

# Zur Bildung von Quellmoor-Kuppen mit Quellkalk-Bildungen bei Habernis und Curau (nördliches und mittleres Schleswig-Holstein)

Alf Grube, Hartmut Usinger

## How to cite:

GRUBE, A. & USINGER, H. (2016): Zur Bildung von Quellmoor-Kuppen mit Quellkalk-Bildungen bei Habernis und Curau (nördliches und mittleres Schleswig-Holstein). – E&G Quaternary Science Journal, 65 (2): 156–173. DOI: 10.3285/eg.65.2.04

## Kurzfassung:

Quellmoor-Kuppen mit Kalkbildungen wurden an den Standorten Habernisser Au (Flensburger Förde) und Curauer Moor (Ostholstein) mittels geologischer Methoden und  $^{14}\text{C}$ - und Pollen-Datierungen untersucht. Quellaustritte gespannten Grundwassers zeigen punktuelle, lineare oder flächenhaft ausgebildete Zutrittsstellen, die primär angelegt sein, oder durch glazitektonische sowie erosive Prozesse gebildet werden können. Sie führen örtlich zur Bildung von kleinräumigen morphologischen Kuppen und Wällen aus Mudden, Torfen und Quellkalkbildungen. Die im Jung- und Altmoränenbereich gleichermaßen auftretenden Formen besitzen Durchmesser von bis zu 160 m, Höhen von bis >3 m bzw. Längen von einigen hundert Metern. In Habernis zeigen Karbonat-Datierungen an einem Bohrkern (8.065–6.650 cal  $^{14}\text{C}$  a BP) über eine Gesamt-Teufe von ca. 3,6 m (1,82–5,43 m u. GOK) eine weitgehend konsistente Altersabfolge im Atlantikum und frühen Subboreal. Die an demselben Kern durchgeführten pollenanalytischen Datierungen an limnisch-telmatischen Sedimenten stimmen damit überein. Hiermit ist die Kalkbildung im Vergleich zu anderen Standorten in Mitteleuropa verhältnismäßig kurz gewesen. Im Torfrücken des Curauer Moores erfolgte die Sedimentation limnisch-telmatischer Ablagerungen ab dem Atlantikum, hielt im Subboreal an und reichte bis in das Subatlantikum (6.800 und 1.750 cal  $^{14}\text{C}$  a BP). Die Karbonatsedimentation setzte nach den  $^{14}\text{C}$ -Datierungen bereits vor 11.220 Jahren ein (frühes Präboreal) und ist damit lang im Vergleich zu anderen Quellkalk-Standorten in Mitteleuropa. Die geologischen Verhältnisse in Habernis und Curau weisen auf eine vorwiegend klimatisch gesteuerte Kalkausfällung hin.

## Genesis of spring fed raised hummocks with tufa deposits at Habernis and Curau (northern and central Schleswig-Holstein, Germany)

## Abstract:

Spring fed raised hummocks with tufa deposits were examined by geological methods and  $^{14}\text{C}$ - and pollen-datings at the sites Habernis Au (Schleswig-Flensburg) and Curauer Moor (Eastern Holstein). Spring discharges of confined groundwater occur punctually, linearly or as an irregular areal distribution. These structures are formed either primarily, or by glazitektonic as well as erosive processes. In these locations, dome shaped forms and ridges of organic silt, peat and tufa can develop. Both forms occur in Saalian and Weichselian glacial landscapes. The extent can be up to 160 m in diameter, or respectively, several hundred meters in length and more than 3m in height. In Habernis,  $^{14}\text{C}$ -data from a drilling core in tufa show between 1.82 to 5.43 m below the surface a basically consistent age sequence from Atlantic to early Subboreal (8.065–6.650 cal  $^{14}\text{C}$  a BP). Palynological investigations of peat and organic mud in the same core confirm these ages. This tufa sedimentation is short compared to other locations in Central Europe. At Curau, the peat formation is dated between 6.800 and 1.750 cal  $^{14}\text{C}$  a BP, therefore it is confined to the Atlantic, Subboreal and the Subatlantic. According to the  $^{14}\text{C}$ -data, the tufa sedimentation started already at 11.220 cal  $^{14}\text{C}$  a BP (early Preboreal) and is therefore long compared to other tufa locations in Central Europe. The geological settings at Habernis and Curau indicate a predominantly climatically controlled tufa precipitation.

## Keywords:

*spring mire, locally elevated calcareous bogs, tufa, climate change, paleohydrogeology*

**Addresses of authors:** Dr. Alf Grube, Geologisches Landesamt, Behörde für Umwelt und Energie, Neuenfelder Straße 19, D-21109, Hamburg, E-Mail: alf.grube@bue.hamburg.de; Dr. habil. Hartmut Usinger†, ehemals Institut für Ökosystemforschung, Abteilung: Paläoökologie, Olshausenstraße 75, 24118 Kiel

## 1 Einleitung

Quellmoor-Kuppen in Tälern und Mooren Norddeutschlands treten durch örtlich begrenzte, vertikale Zutritte von gespanntem oder lateral zutretendem Grundwasser auf. Teilweise finden sich an diesen Orten Quellkalkablagerungen. Aufgrund der besonderen hydrologischen Bedingungen sowie den entsprechenden Nährstoff- und pH-Bedingungen findet sich an den Austrittsorten häufig eine

seltene Flora und Fauna. Durch die vorwiegend landwirtschaftlich orientierte Entwässerung und die allgemeine Veränderung der Gebietshydrologie (z.B. Flussvertiefung, -begradigung, Grundwasser-Absenkung; vgl. KAISER et al. 2012) sind vermutlich viele dieser Strukturen verändert oder zerstört worden. Eine Renaturierung von zerstörten Quellbereichen ist nicht oder nur schwer durchzuführen (GROOTJANS et al. 2015, vgl. MARTIN & BRUNKE 2012), was diese Standorte als besonders sensibel und wertvoll aus-

weist. Aus Sicht des Geotopschutzes sind diese Bereiche hochgradig schutzwürdig, da sie Beispiele der Aktuo-Geologie sind, sie vor allem aber wichtige Archive der Klima- und Landschaftsentwicklung darstellen. In dieser Arbeit wird speziell auf morphologisch hervortretende Formen im Bereich der Täler der Habernisser Au (Südost-Seite der Flensburger Förde) und des Curauer Moores (nördlich Lübeck) eingegangen (Abb. 1). Aufgabe dieser Publikation ist die Darstellung des Aufbaus und des Alters der Strukturen sowie eine Interpretation ihrer Genese, unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse vor dem Hintergrund von Geotopschutz und Moorstratigraphie.

Die Ausfällung von Sinterkalk ist vorwiegend vom Kohlen säuregehalt des Wassers abhängig. Maßgebliche Faktoren sind dabei in den kalkhaltigen Grundwässern Norddeutschlands eine Temperaturerhöhung und Druckentlastung (HEYKES 1931, GROSCHOFF 1969, BAKALOWICZ 1990). Die photosynthetische Aktivität ( $\text{CO}_2$ -Entzug durch Algen und andere Pflanzen) und der Einbau in Kalkschalen von Schnecken usw. spielen ebenso eine größere Rolle. Calcit dominiert dabei über Aragonit als maßgebliche Mineralphase. Generell wird bei Kalkausfällungen in Torfen Calciumcarbonat in Form von Bändern gebildet (MOORE & BEL-LAMY 1974), massive Kalke (Sinterkalk) sind demnach selten. Zum Alter von Quellkalkbildungen liegen für Mitteleuropa wenige Informationen vor (vgl. auch COUWENBERG et al. 2001). Von LAUMETS, KALM & SOHAR (2010) wird nach einem Vergleich von Literaturangaben die Hauptphase der Tufa-Bildung (engl. Tufa = Quellkalk) mit 9.400–7.400 a BP angegeben. Nach PAZDUR et al. (2002) lag die Hauptphase der Bildung während des Klimatischen Optimums ca. 5.000–6.000 Jahre vor Heute. Die hydrogeologischen Bedingungen, die zur Bildung von Quellmoor-Kuppen führen können, werden in verschiedenen Arbeiten diskutiert (vgl. CARPENTER 1995). Hierzu gehören auch durch glazigene Lockersedimente geprägte Standorte, etwa gespannte Grundwasserleiter im Liegenden von Beckenablagerungen, die lokal durch Sandeinschaltungen durchbrochen sind.

## 2 Bisheriger Kenntnisstand zu Quellkalkbildungen mit Schwerpunkt Norddeutschland

In Norddeutschland werden jüngere Quellkalkausfällungen häufig in stehenden Gewässern gebildet (z. B. Kellersee, THIENEMANN 1922, SCHUSTER 1926; Schaalsee, MENDE 1956, Böcker-Quellen bei Lütjenburg, STREHL 2001; Belauer See, DÖRFLER et al. 2012). Flächenhafte, mächtige Kalkbildungen wie Feindetritus-Kalkmudden füllen teilweise die Niederungen aus. LENZ (1924) beschreibt Quellkalkbildungen aus dem Plöner See, die er von den benachbarten limnischen Kalkbildungen abgrenzt. THIENEMANN (1922) erörtert ebenfalls das verzahnte Vorkommen von Quellkalksinter und Kalkmudden. Kalkquell-Moore sind eine verbreitete Erscheinung in Nordwestdeutschland, sie treten nach RAABE (1980) in Schleswig-Holstein vorwiegend im östlichen Hügelland auf (vgl. Abb. 1).

Bei Vorhandensein können jedoch auch morphologisch positive Formen gebildet werden. Quellmoor-Kuppen und weitere, morphologisch im Landschaftsbild hervortretende Formen sind so in der Literatur verschiedentlich aus dem norddeutschen, bzw. nord-/mitteleuropäischen Bereich be-

schrieben worden. Meist handelt es sich dabei um geologisch-botanisch orientierte Arbeiten, die sich nicht näher mit der hydrogeologischen Funktionsweise der Quellbereiche befassen. Bereits WEBER (1907) beschreibt Quellmoor-Kuppen mit lokal enthaltenen Kalk- und Limonit-Bildungen als häufige Erscheinung der Endmoränengebiete Norddeutschlands. KEILHACK (1928) nennt Quellmoor-Kuppen, in denen bis zu 5 m mächtige Kieselgur schildförmig aufgewölbt wurde. Die Aufwölbung wird hier auf eine Volumenzunahme bei der Umwandlung von Eisenvitriol in Schwefeleisen durch Zutritt von Eisensulfat im artesisch zutretenden Grundwasser zurückgeführt. Hügelartig flach aufgewölbte Moore werden durch VON BÜLOW (1929) erwähnt. Diese ohne Angabe des Fundortes beschriebenen Hügel bestehen demnach aus einer Mischung aus kalkigen Ablagerungen, Humus und Torf. Nach VON BÜLOW dominieren bei Quellmooren häufig Kalkablagerungen gegenüber Torfen. JÄGER (1966) untersuchte limnisch-fluviatile Sinterkalkbildungen an den Lokalitäten Ehringsdorf und Bilzingsleben, die bekanntlich eine große Relevanz für die Pleistozän-Stratigraphie besitzen (MALLIK 2000, MANIA & ALTERMANN 2005, MÜLLER & PASDA 2011). JÄGER (1966) erwähnt weiterhin Quellmoor-Kuppen aus der Slowakei. SUCCOW (1988) erwähnt eine Quellmoor-Kuppe in Hanglage nördlich Steglitz (Prenzlau). PÄZOLT (1999) bearbeitete 4 Hangquellmoore im Übertal (Brandenburg), die am Talrand durch Schichtquellen gebildet wurden. ALAILY et al. (2001) beschreiben sehr junge, geringmächtige und flachgründig auftretende Quellkalke aus dem Bereich Tegeler Fließ/Berlin-Blankenfelde. SUCCOW, STEGMANN & KOSKA (2001) zeigen Beispiele von Hangquellmooren bei Prenzlau und Werder/Beseritz (Neubrandenburg). Diese Autoren weisen darauf hin, dass Quellmoor-Hügel in Bereichen ohne ursprüngliche artesische Verhältnisse auftreten können, wenn die Austrittsfläche von Torfen überwachsen wird. STEGMANN (2005) untersuchte Hangquellmoore im Sernitz-Tal (Brandenburg).

