area and its application to geotechnical and natural hazard appraisal in the NW-Rätikon mountains and S-Walgau (Vorarlberg, Austria) (including map series at 1:10,000 scale). – Thesis Vakgroep Fysische Geogr. en Bodemk., Facult. Ruimtelijke Wetenschappen, Univ. van Amsterdam: 109 pp.
- SEJMONSBERGEN, A. C., DE JONG, M. G. G., DE GRAAFF, L. W. S. & ANDERS, N. S. (2014): Geodiversität von Vorarlberg und Liechtenstein. Geodiversity of Vorarlberg and Liechtenstein. – Bristol-Schriftenreihe, 41: 304 S.; Zürich (Bristol Stiftung), Bern (Haupt).
- SIMONS, A. L. (1985): Geomorphologische und glazialgeologische Untersuchungen in Vorarlberg, Österreich. – Schriften des Vorarlberger Landesmuseums. Reihe A: Landschaftsgeschichte und Archäologie, 1: 257 S.
- STAUDINGER, M. (2023a): Aktualisierung des Biotopinventars Vorarlberg. Gemeinde Bludesch [2008]. – Aktualisierte Fassung: 45 S.; Bregenz (Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung IVE Umwelt- und Klimaschutz).
- STAUDINGER, M. (2023b): Aktualisierung des Biotopinventars Vorarlberg. Gemeinde Schllins [2008]. – Aktualisierte Fassung: 42 S.; Bregenz (Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung IVE Umwelt- und Klimaschutz).
- TIEFENTHALER, H. & DE GRAAFF, L. W. S. (2016): Wege zur Eiszeitlichen Landschaftsgeschichte auf der Walgau-Nordseite. – Bludenzler Geschichtsblätter, 113: 23-44.
- VAN MOURIK, J. M., SLOTBOOM, R. T., VAN DER PLICHT, J., STREURMAN, H. J., KUIJPER, W. J., HOEK, W. Z. & DE GRAAFF, L. W. S. (2013): Geochronology of *Betula* extensions in pollen diagrams of Alpine Late-glacial lake deposits: A case study of the Late-glacial deposits of the Gasserplatz soil archives (Vorarlberg, Austria). – In: KLUIVING, S. J., VAN MOURIK, J. M., BARBANTE, C. & ZACCONE, C. (Eds.): Soil as a Record of the Past. Quaternary International, 306: 3-13.  
[doi: 10.1016/j.quaint.2013.04.018](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.04.018)
- VAN RADEN, U. J., COLOMBAROLI, D., GILLI, A., SCHWANDER, J., BERNASCONI, S. M., VAN LEEUWEN, J., LEUENBERGER, M. & EICHER, U. (2013): High-resolution late-glacial chronology for the Gerzensee lake record (Switzerland):  $\delta^{18}\text{O}$  correlation between a Gerzensee-stack and NGRIP. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 391(B), 13-24.  
[doi: 10.1016/j.palaeo.2012.05.017](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.05.017)

## Appendix: Data of borings and observation points (English)

Date of field work	Borehole number; observation point (OP)	Top (m)	Z (m; calculated from 2017 DEM)	Field observations			Remarks	Samples (Table 2 of text)	Final interpretation of layering & types	Lake levels
				Lithology	Colour	Colour				
27.07.2020	1	0,00	peat, humic	black	clayey (<10%) clayey (<10%), woody fragments	drilling stopped due to wood fragment	HS 1a 27/7/2020 @ 70-80 cm HS 1b 27/7/2020 @ 215-230 cm	3: peat s./f. (0-240 cm)		
		1,70	peat, humic	brownish black						
		2,40	Total Depth							
27.07.2020	2	0,00	litter	brown		occ. roots (brown) drilling stopped due to wood fragment	HS 2 27/7/2020 @ 80 cm	1: silty colluvium (incl. soil) (0-100 cm)		
		0,03	A horizon, homogeneous	medium grey						
		0,50	loamy clay, slightly sandy	grey-green mottled (gley)						
		1,00	Total Depth							
27.07.2020	3	0,00	litter	brown		rooting down to 30 cm; similar to borehole 1 similar to borehole 2, no mottling (gley) drilling stopped due to unpenetrable clay	HS 3 27/7/2020 @ 100 cm (estimate)	3: peat s./f. (0-70 cm)  1: silty colluvium (70-135 cm)		
		0,03	peat, humic	black						
		0,70	loamy clay, slightly sandy	grey						
		1,35	Total Depth							
27.07.2020	4	0,00	litter	brown		section possibly disturbed (by man)  similar to borehole 3 drilling stopped due to unpenetrable clay	HS 5 27/7/2020 @ 120 cm (estimate)	3: peat s./f. (0-150 cm)  1: silty colluvium (150-170 cm)		
		0,02	peat, humic	black						
		0,50	gyttja? (calcareous? shell fragments?)	greyish white						
		0,55	peat, humic	black						
		1,50	loamy clay, slightly sandy	grey						
		1,70	Total Depth							
27.07.2020	5	0,00	rooted soil	blackish		tiny rock fragments drilling stopped due to unpenetrable material	HS 5 27/7/2020 @ 120 cm (estimate)	1: silty colluvium (incl. soil) (0-150 cm)		
		0,10	loamy soil	beige-black						
		0,30	loam	beige						
		1,50	Total Depth							
28.07.2020	6	0,00	litter and roots	brown-black		somewhat crumbly; similar to borehole 2 occ. snail fragment; occ. small rock fragment (drop stone?); similar to borehole 2 drilling stopped due to unpenetrable clay	HS 5 27/7/2020 @ 120 cm (estimate)	3: peat s./f. (incl. soil) (0-30 cm)  1: silty colluvium (30-80 cm)		
		0,05	organic rich soil	blackish						
		0,30	loamy clay	greyish						
		0,60	loamy clay	greyish mottled (gley)						
		0,80	Total Depth							