Aus Niedersachsen beschreibt TÜXEN (1985b) u. a. Quellmoore mit Kuppenbildung („Zuckerhüte“) aus dem Tal-Bereich des Seeve-Tales (nördliches Niedersachsen, vgl. auch TÜXEN 1990). Die Kuppen haben eine Höhe von 1–2,5 m und einen Durchmesser von 25–60 m. Sie sitzen flach gelagerten Mittelsanden (fein- und grobsandig) auf und bestehen aus einer Abfolge von Mudden sowie hangenden Seggentorfen und Niedermoortorfen (Aufwuchs aus kleinen Seen), bzw. Niedermoortorfen über Seggentorfen. Daneben finden sich hier Quellmoor-Kuppen, die dem Geesthang angelagert sind und die ebenfalls Niedermoortorfe im Hangenden von Seggentorfen zeigen. Die Torfmächtigkeiten werden mit bis zu 2,7 m angegeben. Als Einschaltungen werden von TÜXEN Fein- und Mittelsand sowie seltener Braunmoos-, Schilf und Erlenbruchwald-Torf erwähnt. Auf den Kuppen können offene Wasserflächen vorkommen. Weiterhin werden geestferne Quellmoor-Rücken (Niedermoortorfe im Hangenden von Seggentorfen) erwähnt. TÜXEN (1985a) beschreibt vergleichbare Formen auch aus dem Aubachtal und Nordbachtal (Hanstedt, nördl. Niedersachsen). Er weist auf deren ubiquitäre Verbreitung hin. Aus dem Nordbachtal beschreibt TÜXEN auch einen langgestreckten Quellmoor-Rücken mit einer Länge von 500 m. TÜXEN macht keine genaueren

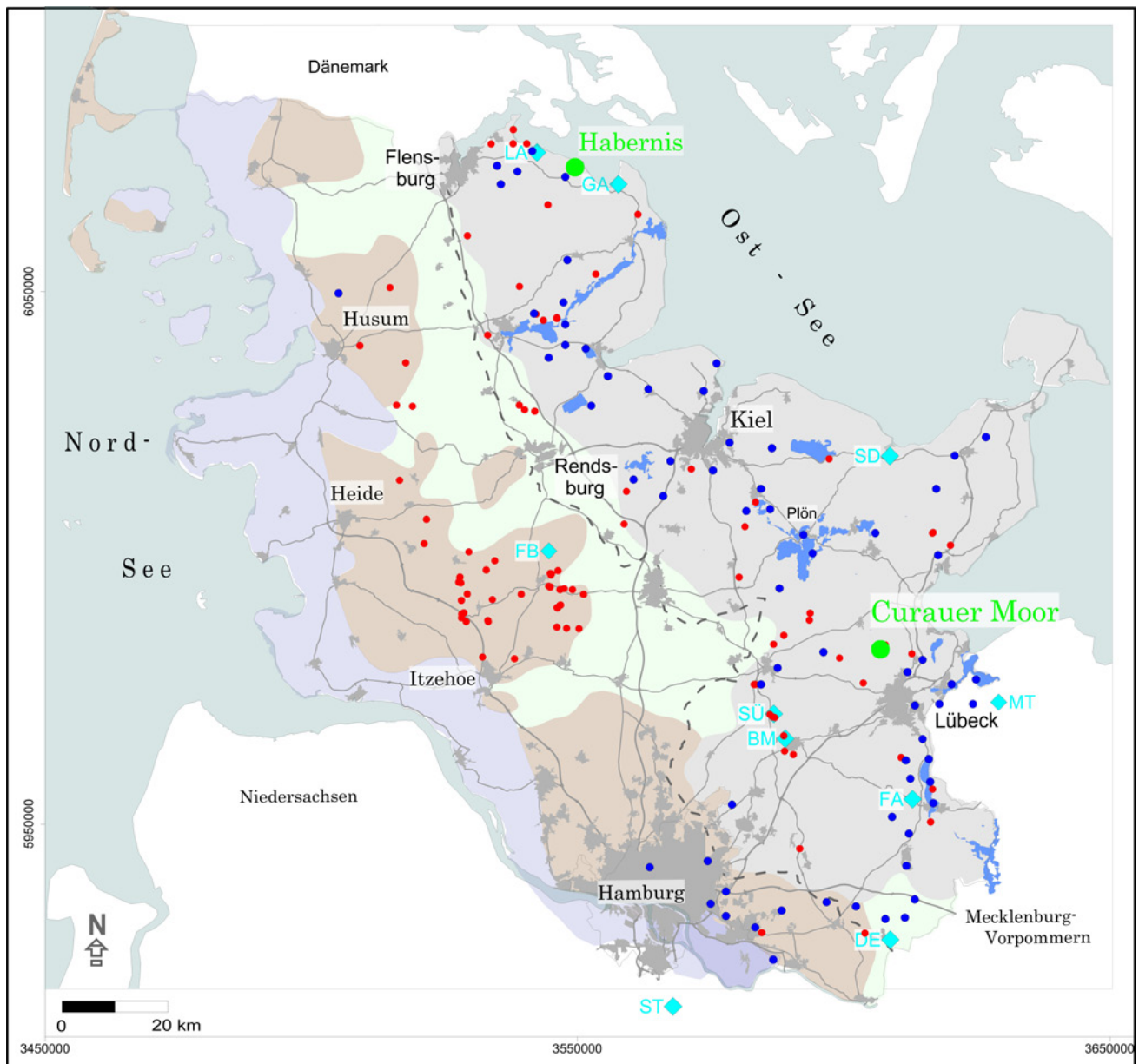


Abb. 1: Vorkommen von Quellbereichen mit kuppenförmiger Ausbildung (rote Punkte; nach LLUR (1978-1994) / Biotopkataster Schleswig-Holstein, ergänzt durch eigene Aufnahmen) und Kalkquellmooren (blaue Punkte) nach RAABE (1980) in Schleswig-Holstein sowie Lage der im Text erwähnten Standorte Habernis und Curau (grün) und weitere Orte (türkis). Abkürzungen: BM = Brenner Moor, DE = Delvenau, FA = Farchau, FB = Farbeberge, GA = Geltinger Au, LA = Langballigau, MT = Maurinetal, SD = Sechendorf, ST = Seevetal, SÜ = Sühlen.

Fig. 1: Occurrence of dome-shaped spring areas (red dots; LLUR (1978-1994) / biotope register Schleswig-Holstein, supplemented by own mappings) in Schleswig-Holstein and calcareous spring mires (blue dots) after RAABE (1980) and position of locations Habernis and Curau (Green) and other locations mentioned in the text (turquoise). Abbr.: BM = Brenner Moor, DE = Delvenau, FA = Farchau, FB = Farbeberge, GA = Geltinger Au, LA = Langballigau, MT = Maurinetal, SD = Sechendorf, ST = Seevetal, SÜ = Sühlen.

Angaben zur Bildung der verschiedenen morphologischen Quellformen.

Aus Mecklenburg-Vorpommern liegen grundlegende Untersuchungen von KIRCHNER (1971) vor, der wenige Meter mächtige Sinterkalke als Bildungen aus Quellen im Bereich von Hangquellmooren mit Überdeckung aus geringmächtigen Torfen beschreibt. Diese sind allerdings morphologisch nicht deutlich erkennbar. KIRCHNER (1975) führt als Erkennungsmerkmale für durch gespannte Grundwasser entstandene Formen an: Bildung in sandig-kiesigen, heute vermoorten Auen als Exfiltrationsgebiete (Entlastungszone), Reliefaufwölbungen, Vorkommen von Quell-Sinterkalk, starke Torfzersetzung, ein verstärktes Auftreten

von Eisen-Ausfällungen, bzw. Ocker sowie die spezifische Art der Vernässung. PAULSON (2001) schildert kleinräumig aufgewölbte Mooroberflächen (Kuppen) in Karstmooren auf Rügen, sieht diese jedoch nicht als Quellmoor-Kuppen, sondern vielmehr als Regenmoorinitiale und das Ergebnis eines zentrifugalen Moorwasser-Abstroms. BREMER (1996) beschreibt zahlreiche, uhrglasförmig aufgewölbte Quellmoor-Kuppen (Quellkalkmoore) aus dem Bereich des Maurine-Tales (Schönberg, Mecklenburg-Vorpommern), die eine Höhe von 1 bis 5 m und einen Durchmesser von bis zu wenigen 100 m haben. In den oberen 2 m sind hier kalkhaltige Torfe unterschiedlicher Zusammensetzung nebst muddeartigen Ablagerungen mit Kalklagen, Kalkkörnern und



Molluskenresten vorhanden (vgl. DANN 2003). Der Großteil dieser Kuppen liegt im Talbereich (Aufwachsen aus Talboden), einige kommen an Talhängen und „Inseln“ aus pleistozänem Material, bzw. benachbart zu diesen vor. Ihre Entstehung wird mit einer Änderung des Kalk-/Kohlensäure-Gleichgewichtes bei der Druckentlastung des Grundwassers und Erwärmung der Quellwässer sowie dem Kontakt mit Sauerstoff erklärt. Quellmoor-Kuppen von 20 m Durchmesser und 2 m Höhe sind nach W. SCHULZ (freundl. Mitt., März 2010) am Malchiner See (zentral. Meckl.-Vorpomm.) vorhanden.

Für Schleswig-Holstein liegen frühe Beschreibungen von PETERSEN (1892) vor, der am Farbeberg (Nindorf, NE Hohenwestedt) aufgeschlossene Mächtigkeiten von 5 m Wiesenkalk beobachtete, überlagert von 1 m „Moorerde“. SCHUSTER (1926) beschreibt ein Quellsumpfdelta als morphologische Form am Kellersee, welches durch Quelltigkeit und entsprechende kalkige Ablagerungen sowie Torfe gebildet wurde. Es wurde im Rahmen des Kalkabbaus abgetragen (THIENEMANN 1922, PETERS 1955). GRIPP (1964) nennt verschiedene Quellmoore an Hängen (Farbeberg bei Nindorf, Farchau, Sechendorf, Sühlen). RAABE (1980) berichtet über Quellmoor-Kuppen als sichtbare morphologische Elemente aus dem Curauer Moor sowie den Tälern von Langballigau, Geltinger Au, Delvenau, Steinau und Habernis. Im Rahmen der Biotopkartierung Schleswig-Holstein (Ersterfassung 1978 bis 1994; LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN wurde ein Großteil der vorhandenen Quellmoor-Kuppen erfasst (vgl. Abb. 1). Der Hauptteil der Hügel besteht aus Torfen; Kalksedimente treten demgegenüber in den Hintergrund (HANSEN & MARTIN 2013). Eine aktuelle Beurteilung dieser Strukturen liegt nicht vor, allerdings ist eine Neukartierung in Arbeit. Aufgrund des Alters der Biotopkartierung muss teilweise von einer Degenerierung einzelner Formen ausgegangen werden, so dass diese heute vielfach nicht mehr gut erkennbar sind. Zudem erfolgte diese Kartierung i. d. R. nur durch Begehung. Für eine exakte Einordnung wären geologische Untersuchungen notwendig. So können örtlich Quellhangbereiche nur an pleistozäne Kuppenbereiche angelehnt sein. Ein Beispiel ist der in der Geologischen Karte 1:25.000 (RANGE & SCHLUNCK 1935) als Quellmoor eingetragene Bereich im Brenner Moor (Travetal, Höhe Kloster Nütschau). Dieser stellt nach aktuellen eigenen Bohrungen tatsächlich einen drumlinoiden Körper aus glazifluviatilen Ablagerungen, teilweise mit Till-Decke, dar. An diesen angelehnt ist eine Art Randmoor, dessen humose Basisbereiche wahrscheinlich in das Weichsel-Spätglazial fallen. Die Bildung geht auf einen artesischen Aufstieg des Grundwassers im Rand-Bereich des sandigen drumlinoiden Körpers zurück, inmitten der ansonsten flächenhaften Verbreitung relativ undurchlässigen Mudden und Torfe. Dabei dürfte hier die Trave als ausgedehntes Exfiltrationsgebiet eine Rolle spielen.

Zum absoluten Alter von Quellschichten liegen bisher in Nordwestdeutschland wenige Informationen vor. SCHUSTER (1926) nimmt an, dass die Bildung der Quellschichten im Kellersee erst mit dem Atlantikum einsetzte. Er gibt vergrößerte Niederschlagsmengen und verstärkte Quellwasserbildung bzw. Quellaktivität in Verbindung mit höheren Temperaturen als Gründe für die vermutete verstärkte

Quellschichten-Bildung zu dieser Zeit an. SCHUSTER (1926) geht für das Subboreal von günstigen Bedingungen für eine Quellschichten-Bildung aus, da damals durch trockenere und wärmere Bedingungen, im Vergleich zu den heutigen Bedingungen, mehr Wasser verdunsten konnte und sich weniger Kohlensäure im System halten konnte.

Zur Hydrogeologie der Quellen Schleswig-Holsteins liegen grundsätzlich bisher kaum Informationen vor. Hydrochemische Daten einiger Quellwässer lassen aufgrund erhöhter Nitrat- und Kalium-Konzentrationen, vorwiegend aus landwirtschaftlicher Nutzung, teilweise auf ein oberflächennahes Einzugsgebiet schließen (MARTIN 2004).

### 3 Regionale morphologische, geologische und hydrogeologische Rahmenbedingungen

Der Talbereich der Habernis liegt auf dem nördlichen Abschnitt der Perm-Struktur Sterup, die Quartärbasis wird bis zur Ortschaft durch Tertiär-Ablagerungen des Stufen Neochatt-Vierland-Behrendorf gebildet, weiter südlich schließen sich die miozänen Braunkohlensande (Hemmoor, überwiegend fluvial) an (HINSCH 1991). Nach dem Geotektonischen Atlas (BALDSCHUHN, FRISCH & KOCKEL 2001) durchziehen mehrere Störungen (Prä-Perm bis Kreide) den Bereich von SW nach NE. Das Tal der Habernisser Au ist eine breite, unregelmäßige, vorwiegend durch Schmelzwässer angelegte, vorwiegend glazigen teil-verfüllte und anschließend periglazial überprägte Hohlform. Es ist in eine Till-Oberfläche eingeschnitten, im Talzentrum sind glazilimnische und -fluviale Sedimente mit einer Mächtigkeit von mehreren Metern verbreitet. Auf der östlichen Flanke des Habernisser Tales finden sich Beckenablagerungen, vor allem jedoch Sande, die in Kuppenform auftretend als Kames-Bildungen gedeutet werden können (MOELLER 2002). Das Tal lässt sich morphologisch grob in einen südlichen und einen nördlichen Teil gliedern. Der südliche Teil ist deutlich breiter als der nördliche und zeigt eine unruhigere Gestalt. Der nördliche, in dem auch die großen Quellbildungen auftreten, ist durch relativ hoch aufragende Landschaftsteile beidseitig deutlich begrenzt. Nach den Übersichtsdarstellungen des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR; H. ANGERMANN, unveröff.) ist der Grundwasser-Abstrom im oberflächennahen Grundwasserleiter nach Nordosten, d. h. zur Förde, gerichtet. Die +6 m NHN-Grundwasser-Isohypse liegt demnach zwischen Gintoftholm und Aubrück. Die Neubildungsgebiete für die Quellbildungen sind beiderseits des Tales, vermutlich bevorzugt auf den östlich gelegenen sandigen Höhenrücken zu erwarten, die eine Höhe von ca. +11 m NHN erreichen.

Das Curauer Moor ist in einer ca. 3,5 km langen und 1,5 km breiten Hohlform angelegt. Deren Ränder ragen bis zu über +60 m NHN auf und gehören zur Moränenumrandung des Lübecker Beckens. Der Boden der Hohlform liegt überwiegend zwischen +12 und +13 m NHN, die Kambereiche des Torfwalles erreichen ca. +18 m NHN. Nach HINSCH (1991) wird die Quartärbasis flächenhaft durch Braunkohlensande (Hemmoor, überwiegend fluvial) gebildet. In den Profilschnitten von AGSTER (2011) ist im Großbereich des Curauer Moores eine Verringerung der Mächtigkeit der generell mächtigen quartärzeitlichen Deckschichten ange-

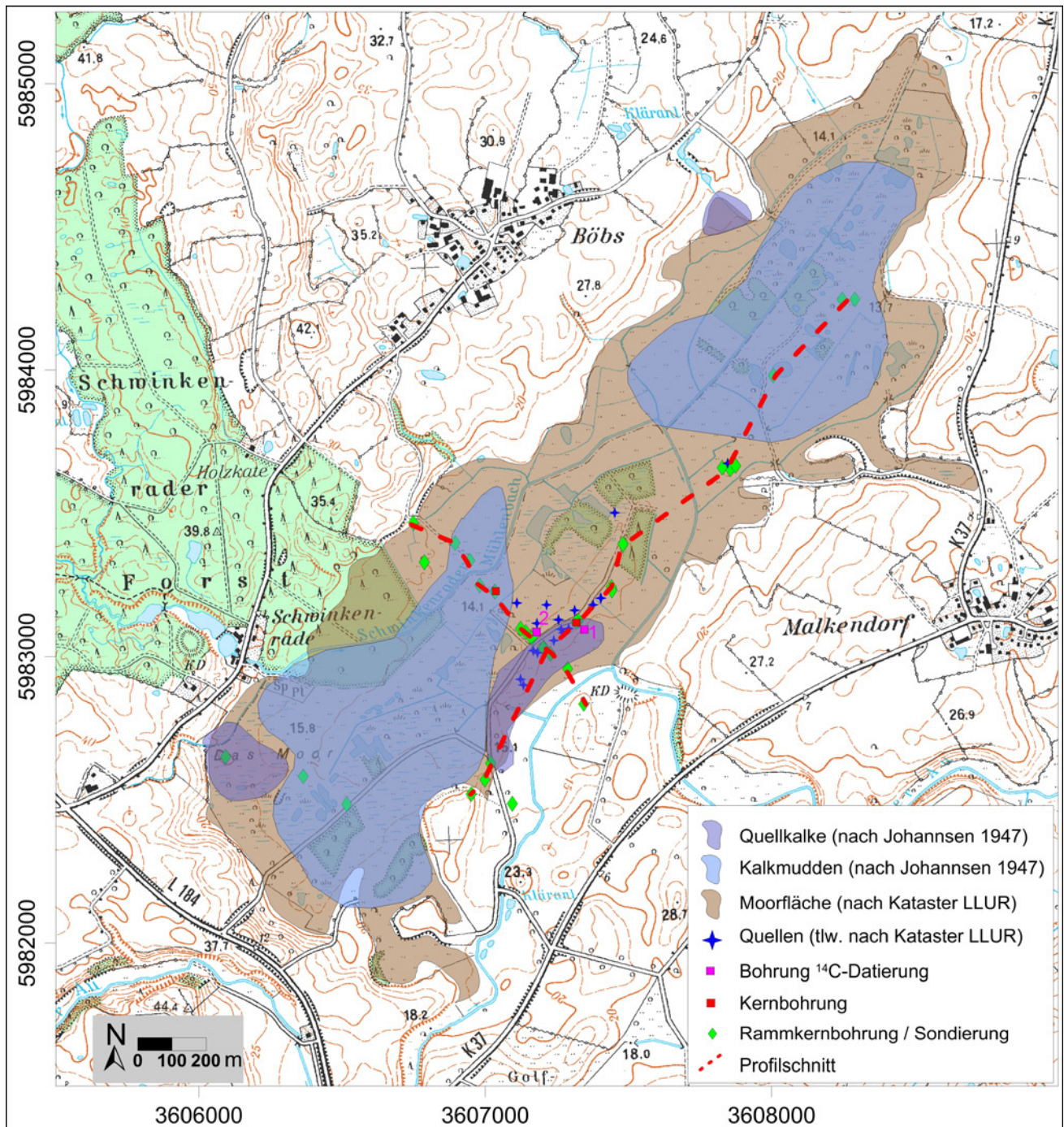


Abb. 2: Curauer Moor mit Vorkommen von Quellablagerungen und Kalkmudden nach JOHANNSEN (1947), rezenten Quellbereichen (nach Kataster LLUR, Abteilung Naturschutz), Ausdehnung der Moorflächen (nach Kataster LLUR, Abteilung Geologie und Boden) sowie Lage der beiden Profilschnitte.

Fig. 2: Curauer Moor with occurrences of tufa deposits and calcareous muds after JOHANNSEN (1947), springs (data LLUR, Dep. Conservation), bog areas (data LLUR, Dep. Geology and Soils) and position of the two cross sections.

deutet. Die quartärzeitlichen Deckschichten im Hangenden der tertiären Grundwasserleiter im Bereich Curau-Ahrens-bök erreichen hier teilweise nur ca. 10 m Mächtigkeit. Die Elster-zeitlich angelegte Curauer Rinne ist unmittelbar östlich der vermoorten Hohlform des Curauer Moores nachgewiesen. Ob sich diese Rinne in den Bereich des Curauer Moores, ggf. auch als Erosionsstruktur einer jüngeren Vereisungsphase in den oberen Sedimentbereichen fortsetzt, ist bisher offen. Es treten gespannte Grundwasser auf (RANGE 1938, AGSTER 2011, vgl. WIEDERHOLD et al. 2002), deren Grundwasserpotentiale bis zu mehrere Meter über der Geländeoberkante liegen.

Nach der Geologischen Karte 1:25.000 finden sich im Curauer Moor Torfe, wechsellagernd mit Kalk-Tuff-Bänken, vorwiegend entlang der Ränder des Tales (RANGE 1938). Hier sind nach der enthaltenen Karte zahlreiche Quellaustritte vorhanden. In der nördlichen Hälfte des Moores sind nach RANGE (1938) Quellmoor-Kuppen verzeichnet. RANGE geht in seiner Darstellung bei dem langen Torfrücken, der das Moor durchzieht noch von einem Sandrücken aus, der den hydraulischen Kontakt zu liegenden, artesisch gespannten Grundwasserleitern geschaffen hat. JOHANNSEN (1947) gibt eine detaillierte Beschreibung der horizontalen und vertikalen Verteilung der Weichsel-spätglazialen



bis holozänen Ablagerungen im Talbereich des Curauer Moores. Demnach folgen im Hangenden von Geschiebemergeln, Tonen oder Sanden hellgraue Tone des Postglazials, braune bis dunkelgrüne Kalksapropole (Wiesenkalk), Flachmoortorfe und örtlich Hochmoortorfe. Die Mächtigkeit des Kalksapropels erreicht stellenweise über 9 m. Dabei ist eine Zunahme des Gehaltes an Molluskenschalen zum Jüngeren hin zu erkennen. Diese Ablagerungen sind sehr weit verbreitet (Abb. 2). Die Mächtigkeit der Flachmoortorfe wird mit durchschnittlich 3 Meter angegeben, im Maximum mit 4 m. Die Hochmoortorfe sind geringmächtiger, sie erreichen meist nur 2 m. Nach JOHANNSEN (1947) sind Kalkquellablagerungen vorwiegend auf dem Rücken sowie in zwei westlichen Randbereichen des Curauer Moores vorhanden. Auf dem Rücken finden sich mehrere große Quellbereiche (MIERWALD 2006), von den Quellen aus erstrecken sich Hangquellmoore vom Rücken herunter. Die künstlichen Entwässerungsstrukturen im Talbereich wurden in den letzten Jahren zurückgebaut (frdl. Mitt. Hr. Klitzing, Ahrensböck), um eine effektivere Renaturierung des Moores zu ermöglichen.

#### 4 Material und Methoden

Neben der Auswertung von Archivunterlagen wurden geologische Sondierungen und Bohrungen mittels des landesamteigenen Peilstangen- und Rammkerngerätes niedergebracht (jeweils ca. 30 in Habernis und Curauer Moor). Die gewonnenen Bodenproben wurden in der Baustoff- und Bodenprüfstelle des Landesbetriebes für Verkehr Schleswig-Holstein (Kiel) sowie dem Landeslabor in Neumünster (Abteilung 5, Umweltmonitoring) hinsichtlich Korngrößenverteilungen (E DIN ISO 11277:06.1994, DIN 19683 Teil 1+2, DIN 18123), Glühverlusten (organischen Bestandteilen; DIN ISO 10694:08.1996) und Kalkgehalten (DIN 18129) fachtechnisch bearbeitet. In Bezug auf die Stratigraphische Gliederung des Holozäns wird hier auf die aktuelle Version der Deutschen Stratigraphischen Kommission verwiesen (DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION 2016).

Zur Gewinnung von Material für die pollenanalytische Bearbeitung sowie die Gewinnung von  $^{14}\text{C}$ -Probenmaterial wurden mittels USINGER-Bohrgerät (MINGRAM et al. 2007) zwei Bohrungen in Curau sowie eine Bohrung in Habernis durchgeführt (Abb. 2, 4). Die Aufbereitung der Proben hierfür, von Dr. B. Rickert am Inst. für Ökosystemforschung der Christian-Albrechts-Universität Kiel vorgenommen, umfasste die Behandlung mit HCl, KOH und HF sowie Azetolyse. Zur Erkundung der Basis pleistozäner Schichten an den untersuchten Standorten wurden zusätzlich Rammkernsondierungen durchgeführt. Abflussmessungen wurden mittels Induktionsmessung in Kooperation mit dem Institut für Ökologie der CAU Kiel, Frau PD Dr. Britta SCHMALZ (zur Zeit TU Darmstadt) durchgeführt. Quellwasserbeprobungen wurden vom LLUR, Abteilung Gewässer, an ergiebigen Quellbereichen durchgeführt. Basisparameter wurden vor Ort erfasst und die gezogenen Proben durch das Landeslabor Neumünster auf Hauptinhaltsstoffe untersucht. Die  $^{14}\text{C}$ -AMS-Datierungen erfolgten durch das Leibniz-Institut der CAU Kiel im Auftrag des LLUR (Flintbek). Bei allen im Rahmen der vorliegenden Studie erwähnten  $^{14}\text{C}$ -Daten handelt es sich um kalib-

rierte Werte. Die Proben wurden nach Dr. A. DREVES und Dr. M. HÜLS (schriftl. Mitt. 2014, 2016) folgendermaßen behandelt: „Die Torf- und Muddenproben wurden inspiziert und das gesamte Material je Probe gefriergetrocknet. Bei der Gewinnung der Carbonatfraktion wurden zur Entfernung organischer Anteile sowie Kontaminationen in Form von Staub und Karbonatbruchstücken die Proben mit 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ , gefolgt von einer zweiten 15 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ , in einem Ultraschallbad behandelt bzw. wurde das getrocknete Material mit 60 %-iger  $\text{H}_3\text{PO}_4$  bei  $90^\circ\text{C}$  hydrolysiert. Das  $\text{CO}_2$  aller Proben wurde anschließend mit  $\text{H}_2$  bei  $600^\circ\text{C}$  über einen Eisen-Katalysator zu Graphit reduziert und das Eisen-Graphit-Gemisch in einen Probenhalter für die AMS-Messung gepresst. Die  $^{14}\text{C}$ -Konzentration der Proben ergibt sich aus dem Vergleich der simultan ermittelten  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  und  $^{12}\text{C}$  Gehalte mit denen des  $\text{CO}_2$ -Messstandards (Oxalsäure II) sowie geeigneter Nulleffekt-Proben. Das konventionelle  $^{14}\text{C}$ -Alter berechnet sich anschließend nach STUIVER & POLACH (Radiocarbon, 19/3 (1977), 355–363) mit einer Korrektur auf Isotopenfraktionierung anhand des gleichzeitig mit AMS gemessenen  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisses. Die Übersetzung in Kalenderalter erfolgte für die Organikproben mit Hilfe des Programms OxCal V4.2 (BRONK RAMSEY, C., Radiocarbon 51 (2009), 337–360) sowie des IntCal13-Kalibrierungssets (REIMER, P., et al., Radiocarbon 55 (2013), 1869–1887)“.

#### 5 Ergebnisse

##### 5.1 Habernis

###### 5.1.1 Morphologie und Hydrographie

Das Tal der Haberniser Au ist eine Hohlform mit ergiebigen Quellen und einer großen Quellmoor-Kuppe. Diese Kuppe liegt mittig im Talbereich und hat eine Ausdehnung von ca. 160 m in Nord-Süd-Richtung, ca. 100 m in Ost-West-Richtung und eine Höhe von bis zu ca. 3 m (Talboden bei ca. +0,5 m NHN). Die Kuppe ist von Niedermoorflächen umgeben. Sie liegt westlich der Haberniser Au und etwas oberhalb des Zustroms eines kleinen Vorfluters, der von Osten in den Talbereich der Haberniser Au mündet. Eine undeutliche Verlängerung der Morphologie der Kuppe Richtung Osten ist zu erkennen. Eventuell hatte die Kuppe früher eine eher rundliche Gestalt und ist durch die künstliche Anlage des Nord-Süd streichenden Vorfluters und die folgende Sackung verändert worden. Auf der Kuppe befinden sich ausgedehnte Bereiche mit stark schüttenden Quellen, die diffus bis punktförmig auftreten. Eine Besonderheit des Standortes ist, dass er auch bei strengem Frost nicht zufriert und damit über das gesamte Jahr ein offenes Ökosystem darstellt. Der sehr weiche Untergrund führt zu schräg stehenden, „betrunkenen“ Bäumen, meist Erlen in einem naturnahen Bestand. Die einem Schwinggras ähnliche Oberfläche ist komplett aufgeweicht und ist ganzjährig kaum begehbar (Abb. 3). In der Krautvegetation dominiert flächenhaft Bitteres Schaumkraut (*Cardamine amara*). Es finden sich zahlreiche kleine wassergefüllten Senken (Quellen), auch im Randbereich der Kulmination. Es treten kleinräumige „Quell-Plateaus“ von einigen Dezimetern und Metern Durchmesser auf. Der Abfluss des Quellwassers erfolgt überwiegend nach Osten. Auf der Ostseite der Quellmoor-Kuppe finden sich vier parallel verlaufende Haupt-Abflussbahnen, die das Quellwasser zur Haber-



Abb. 3: Blick auf den Quellhügel Habernis von Westen. Anstieg des Geländes in Blickrichtung. Aufnahme nach langer Frostperiode im Januar 2010.