Appendix: Data of borings and observation points (English) - continued

Date of field work	Borehole number; observation point (OP)	Top (m)	Z (m; calculated from 2017 DEM)	Field observations			Remarks	Samples (Table 2 of text)	Final interpretation of layering & types	Lake levels
				Lithology	Colour	Remarks				
28.07.2020	7	0,00	564,84	roots	brown					
		0,01	564,83	soil with some roots	brown					
		0,10	564,74	loam	beige (some mottling, grey)	tiny rock fragments; rare shell fragments			1: silty colluvium (incl. soil) (0-95 cm)	
		0,95	563,89	Total Depth		drilling stopped due to unpenetrable material				
28.07.2020	8	0,00	562,33	litter	brown					
		0,10	562,23	peat, humic	black				3: peat s.l. (incl. soil) (0-40 cm)	
		0,40	561,93	diamicton	greyish, somewhat mottled	not very compact; mica schist rock fragments				
		0,75	561,58	diamicton	greyish, no mottling	not very compact; mica schist rock fragments			6: subglacial till (40-110 cm)	
		1,10	561,23	Total Depth		drilling stopped due to unpenetrable material				
28.07.2020	9	0,00	562,24	litter and roots	brown					
		0,10	562,14	peat, humic	black				3: peat s.l. (incl. soil) (0-175 cm)	
		1,75	560,49	loamy clay, slightly sandy	greyish				1: silty colluvium (175-190 cm)	
		1,90	560,34	wood fragment	brownish					
		2,10	560,14	Total Depth		drilling stopped due to wood fragment			3: peat s.l. (190-210 cm)	
02.08.2021	10	0,00	561,37	clay, humic	greyish black	occasional mica schist rock fragments				
		0,90	560,47	peat, humic, slightly clayey	black	wood fragments			2: clayey colluvium (0-90 cm)	
		1,35	560,02	clay, humic	brownish black	transition layer?			3: peat s.l. (90-135 cm)	
		1,40	559,97	gyttja	off white	shell fragments				
		2,10	559,27	gyttja	off white	few/no shell fragments			4: calcareous gyttja (135-360 cm)	560 m; highest occurrence in borehole 10 = minimum 'gyttja' lake level
		3,20	558,17	thinly laminated clay and gyttja	blueish grey	transition layer				
		3,60	557,77	clay	blueish grey	relatively soft, non-compacted			5: lacustrine clay (360-390 cm)	
		3,90	557,47	Total Depth		drilling stopped due to unpenetrable material				
02.08.2021	11	0,00	561,35	clay, humic	greyish black					
		1,15	560,20	peat, humic	black				2: clayey colluvium (0-115 cm)	
		2,70	558,65	Total Depth		drilling stopped due to large wood fragment			3: peat s.l. (115-270 cm)	

Appendix: Data of borings and observation points (English) - continued

Date of field work	Borehole number; observation point (OP)	Top (m)	Z (m; calculated from 2017 DEM)	Field observations			Remarks	Samples (Table 2 of text)	Final interpretation of layering & types	Lake levels
				Lithology	Colour	Texture				
02.08.2021	12	0,00	560,45	clay, humic	greyish black			2: clayey colluvium (0-30 cm)		
		0,30	560,15	peat, humic, slightly clayey	black	wood fragments		3: peat s.l. (30-65 cm)		
		0,65	559,80	gyttja	off white			4: calcareous gyttja (65-280 cm)		
		2,80	557,65	clay	blueish grey	relatively soft, non-compacted		5: lacustrine clay (280-310 cm)		
		3,10	557,35	Total Depth		drilling stopped due to unpenetrable material				
02.08.2021	13 (OP)	0,00	563,83	Flysch rock fragments at surface	greyish			7: Flysch bedrock		
02.08.2021	14 (OP)	0,00	558,65	diamicton	yellowish	poor quality exposure in small streambed		6: subglacial till		
2016	0		560,79	peat				1: peat (0-418 cm)		
			556,61	gyttja				5: gyttja (418-443 cm)		
			556,36	unknown				? (443-? cm)		

Lithology types  
 1: silty colluvium  
 2: clayey colluvium (organic-rich)  
 3: peat s.l. (p.p. clayey)  
 4: calcareous gyttja  
 5: lacustrine clay  
 6: subglacial till  
 7: Flysch bedrock

0 : (OEGGL & HEIDENWOLF, 2019)

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Inatura Forschung online](#)

Jahr/Year: 2024

Band/Volume: [123](#)

Autor(en)/Author(s): De Jong G.G. Mat, de Nobel Jeroen, Polman Emma M. N., Sterk Henk Pieter, Seijmonsbergen Harry Arie Christoffel

Artikel/Article: [insgeDie spätglaziale und holozäne Beckenfüllung des Moores »Turbastall« bei Schlins \(Vorarlberg, Österreich\) 1-16](#)