Fig. 3: View of the hat shaped spring mire Habernis from the west. Rise of terrain in the viewing direction.

niser Au ableiten (Abb. 4). Diese dürften künstlich angelegt worden sein. Darauf deuten, neben der Orientierung, auch Überreste älterer Quellfassungen am nördlichsten Gerinne hin. Im Juli 2011 wurde eine Quellschüttung von der Quellmoor-Kuppe als Summe der Abflüsse der vier Hauptvorfluter von ca. 1.000 l/min gemessen. Im Vergleich hierzu betrug die Schüttung der Wolsroi-Quelle zur gleichen Zeit nur ca. 450 l/min. Letztere liegt einige hundert Meter flussaufwärts und ist eine der größten Quellen des Landes mit einem großen Quelltrichter im Bereich einer als Weide genutzten Fläche. Literaturangaben geben hier eine Spende von ca. 600 Liter Wasser in der Minute an (Internet).

## 5.1.2 Geologie und Hydrogeologie

Die zentralen kalkreichen Ablagerungen zeigen einen rundlichen Hügel, der flächenhaft von Niedermoortorf mit einer Mächtigkeit von ca. 2 m überlagert wird. Die Basis der Ablagerungen mit kalkreichem Torfen und Mudden sowie Sinterkalk, reicht im Bereich der näher untersuchten Bohrung bis auf ca. -9 m NHN herunter. Der Profilquerschnitt (Abb. 5) durch das Tal der Haberniser Au verdeutlicht die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse durch das Tal der Haberniser Au. Ersichtlich ist zunächst die Asymmetrie der Geschiebemergel-/Geschiebelehm-Verbreitung. Auf der Westflanke des Tales finden sich zwei übereinander liegende, mächtige, vermutlich weichselkaltzeitliche Geschiebemergel, die durch einen vermutlich flächenhaft vorhandenen, geringmächtigen Sandhorizont (Grundwasserleiter) unterbrochen sind. Die Geschiebemergel sind ausgesprochen kalkreich (Tab. 2) und bindig. Im Bereich einer Hohlform oder Rinnenstruktur sowie den östlich angrenzenden Bereichen ist der obere Geschiebemergel ausgeräumt oder nicht abgelagert worden. Dies ermöglicht den Zutritt von unter artesischem Druck stehenden Grundwässern aus dem bereits erwähnten gering mächtigen Grundwasserleiter mit vermutlich großem Einzugsgebiet in den umgebenden westlich und östlich des Tales gelegenen Hochflächen. Die meisten Bohrungen im Talbereich der Habernis zeigten gespannte Grundwasserverhältnisse und mussten unmittelbar nach Erreichen des Grundwasserleiters abgebrochen werden. Da in den Bohrungen keine genaue Messung der Grundwasserpotentiale erfolgen konnte, ist eine Angabe der Grundwasserdruckfläche in den Profilschnitten bisher nicht möglich. Auf der östlichen Flanke des Haberniser Ta-

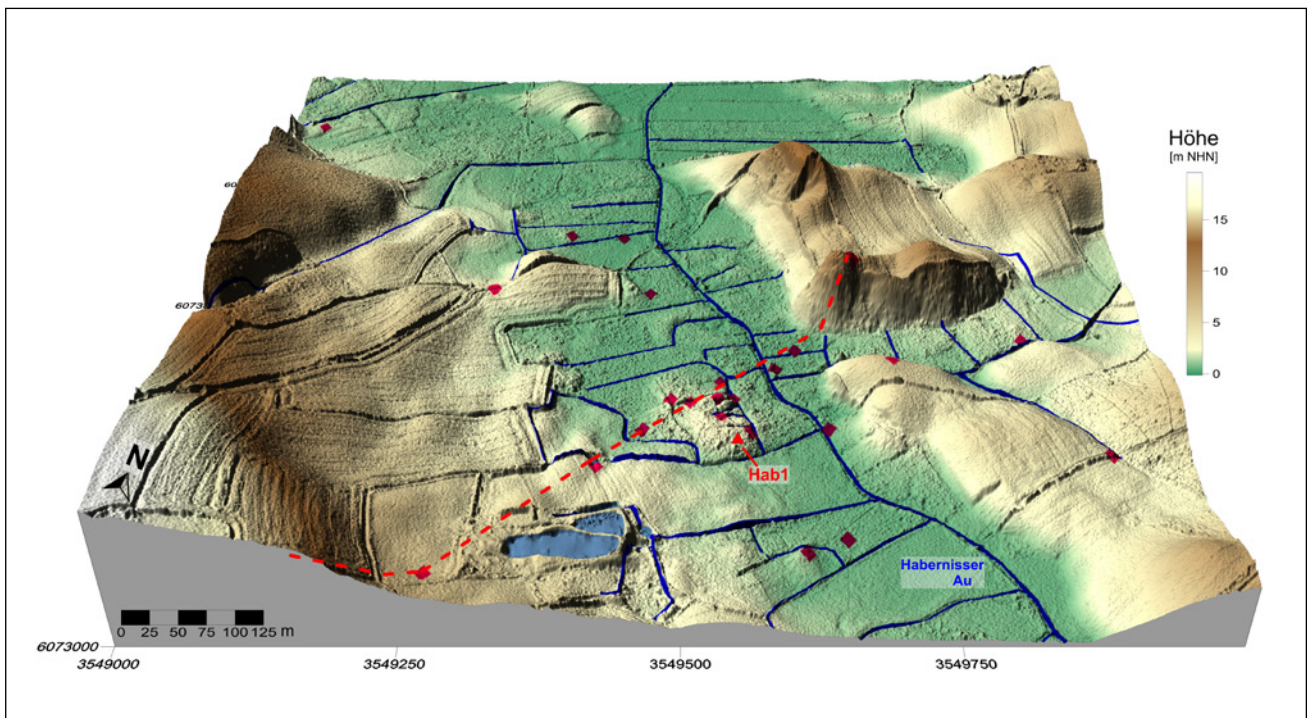


Abb. 4: Digitales Geländemodell der Niederung des Haberniser Au mit zentral im Talbereich gelegener Quell-Kuppe (Datengrundlage Topographie: LVer-mGeo-SH), Bohrungen, Lage der Kernbohrung (Hab1) und Verlauf des Profilschnittes.

Fig. 4: Digital terrain model of Habernis dale with dome spring mire situated in the valley (data basis topography: LVer-mGeo-SH), boreholes, location of core sampling (Hab1) and the position of the geological cross section.

les fehlt die Trennung in einen liegenden und einen hangenden Till, in den hangenden Bereichen finden sich lediglich geringmächtige Geschiebemergel-Einschaltungen. Hier liegt eine gegliederte Niedertaulandschaft mit einzelnen Kuppen (Kames) und länglichen Höhenrücken (u. a. Kames-Terrasse) vor, feinkörnige Beckenablagerungen sind verbreitet (glazilimnische Kames). Die Korngrößenanalysen an Einzelproben der am häufigsten angetroffenen Ablagerungen zeigen folgende Werte: Geschiebemergel (Einheit 2 in Abb. 6) mit 57 % Schluff und 36 % Sand und 7 % Ton, Beckenablagerungen (Einheit 3 im Liegenden der Quellmoor-Kuppe in Abb. 6) mit 66 % Ton, 32 % Schluff und 2 % Sand. Der Kalkgehalt liegt beim Geschiebemergel bei 7 %, beim Beckenton bei 8,4 %.

Die durchgeführten Bohrungen im Bereich der Quellmoor-Kuppe zeigen sehr wechselhafte Ablagerungen (Abb. 6). Bis ca. 10 m Tiefe wurde eine sehr wechselhafte Folge von Torfen und Torfmudden und Kalksedimenten erbohrt. Diese sind, vergleichbar mit den Ablagerungen im

Curauer Moor und an den Farberbergen, ein körnig-poröses Sediment mit grauer bis weißer Färbung, häufig mit organischen Anteilen, sowie Pflanzen-, Schnecken- und Muschel-Resten, bzw. Kalkmudden mit einem hohem Anteil an feinem Detritusmaterial und Grobdetritusmudden. Bei den humosen Horizonten handelt es sich durchgehend um subaquatische Absätze. Die Kalksinterbildungen werden durch Calcit dominiert, daneben treten in situ häufig Gips und Pyrit, ferner Quarz und Feldspäte auf (Bestimmung R. Ludwig).

Die im Profilschnitt zusammengefassten kalkreichen Ablagerungen zeigen eine Kuppe, die wiederum flächenhaft von Niedermoortorf mit einer Mächtigkeit von ca. 2 m überlagert wird. Die Basis der kalkreichen Ablagerungen mit Sinterkalk, kalkreichem Torf und -Mudden reicht im Bereich der näher untersuchten Bohrung bis auf ca. -9 m NHN herunter, die eigentlichen Kalkablagerungen beginnen ca. 1,75 m unter Gelände. D. h. der Ursprung der Quellbildung liegt in einer tieferen Depression, die deutlich un-

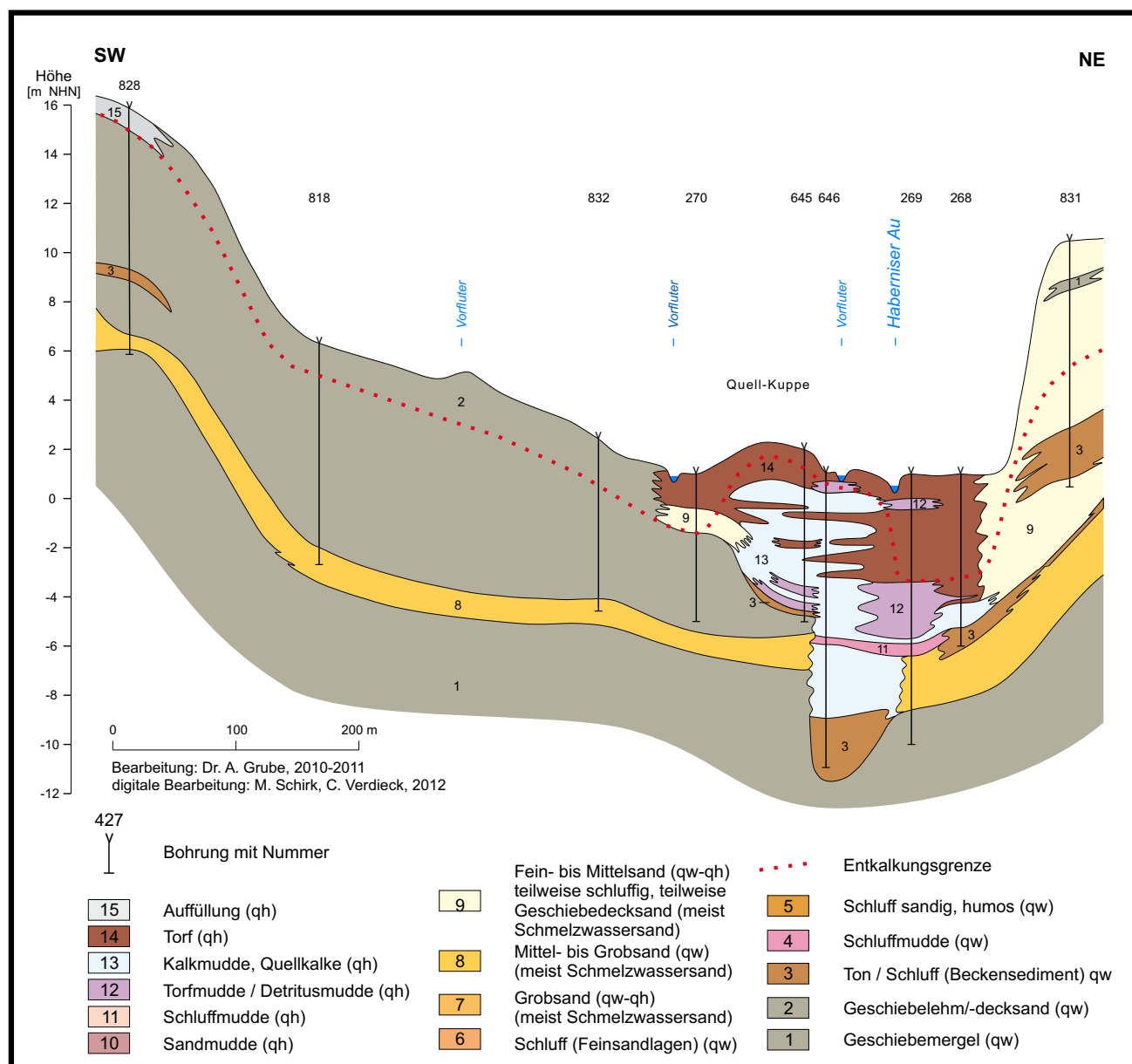


Abb. 5: Vereinfachter und stark überhöhter geologischer Profilschnitt durch das Tal der Haberniser Au.

Fig. 5: Simplified and greatly exaggerated geological cross section through the valley of the Haberniser Au.



Tab. 1: Ermittelte <sup>14</sup>C-Alter vom Standort Habernis (Hab1; Labor-Nr. Leibniz-Inst. CAU-Kiel: KIA47162-68).

Tab. 1: Identified <sup>14</sup>C-values from the investigation site Habernis (Hab1, laboratory number Leibniz Inst CAU Kiel: KIA47162-68).

Kern-Nr.	Labor-Nummer	Teufe [m u GOK]	cal <sup>14</sup> C-Alter BP [a]	Standard-abweichung [a]	Material	Proben
Hab1	KIA47162	1,82-1,86 m	6.650	+/- 50	Karbonat*	1
Hab1	KIA47163	2,48-2,52 m	6.910	+/- 45	Karbonat*	1
Hab1	KIA47164	2,75-2,78 m	6.500	+/- 50	Karbonat*	1
Hab1	KIA47165	3,45-3,48 m	6.940	+/- 45	Karbonat*	1
Hab1	KIA47166	3,75-3,80 m	6.715	+/- 40	Karbonat*	1
Hab1	KIA47167	4,10-4,15 m	8.060	+/- 45	Karbonat*	1
Hab1	KIA47168	5,40-5,43 m	8.065	+/- 45	Karbonat*	1

\* vorwiegend Genese als Querkalk angenommen

Tab. 2: Calciumkarbonat- und Kohlenstoffgehalte der Kernbohrung Habernis (Hab1).

Tab. 2: Calciumcarbonate-content and organic carbon content from core at Habernis (Hab1).

Nr.	Tiefe [UK, in m]	CaCO3 [Masse-%]	Cges [Masse-%]	Corg [Masse-%]
1	0,12	1,11	59,9	59,8
2	0,32	43,6	24,3	19,1
3	0,6	0	52	52
4	0,76	0	43,6	43,6
5	1,13	2,11	17,1	16,8
6	1,23	9,83	20,4	19,2
7	1,3	0	4,67	4,57
8	1,35	0,9	36,3	36,2
9	1,46	13,2	3,4	1,81
10	1,48	14	25	23,3
11	1,57	26	22	18,9
12	1,77	65,9	13,5	5,59
13	1,95	83,3	13,5	3,5
14	2,09	29,2	6,57	3,07
15	2,14	54,4	12,7	6,17
16	2,18	41,2	7,23	2,29
17	2,24	47,8	14,3	8,56
18	2,31	84,2	12,8	2,7
19	2,36	70,2	14,3	5,87
20	2,5	77,2	13,3	4,04
21	2,56	38,3	20,5	15,9
22	2,62	72,7	14	5,27
23	2,82	3,9	26,8	26,3
24	2,98	62,8	9,81	2,27
25	3,08	27,5	5,46	2,16
26	3,12	67,5	13,2	5,1
27	3,3	33,7	18,1	14,1
28	3,36	73,1	15,5	6,73
29	3,5	94,2	13	1,7
30	3,61	84,2	13,7	3,6
31	3,7	2,28	24,4	24,1
32	3,77	78,2	12,8	3,42
33	4	55,7	14	7,31
34	4,14	86,7	12,2	1,8
35	4,26	60,8	14,6	7,3
36	4,44	23,7	17,7	14,9
37	4,51	30	18,2	14,6
38	4,55	21,9	3,22	0,59
39	4,56	28,4	5,02	1,61
40	4,62	32,5	20,3	16,4
41	4,71	25,1	3,92	0,91
42	4,81	39,8	21,8	17
43	4,9	16	2,17	0,25
44	5,04	13,6	1,85	0,22
45	5,1	13,9	2,18	0,51
46	5,16	16,7	9,46	7,45
47	5,3	19	7,52	5,24
48	5,38	69,5	11,6	3,26
49	5,51	19,4	6,07	3,74
50	5,84	0	47,2	47,2
51	5,97	0	47,9	47,9
52	6,11	13	1,62	0
53	6,26	3,75	34,4	34
54	6,34	35,6	7,43	3,16
55	6,53	27,1	7,22	3,97
56	6,63	18,5	3,03	0,81
57	6,61	0	54	54
58	6,7	18,7	24,6	22,4
59	6,81	39,1	8,69	4
60	7,14	6,23	0,80	0
61	7,4	6,45	0,80	0
62	7,75	6,27	0,77	0
	<b>Mittel</b>	<b>33,06</b>	<b>16,36</b>	<b>12,38</b>
	<b>Max</b>	<b>94,20</b>	<b>59,90</b>	<b>59,80</b>
	<b>Min</b>	<b>0,00</b>	<b>0,77</b>	<b>0</b>

ter dem heutigen Meeresniveau liegt. Die Basis wird durch Beckenschluffe eingenommen, die anscheinend eine in den Weichsel-Geschiebemergel eingeschnittene Hohlform, ggf. eine Rinnenstruktur, ausfüllen. Die seitliche Ausdehnung der kalkreichen Ablagerungen nimmt zum Hangenden hin zu, wobei der westliche Talbereich weitgehend ausgefüllt ist. Die östliche Seite dagegen wird durch Torfe dominiert. Die Kalkgrenze liegt im Kuppenbereich nahe der Erdoberfläche, auch die hangenden Torfe sind hier zu einem großen Teil kalkführend. Bei Fehlen von Kalkablagerungen (Ostseite der Kuppe) sinkt die Kalkgrenze bis auf die liegende Torfmuße ab. Naturgemäß liegt die Kalkgrenze im Bereich des kalkreichen Tills nahe der Erdoberfläche, auf den östlich gelegenen sandigen Hochflächen liegt sie mehr als 4 m tief.

Für eine Bohrung in Habernis („Hab1“, Südhälfte der Quellmoor-Kuppe, vgl. Abb. 4, 6) liegt eine 7 Proben umfassende Datierungs-Sequenz von Karbonaten vor, die innerhalb einer ca. 3,6 m mächtigen limnisch-telmatischen Folge (1,82–5,43 m u. GOK) entnommen wurden. Die ermittelten Alter liegen zwischen 8.065 und 6.650 Jahren cal <sup>14</sup>C a BP (Tab. 1), die somit komplett in das Atlantikum und das jüngste Subboreal fallen. Die Werte sind nicht ganz konsistent. Zwei der Werte sind niedriger als die der hangenden Sedimente. Grundsätzlich ergibt sich jedoch ein plausibles Bild, da die Werte relativ eng beieinander liegen. Die Standardabweichung beträgt zwischen 40 und 50 Jahren (Mittelwert 46 Jahre) und damit in einem relativ engen Bereich.

Der Mittelwert der Karbonatwerte (n=62) in der zuvor genannten Kernbohrung liegt bei 33 Masse-%, das Maxi-

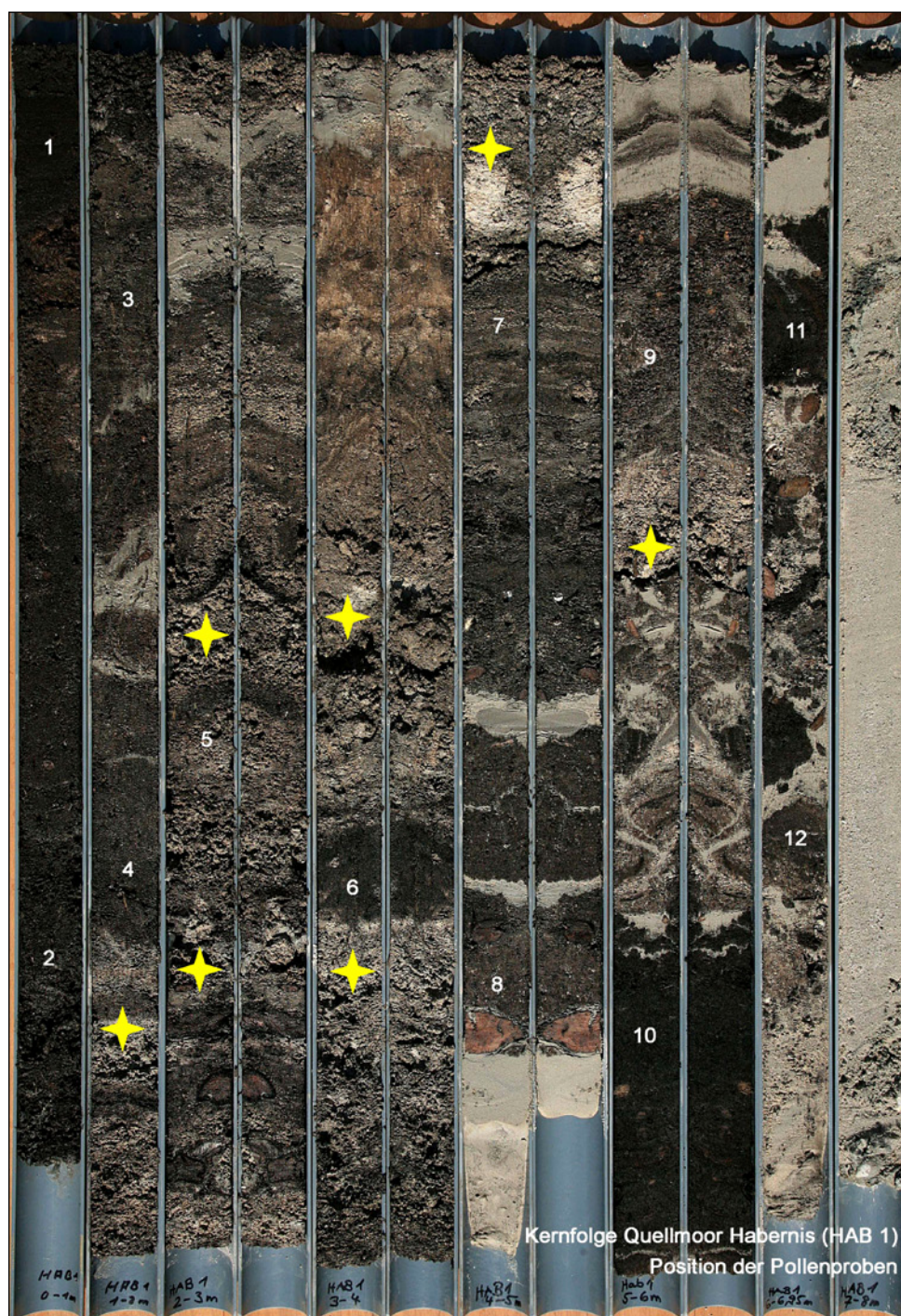


Abb. 6: Photo des 8 m langen Bohrernes aus dem Bereich Habernis mit Angabe der Entnahmepositionen für Pollenanalytik (Nummern) und <sup>14</sup>C-Datierungen (gelbe Sterne). Die Länge eines Bohrkernliners beträgt 1 m, teilweise werden beide Kernhälften gezeigt. Erkennbar sind die sandige pleistozäne Basis (6,80-8,00m), der hangende, sehr wechselhaft aufgebaute Abschnitt mit hellen kalkig-bindigen Ablagerungen sowie den dunkleren, organogenen (Mudden-)Bereichen (1,10-6,80m) sowie die Torf-Bedeckung. Pollendatierung nach USINGER (2011, vgl. Diskussion): Nr.12: Atlantikum, Probe 6 und 4: Beginn des Subboreals, Proben 8 bis 6: Ulmenfall, Probe 1: vermutlich enthaltene Getreide-Pollen/Subatlantikum.

Fig. 6: Photo of the 8m-core from Habernis indicating the removal positions for pollen analysis (numbers) and <sup>14</sup>C-analysis (yellow stars). Length of a core-liner is 1m, partly both liner halves are shown. Visible are the sandy pleistocene base (6,80 - 8,00m), the above lying complex section with brighter calcareous and cohesive deposits, as well as darker organogenic (mud-)areas (1,10 - 6,80m) and the peat cover. Pollen-datings after USINGER (2011, cf. discussion): Nr.12: Atlantikum, probe 6 and 4: begin of Subboreal, probe 8 to 6: "Ulmenfall", probe 1: possible cereal-pollen/Subatlantikum.



mum bei 94 Masse-%. Der Mittelwert der Kohlenstoffgehalte (C<sub>ges</sub>; n=62) liegt bei 16 Masse-%, das Maximum bei 60 Masse-%. Die oberflächennahen Ablagerungen auf den östlich der Habernisser Au gelegenen Höhenrücken sind flächenhaft sandig ausgebildet. Hierdurch ergibt sich eine potenziell hohe Grundwasser-Neubildung. Die Migrationspfade des aufsteigenden Grundwassers sind an der Quellmoorkuppe und der Quelle Wolsroi offenbar an Kontaktbereiche zwischen tieferen und flacheren Grundwasserleiter in einem geologischen Übergangsbereich gebunden. Glazitektonische Strukturen können einen Einfluss gehabt haben.

## 5.2 Curauer Moor

### 5.2.1 Morphologie und Hydrographie

Der Bereich des Curauer Moores liegt im Randbereich der großen Randlagen des Lübecker Beckens. Es ist in einer großen, parallel zu dieser Beckenumrandung streichenden Hohlform entwickelt, die vom Schwinkenrader Mühlenbach durchflossen wird, von Süden tritt die Curauer Au zum Talbereich hinzu. Ein ausgedehnter morphologischer Rücken im breiten vermoorten Tal lässt sich in etwa mittig, parallel zur Längserstreckung im Zentrum des Moores über



Abb. 7a, b: Blick auf den gewundenen zentralen Torf-Rücken im Curauer Moor (a) sowie Quellbereich mit starken Ocker-Ausfällungen an der oberen Ostflanke des Rückens (b).

Fig. 7: View of the convoluted central peat ridge in Curauer Moor (a) and spring area with intensive red ochre precipitation at upper eastern flank of ridge (b).

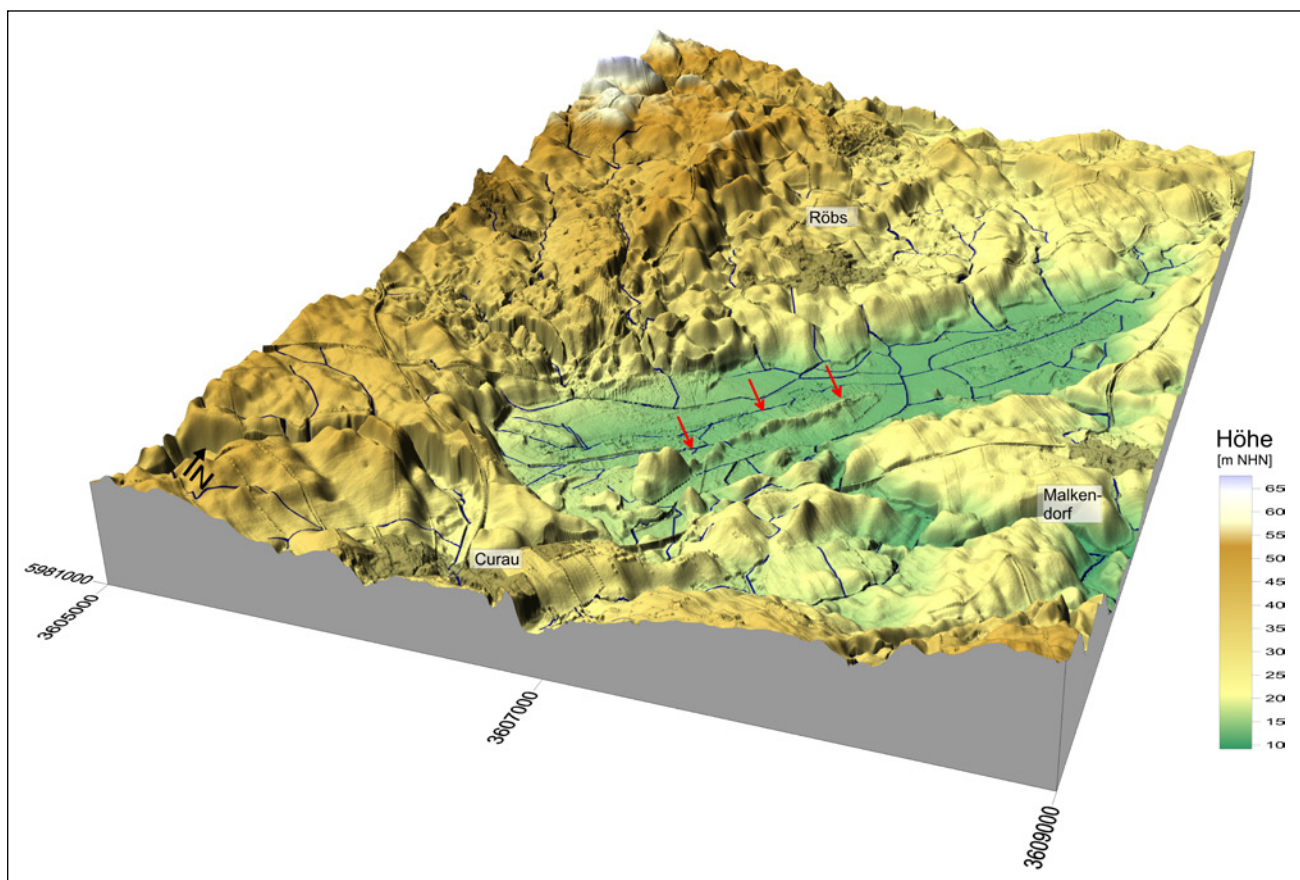


Abb. 8: Digitales Geländemodell (Datengrundlage Topographie: LVerGeo-SH) der Hohlform des Curauer Moores mit Torfrücken und einzelnen Torf-(quell)-kuppen.

Fig. 8: Digital terrain model (data basis topography: LVerGeo-SH) of the basin of the Curau bog with peat ridge and individual peat cupolas.



weite Bereiche verfolgen (Abb. 7, 8). Seine Höhe erreicht ca. 4–5 m Höhe (max. +17,5 m NHN). Er weist eine auffallende morphologische Asymmetrie auf, wobei die südöstliche Flanke steiler ist als die nordwestliche. Die Asymmetrie des zentralen Rückens dürfte mit der unterschiedlichen Standfestigkeit der liegenden, bzw. umgebenden Sedimente zusammenhängen. Südöstlich des Rückens treten im Untergrund eher standfestere Tills und glazifluviatile Sande auf, während nordwestlich mächtigere komprimierbare Weichschichten (Mudden u.a.) mit Mächtigkeiten von bis zu ca. 10 m dominieren (vgl. Abb. 10). Ein Nachweis eines derartigen seitlichen Abgleitens auf der Westseite des Rückens war mittels der durchgeführten Bohrungen nicht möglich. In den Quellbereichen, an verschiedenen Stellen des Rückens, finden sich teilweise Quellterrassenbildungen. Im Bereich des Curauer Moores finden sich zudem mehrere kleinere, rundliche Kuppen, die bis zu 2,5 m hoch sind. Ein Torfrücken im nördlichen Bereich des Moores (vgl. preuß. königl. Topogr. Karte 1:25.000; vgl. RANGE 1938) ist offenbar abgebaut worden.

### 5.2.2 Geologie und Hydrogeologie

Die Basis der Hohlform, in der das Curauer Moor entwickelt ist, wird flächenhaft durch einen verhältnismäßig homogenen, weichselkaltzeitlichen Till eingenommen (Abb. 10, 11). Dieser Till bildet einzelne Aufragungen, die auf einen glazitektonischen Einfluss hindeuten. Aufgrund dieser Strukturen sowie der langen Erstreckung der Vollform kann davon ausgegangen werden, dass der vertikale Zutritt von Grundwasser auf eine glazitektonische Verschuppung im Bereich zurückzuführen ist. Bei den Bohrungen wurden artesische Verhältnisse mit geringer Druckhöhe über Gelände angetroffen.

Das Becken, in dem das Curauer Moor liegt, ist in verschiedene Teilbecken gegliedert, die vermutlich ebenfalls durch Glazitektonik beeinflusst sind. Im südlichen Bereich

treten im Profilschnitt (Abb. 10) am Beckenboden mehrere Meter mächtige, glazifluviatile Ablagerungen auf. Im nördlichen Bereich sind im Hangenden der Weichsel-Ablagerungen geringmächtige, humose Ablagerungen vorhanden, die aufgrund der für Schleswig-Holstein typischen petrographischen Ausbildung und einer deutlichen Pollendominanz von Kiefer und Birke in das Alleröd zu stellen sind (Legenden-Nr. 5 in Abb. 10 u. 11; Abb. 9). Im Hangenden folgen Beckenschluffe, die eine auffällige rhythmische Schichtung von mm-mächtigen Beckentonen und entsprechenden Feinsandlagen zeigen und die in die Jüngere Dryas einzustufen sind (überwiegend Legenden-Nr. 6 in Abb. 10 u. 11) Darüber folgen limnische Sedimente in meist geringer Mächtigkeit. Zu dieser Phase bestanden offenbar offene Gewässer in Teilbecken der Curauer Hohlform. Größere Mächtigkeiten erreichen dann die oberhalb folgenden limnischen Ablagerungen (s. u.). Die die Sedimentfolge abschließenden Torfe sind mehrere Meter mächtig, flächenhaft im Talbereich vorhanden und bis kurz unter die Oberfläche kalkführend.

Der morphologisch auffällige, zentral liegende und parallel zur Achse des Moores und der generellen Streichrichtung der umgebenden Moränenlandschaft verlaufende Rücken besitzt eine Länge von ca. 1,3 km. Er ist unregelmäßig in Bezug auf die Oberflächenmorphologie und auf seinen internen Aufbau. Der Rücken zeigt eine grundsätzlich andere geologische Struktur als die umgebende Hohlform. Sein Kern besteht weitgehend aus Beckenschluffen und Geschiebemergel (Abb. 11). Dieses wird an den beiden Enden deutlich, wo eine Auflage von nur ca. 1–1,5 m Niedermoortorf vorhanden ist. Zu großen Teilen bestehen die höheren Bereiche des Rückens aus Niedermoortorf, bzw. Torfmudden ähnlichen Bildungen. Die Mächtigkeiten der Torfe entlang des Rückens sind sehr unterschiedlich, sie betragen maximal ca. 3,3 m. In die Torfe sind vielfach geringmächtige Quell-Sinterkalke eingeschaltet. In anderen Bereichen des Curauer Moores wurden jedoch auch größere



Abb. 9: Bohrkern aus dem Zentrum des Curauer Moores. Die Länge eines Bohrkernliners beträgt 1 m. Über der sandigen Basis (8,30 bis Endteufe) folgen feinkörnige Ablagerungen des Spätglazials (8,30-7,35m), mächtige feinkörnige Mudden (7,35-4,15m) sowie Grobdetritusmudden (4,15-2,30m) sowie Torfe des Holozäns.

Fig. 9: Photos of drill core from the center of the Curauer bog peat ridge. Length of a core-liner is 1m. Above the sandy basis (8.30 to final depth) fine-grained deposits of the late glacial follow (8.30- 7.35m). Above that we mighty fine-grained muds (7.35- 4.15m) and coarse detritus muds (4.15-2.30m), finally peats of the Holocene occur.



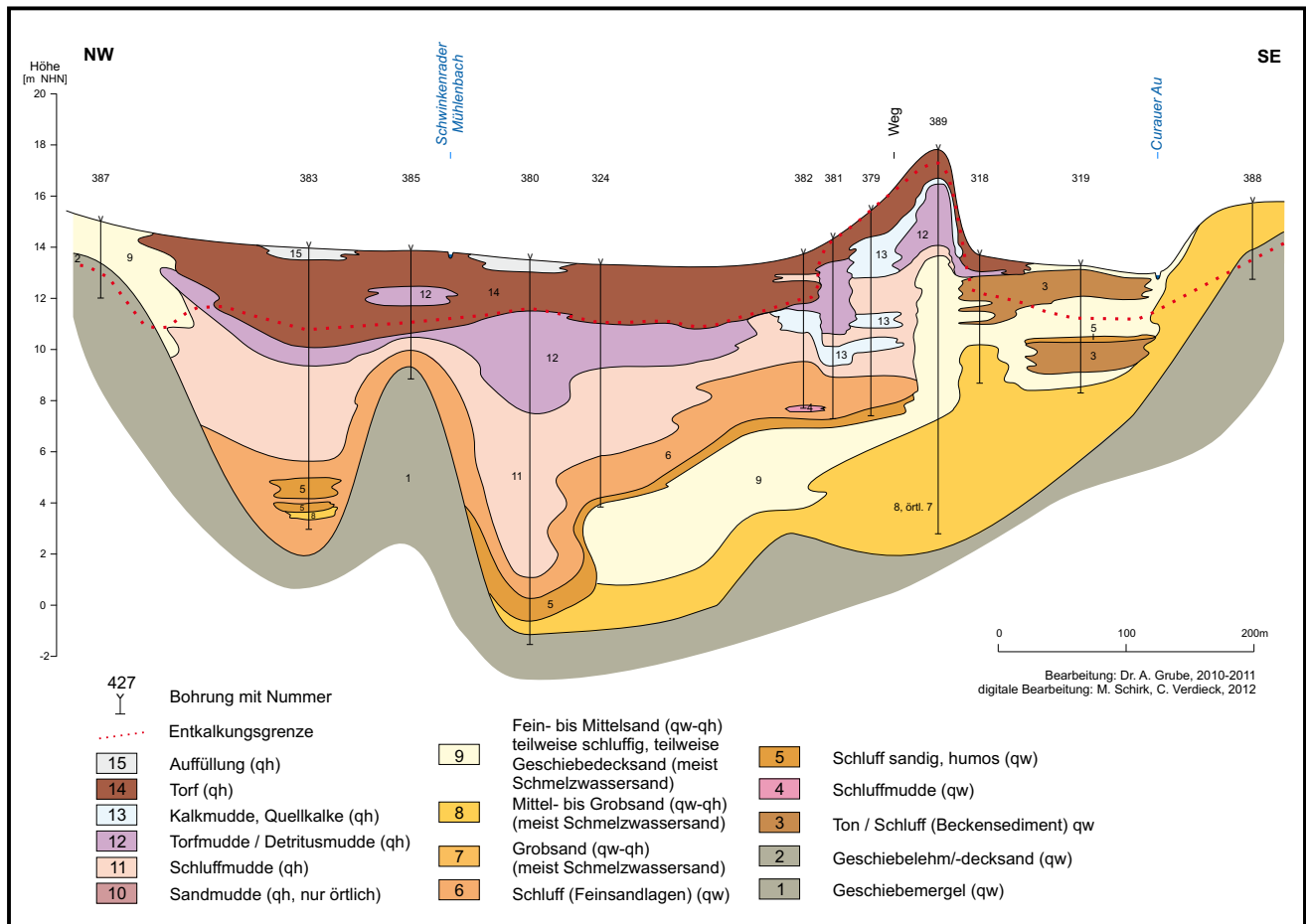


Abb. 10: Vereinfachter, stark überhöhter geologischer Profilschnitt durch das Curauer Moor (Querschnitt). Erkennbar sind zwei durch eine Tillauftragung getrennte, tiefe Becken mit Füllung ab dem Spätglazial und dem Torfrücken mit seiner asymmetrischen Morphologie.

Fig. 10: Simplified, greatly exaggerated geological cross section through the Curau bog (cross-section). Visible are two deep basins filled with sediments since the Late Glacial, separated by a till bulge and the peat ridge with asymmetric morphology.

Sinterkalk-Stufen beobachtet (freundl. Mitt. Hr. Klitzing). Die Kalkgrenze liegt im Rückenbereich nahe der Erdoberfläche (Abb. 10, 11), d. h. auch die Torfe sind größtenteils kalkführend. Auch die kleineren Kuppen (Abb. 12) zeigen kalkige Torfe. Im östlichen Teil des Curauer Moores sind die Torfe vorwiegend entkalkt, im nördlichen Bereich liegt die Kalkgrenze in ca. 2,5 m Tiefe. An den Randbereichen der großen Hohlform des Curauer Moores gelegene Quellen führten ebenfalls zur Ablagerung von Sinterkalk-Bänken, eingeschaltet in Torfe und Mudden.

In der Kernbohrung im Bereich des Quer-Profilschnittes (Abb. 10; Abb. 2: <sup>14</sup>C-Probe „1“) traten keine massiven Kalkausfällungen auf. Daher wurden Torfe datiert, um eine Alterseinstufung durchführen zu können. Kleinere Kalkbildungen in Form von Kalkmudden / Quellkalkbildungen wurden in dieser Bohrung bis in eine Tiefe von ca. 5 m u. GOK angetroffen. Die ermittelten Alter für limnisch-telmatische Sedimente (Tab. 1) liegen zwischen 3 und ca. 5,60 m u. GOK zwischen 6.800 und 1.750 cal <sup>14</sup>C a BP. Damit fand hier eine Sedimentation im Atlantikum,

Tab. 3: Ermittelte <sup>14</sup>C-Alter vom Standort Curauer Moor (Labor-Nr. KIA47174-76; vgl. Abb. 6).

Tab. 3: Identified <sup>14</sup>C-values from the investigation site Curau bog (laboratory number KIA47174-76, see fig.6).

Kern-Nummer	Labor-Nummer	Teufe [m u GOK]	cal <sup>14</sup> C-Alter BP [a]	Standardabweichung [a]	Material	Proben
Curau 1a	KIA47174	3,00-3,10 m	1.762	+/- 27,5	Torf	1
Curau 1b	KIA47175	5,00-5,10 m	4.495	+/- 30	Torf	2
Curau 1c	KIA47176	5,60-5,65 m	6.777	+/- 37,5	Torf	1
Curau 2a	KIA51273	1,10-1,30 m	4.245	+/- 30	Karbonat*	1
Curau 2b	KIA51274	3,15-3,20 m	5.785	+/- 35	Karbonat*	1
Curau 2c	KIA51275	4,65-4,75 m	11.220	+/- 70	Karbonat*	1

\* vorwiegend Genese als Quellkalke angenommen

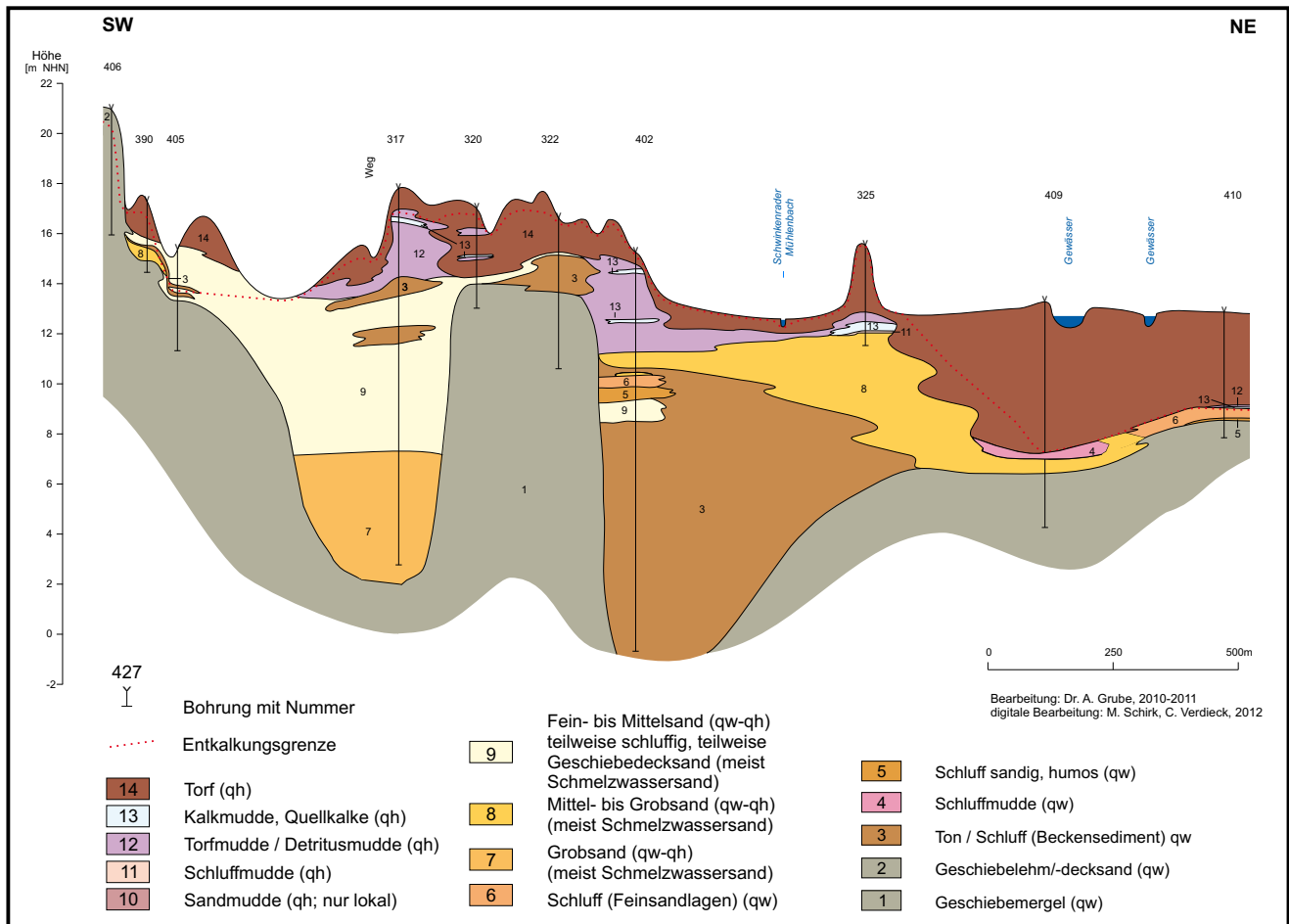


Abb. 11: Vereinfachter, stark überhöhter geologischer Profilschnitt durch das Curauer Moor (Längsschnitt). Sichtbar sind zwei durch eine Tillauftragung getrennte Becken mit sehr unterschiedlicher Füllung, der Torfrücken mit eingeschalteten Kalklagen sowie eine singuläre Quelltorfkuppe.

Fig. 11: Simplified, greatly exaggerated geological cross section through the Curau bog (longitudinal section). Visible are two basins with variable filling, separated by till-eminences, the peat ridge with intercalated tufa and a single peat hilltop.

Subboreal und Subatlantikum statt. Ergänzend wurden aus einer Rammkernsondierung (Abb. 2,  $^{14}\text{C}$ -Probe „2“) Karbonatproben entsprechend der drei Hauptvorkommen im Profil entnommen und mittels  $^{14}\text{C}$ -Datierung bestimmt (Tab. 3). Die liegenden Quellkalke zeigen ein Alter von 11.220  $^{14}\text{C}$  a cal BP (Präboreal), die mittleren von 5.785 cal  $^{14}\text{C}$  a BP (Atlantikum), die hangenden von 4.245 cal  $^{14}\text{C}$  a BP (Subboreal). Die Mudden sind in stark quelligen Bereichen, d.h. im Bereich der Kuppen und des Walles gestört, ggf. im Torfrücken-Bereich auch teilweise erodiert. Die Standardabweichung liegt zwischen 27,5 und 70 Jahren, im Mittel bei ca. 40 Jahren.

Die Verbreitung der tiefsten Ablagerungen des Torfrückens zeigt, dass dessen Bildung sich bereits sehr früh gegen das nördlich anschließende Becken absetzte bzw. begann. Die Torfe des Rückens haben sich als wallartiges Quellmoor gebildet, wobei der Austritt des artesischen Grundwassers offenbar entlang eines linearen Elementes erfolgte. Der artesischer Aufstieg dürfte durch bindige, vorwiegend organogene Ablagerungen im Bereich nordwestlich des Walls, sowie glazilimnische Beckenablagerungen in Hohlformen südöstlich des Walls begünstigt worden sein. In beiden Bereichen ermöglichen oder fördern diese gering durchlässigen Schichten den Aufbau artesischer Verhältnisse und den kleinräumigen Aufstieg der Grundwasser am Lineament. In den anderen Bereichen des Moo-

res sind daneben auch singuläre, rundliche oder längliche Quellmoor-Kuppen mit Höhen von einigen Metern vorhanden (Abb. 11), bei denen der Grundwasserübertritt punktuell erfolgt. Diese Einzelformen werden vorwiegend durch Torfmudden und Torfen aufgebaut und liegen ungefähr im Streichen des Hauptrückens. Die Quellbereiche auf dem Rücken sind als podestförmige Aufwölbungen von wenigen Dezimetern Höhe zu erkennen. Auf diesen verhindert die Wassersättigung durch das Quellwasser eine Oxidation der Torfe, wie in den übrigen Bereichen. Dies könnte ein Hinweis auf einen generellen Volumenschwund des Torfrückens aufgrund der über Jahrzehnte bestehenden Entwässerung sein (vgl. Altersdatierungen). Auf dem Rücken tritt an verschiedenen Stellen flächenhaft Grundwasser auf.

## 6 Diskussion

Quellen lassen sich nach verschiedenen Kriterien gliedern, z. B. nach der räumlichen Verbreitung und Form der Wasseraustritte, den sedimentologisch-ökologischen Bedingungen an der Quelle selbst, dem Schüttungsverhalten der Quellen, den hydrochemischen Verhältnissen usw. Eine Darstellung von Quellen des Norddeutschen Flachlandes nach geologisch-hydraulischen Kriterien ist in Abb. 12 dargestellt. Die Quellmoor-Kuppen/-Rücken in Habernis und



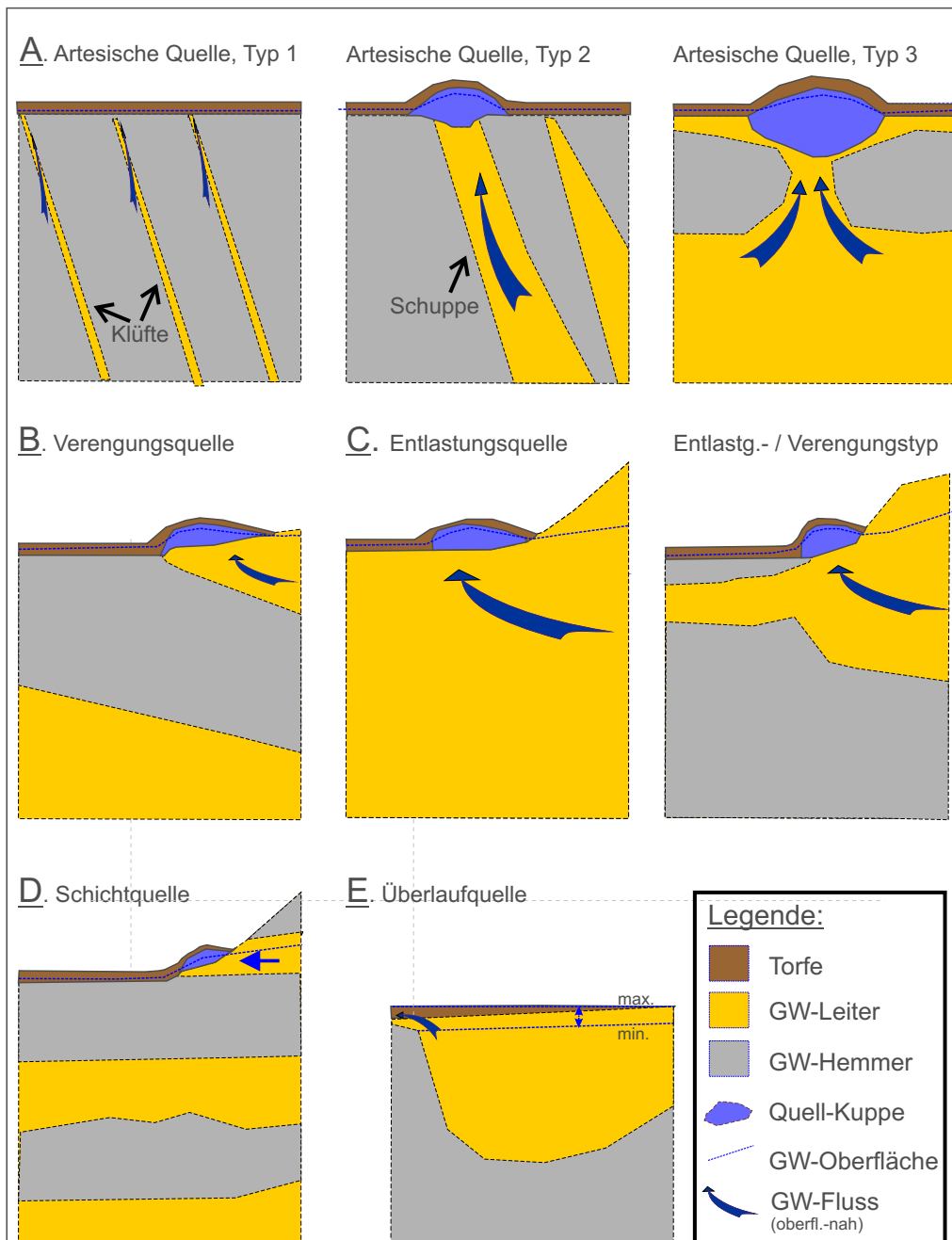


Abb. 12: Schematische Darstellung von Quelltypen mit Angabe einer möglichen Bildung morphologischer Quell-Vollformen (Quellentypen nach HESS VON WICHDORFF 1904, 1914; KEILHACK 1928, RICHTER & LILLICH 1975, sowie eigenen Untersuchungen).

Fig. 12: Schematic sketch of spring types, indicating a possible formation of positive morphological forms (spring types after HESS VON WICHDORFF 1904, 1914; KEILHACK 1928, RICHTER & LILLICH 1975, and own studies).

Curau sind unabhängig von flächenhaften Kalksedimenten im Untergrund oder von benachbarten Schichtquellen oder Überlaufquellen, wie diese in der Literatur aus Ostpreußen, Hinterpommern, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Niedersachsen u. a. (HESS VON WICHDORFF 1904, HESS VON WICHDORFF & RANGE 1906, HESS VON WICHDORFF 1914, TÜXEN 1985a, TÜXEN 1985b, SUCCOW 1988, BREMER 1996) beschrieben worden sind (Abb. 12, Typen D, E). Sie sind an lokale, exfiltrierende Grundwasserzutritte gebunden, ähnlich wie die Formen in Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen (Abb. 12, Typen A, B, C). Dieses gilt auch für die Farbeberge bei Nindorf (GRUBE & USINGER 2017). Das größte Potential für die Bildung morphologisch deutlicher Quellmoor-Kuppen ist naturgemäß bei den artesischen Typen vorhanden. Durch Glazitektonik entstandene Quellaustritte dürften meist punktuell, ggf. vergesellschaftet oder auch linienhaft auftreten. Der langgestreckte Rücken in Curau ist ein Beispiel für letzteren Typ. Schicht-

quellen, zu denen auch Bereiche mit erodierten Grundwasserleiterabschnitten gehören, führten verschiedentlich zur Bildung von Quellmoor-Kuppen (z. B. PÄZOLT 1999). Verengungsquellen / Stauquellen sind nach RICHTER & LILLICH (1975) häufig, sie sind z. B. durch undurchlässige Sedimente (feinkörnige Mudden usw.) im Talbereich charakterisiert.

Am Standort Curau handelt es sich nicht grundsätzlich, wie von RANGE (1938) aufgrund flacher Bohrungen angenommen, um einen artesischen Aufstieg von Grundwasser im Bereich einer flächenhaft vorhandenen Sandaufwölbung. Die Migrationspfade des aufsteigenden Grundwassers sind im Curauer Moor wahrscheinlich an linienhafte bis punktförmige glazitektonische Strukturen, auch im bindigen Material, gebunden. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass der Zutritt des artesisch gespannten Grundwassers vorwiegend über die gut durchlässigen Sedimente erfolgt. Der artesisch gespannte Grundwasser wird durch bindige organogene Ablagerungen im Bereich der westlich des

Walls sowie Beckenablagerungen in Hohlformen östlich des Walls begünstigt (Abb. 10). Glazitektonische Strukturen können auch im Bereich Habernis einen Einfluss gehabt haben (vgl. HAAS 1895), wenngleich STEPHAN (2004) diesen Bereich nicht zu den entsprechend beeinflussten Gebieten Schleswig-Holsteins zählt. Der Standort ist dem von PÄZOLT (1999) beschriebenen in Brandenburg ähnlich. Gemeinsam ist den hier untersuchten Standorten Habernis und Curau, dass eine jahreszeitlich unterschiedliche Quellerschüttung beobachtet wurde. So war beispielsweise das Frühjahr 2014 auf den untersuchten Kuppen durch deutlich trockenere Bedingungen gekennzeichnet, als in den Vorjahren. Die Beschaffenheit der Quellwässer ist bei den Hauptinhaltsstoffen an den drei Standorten sehr ähnlich. Es handelt sich um Calcium-Hydrogenkarbonat-Wässer mit geringer Gesamtmineralisation. Einflüsse aus der landwirtschaftlichen Nutzung sind ganz überwiegend als gering zu bewerten (u. a. Nitrat und Ammonium). Da die untersuchten Bereiche alle zumindest teilweise im Einflussbereich von landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen, kann daher von aufsteigendem Grundwasser aus mittlerer oder größerer Tiefe ausgegangen werden. Der Anteil flachen Grundwassers dürfte folglich eher klein sein.

In Habernis zeigen die sieben durchgeführten Karbonat-Datierungen (Tab. 1) über eine Gesamt-Teufe von ca. 3,6 m (1,82–5,43 m u. GOK) eine weitgehend konsistente Altersabfolge komplett im Atlantikum / frühes Subboreal (8.065–6.650 cal <sup>14</sup>C a BP), die einen Zeitraum von nur ca. 1.400 Jahren abdeckt. Die an demselben Kern durch durchgeführten pollenanalytischen Datierungen (beprobte wurden die stärker organischen Abschnitte; USINGER 2011) stimmen hiermit gut überein. Nach dieser Beurteilung der Baumpollen-Zusammensetzung in den Torfen beginnt die Sedimentation mit großer Wahrscheinlichkeit im Atlantikum und setzt bereits im Subboreal aus. Eine geringmächtige Hangendschicht mit Pollenspektrum aus dem Subatlantikum ist angedeutet. Trotz der schlechten Pollenerhaltung liegt die Grenze von Atlantikum zu Subboreal demnach wahrscheinlich zwischen 3,60 und 4,70 m. Hiermit scheint die Kalkbildung im Vergleich zu anderen Standorten in Mitteleuropa (LAUMETS, KALM & SOHAR 2010) verhältnismäßig kurz gewesen zu sein. Für eine endgültige Aussage müsste der mögliche Abbau der Kalke vor und nach der ermittelten Bildungsphase eruiert werden.

Die ermittelten Alter in Curau für limnisch-telmatische Sedimente (Tab. 2) zwischen 3 und ca. 5,60 m u. GOK liegen zwischen 6.800 und 1.750 cal <sup>14</sup>C a BP. Damit ist hier eine Sedimentation im Atlantikum, Subboreal und Subatlantikum über einen Zeitraum von mehr als 5.000 Jahren nachgewiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der Auftragung in Curau und damit einhergehender, episodisch geringerer Durchfeuchtung der Torfe mit einer generell stärkeren potentiellen Oxidation der organischen Ablagerungen zu rechnen ist. Die liegenden Quellkalke zeigen ein Alter von 11.220 cal <sup>14</sup>C a BP (Präboreal), die mittleren von 5.785 cal <sup>14</sup>C a BP (Atlantikum), die hangenden von 4.245 cal <sup>14</sup>C a BP (Subboreal). Von LAUMETS, KALM & SOHAR (2010) werden nach einem Vergleich von Literaturangaben die Hauptphasen der Sinterkalk-Bildung mit 9.400–7.400 a BP angegeben. Nach PAZUR et al. (2002) lag die Hauptphase der Bildung während des Klimatischen Optimums ca.

5.000–6.000 Jahre vor Heute. Somit sind Quellkalke in Curau deutlich älter als vergleichbare Standorte Mittel- und Nordeuropas.

Generell deuten die <sup>14</sup>C-Datierungen auf eine autochthone und chronostratigraphische Sedimentation der Kalkablagerungen hin. Die Datierung von Kalken ist problematisch, u. a. aufgrund des Hartwassereffektes, ggf. auch eines Reservoir-Effektes (SRDOC et al. 1980, 1983, HAJDAS 2008, LOWE & WALKER 2015). Unsicherheiten treten zudem durch die Verwendung unterschiedlichen Datierungsmaterials auf. Teilweise bestehen Probleme in der Zuordnung der Sinterkalk-Ablagerungen hinsichtlich ihrer Bildung. Besonders bei lokalen, geringmächtigen Sinterkalken kann nicht ohne großen Untersuchungsaufwand entschieden werden, ob diese chronostratigraphisch in den entsprechenden Bereich gehören oder z.B. durch Zutritt kalkreicher Wässer in Torfkörper entstanden sind. In den holozänen Teilen in Habernis sowie im Wall des Curauer Moores treten Kalke als unregelmäßig im limnisch-telmatischen Sediment verteilte Horizonte auf, bevorzugt in den unteren Bereichen der Sedimente. Es ist folglich keine kontinuierliche Kalksedimentation gegeben, anders als in vielen Seen.

Gegebenenfalls wurden die hydrogeologischen Wegsamkeiten für den artesischen Aufstieg der kalkreichen Grundwässer am Standort Habernis erst artesisch-erosiv während des Holozäns gebildet (Beginn Karbonatsedimentation nach den Datierungen 8.065 cal <sup>14</sup>C a BP), während die Voraussetzungen in Curau bereits durch die glazitektonische Prägung primär vorhanden waren (Beginn Karbonatsedimentation 11.220 cal <sup>14</sup>C a BP). Ein frühes Einsetzen der Quellaktivität, bzw. Karbonatsedimentation (frühes Präboreal) ist jedoch plausibel, da entsprechende hohe Alter auch am Farbeberg nachgewiesen werden konnten (GRUBE & USINGER 2017, MAZUREK et al. 2014).

Die Entkalkung bindiger glaziärer Ablagerungen, d. h. sehr feinkörniger Tills und Beckensedimente im Verlauf einer Warmzeit ist aufgrund der geringen Durchströmung dieser gering durchlässigen Sedimente durch Sicker- und Grundwasser in Nordwestdeutschland meist gering. THIERE & LAVES (1968) gehen dagegen aufgrund von bodenkundlichen Befunden davon aus, dass kalkarme Geschiebemergel im nordostdeutschen Jungmoränengebiet bereits am Ende des Spätglazials vollständig entkalkt waren. Der in den Untersuchungsgebieten auftretende kalkreiche, bindige weichselzeitliche Geschiebemergel ist nur geringmächtig entkalkt (Dezimeter-Bereich). Die Grundwasserströmung an beiden Standorten dürfte den Teufenbereich bis in mehrere Dekameter Tiefe und darunter umfassen und demnach ein sehr großes Reservoir darstellen. Aufgrund dessen lassen sich die festgestellten Phasen der bevorzugten Kalkausfällungen nicht auf die Auslaugung der umgebenden, sehr flacheren Sedimentvorkommen, bzw. eine entsprechende holozäne Auslaugung zurückführen. Ein Jahresgang der Temperaturen an der Erdoberfläche macht sich jedoch bis in eine Teufe von 25–30 m bemerkbar („Neutrale Zone“ nach DIN 4049, OTTO 1995), daher ist ein Einfluss wechselnder Grundwassertemperaturen an den untersuchten Standorten wahrscheinlich. Auch der Einfluss einer variablen Grundwasserdynamik könnte einen Einfluss haben. Dieses steht im Einklang mit Literaturangaben (vgl. GLASER et al. 1997). Eine regional sich im Lau-



fe der Zeit verändernde Grundwasserneubildung würde so beispielsweise zu einer Verlagerung von Einzugsgebieten führen. Durch die wechselhafte Verbreitung bzw. Durchströmungsdisponibilität kalkhaltiger Sedimente im Untergrund wäre dann ein Einfluss auf die Menge von gelöstem Kalk im Grundwasser und damit einer phasenweise verstärkten Kalkquellbildung gegeben.

## Danksagung

Die Arbeiten wurden vom Autor teilweise im Rahmen seiner Tätigkeit beim Geologischen Dienst Schleswig-Holstein (LLUR) durchgeführt. Mein erster Dank geht an PD Dr. Hartmut Usinger (†) für die freundschaftliche Zusammenarbeit über viele Jahre hinweg. Gedankt sei dem Team des Leibnizlabors, besonders den Herren Dr. A. Z. Rakowski, Dr. A. Dreves und Dr. M. Hüls (CAU Kiel), Fr. Prof. Dr. B. Schmalz (TU Darmstadt), Hr. J. Ludwig (Univ. Hamburg), Hr. W.-D. Klitzing (Ahrensböök), dem Prior Leo (Kloster Nütschau), den Anwohnern im Bereich Habernis (Herrn S. Frank, Curau; Frau Dr. M. Stegmann, H.-J. Joost, Frank P. Otzen, A. Asmussen und R. Boysen, Gintoft / Steinbergkirche / Niesgrau), Hr. Dr. W. Schulz (Schwerin), Hr. Dr. A. Brande (TU Berlin), den Zeichnerinnen Fr. M. Schirk, Fr. Chr. Verdieck, dem Bohrmeister und Helfern Hr. W. Mevs, E. Krug, K. Peters, A. Preuß und H.P. Henningsen, sowie Fr. M. Kairies, Hr. V. Hildebrand, Hr. W. Petersen, Hr. J. Beller (alle LLUR), Hr. F. Idler (LUNG Meckl.-Vorp.) für die Hilfe, bzw. Informationen. Frau Fr. K. Krauss (Altenholz), bin ich für die Datenabfrage zu Quellmoor-Kuppen im Biotopkaster verbunden. Durch Hr. H. Mordhorst (IB Mordhorst-Bretschneider, Nortorf) wurde ich erst auf den Quellhügel von Habernis aufmerksam.

Den Herren Dr. K. Kaiser (GFZ, Potsdam) und Dr. J. Elbracht (LBEG, Hannover) sei für das kritisch-konstruktive Review herzlich gedankt.

## Literatur

AGSTER, G. (2011): Untersuchungsprogramm zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots im Raum Lübeck/Bad Segeberg – Abschlussbericht zur Geologie und Hydrogeologie des Untersuchungsraumes. – 166 S., Anhang, 8 Anlagenbände, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek [unveröff.].

ALAILY, F., BRANDE, A., FACKLAM, M. & RENGER M. (2001): Bodengesellschaften und Genese von Kalktuff im Naturschutzgebiet "Kalktuffgelände am Tegeler Fließ" (Berlin-Blankenfelde). – Sitzungsberichte der Gesellschaft Naturforschender Freunde Berlin (N. F.), 39:113–127, Berlin.

BAKALOWICZ, M. (1990): Geochimie des eaux incustantes, formation des travertins et neotectonique: l'exemple des Corbieres. – Bull. Centre de Geomorphologie du CNRS, 38, Travaux du Groupe Seine, 5:67–78. Paris.

BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor – Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. – Geologisches Jahrbuch, A153.

BREMER, F. (1996): Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern 1:25 000; 2131 Schönberg. – mit Beiträgen von HANETSCHAK, M., HAUPT, J., LÜCKSTÄDT, M. & MÜLLER, U.; Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.], Güstrow, 2 Kt., Erl.-Heft + 8 Anl.

BÜLOW, K., VON (1929): Allgemeine Moorgeologie. – Gebr. Borntraeger, 308 S. (Berlin)

CARPENTER, Q. J. (1995): Toward a new definition of calcareous fen for Wisconsin (USA). – Diss, Univ. of Wisconsin – Madison, 295 S.

COUWENBERG, J., DE KLERK, P., ENDTMANN, E., JOOSTEN, H. & MICHAELIS, D. (2001): Hydrogenetische Moortypen in der Zeit – eine Zusammenschau. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde: 399–403; Stuttgart (Schweizerbart).

DANN, T. (2003): Die Moore in Mecklenburg-Vorpommern – Eine Übersicht unter besonderer Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse. – Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie, 3:17–26.

DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION (Subkommission Quartär der Deutschen Stratigraphischen Kommission) (2016): Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2016. Entwurf, [unveröff.]

DÖRFLER, W., FEESER, I., VAN DEN BOGAARD, C., DREIBRODT, S., ERLENKEUSER, H., KLEINMANN, H., MERKT, J. & WIETHOLD, J. (2012): A high-quality annually laminated sequence from Lake Belau, Northern Germany: Revised chronology and its implications for palynological and tephrochronological studies. – The Holocene, 22:1413–1426.

GLASER, P. H., SIEGEL, D. I., ROMANOWICZ, E. A. & SHEN, Y. P. (1997): Regional linkages between raised bogs and climate, groundwater, and landscape of north-western Minnesota. – J. Ecol., 85:3–16.

GROSCHOPE, P. (1969): Zur Genese und Systematik limnischer Kalksedimente. – Mitt. Int. Ver. Limnol., 17: 219–225.

GROOTJANS, A., BULTE, B., WOLEJKO, L., PAKALNE, M., DULLO, B., ECK, N. & FRITZ, Chr. (2015): Prospects of damaged calcareous spring systems in temperate Europe: Can we restore travertine-marl deposition? – Folia Geobot, 50:1–11.

GRIFF, K. (1964): Erdgeschichte von Schleswig-Holstein. – 411 S., Neumünster (Wachholtz).

GRUBE, A. & USINGER, H. (2017): Spring fed raised peat hummocks with tufa deposits at the Farbeberg hills (Schleswig-Holstein, Northwest-Germany): Structure, genesis and paleoclimatic conclusions (Eemian, Holocene). – E&G Quaternary Science Journal, eingereicht.

HAAS, H.-J. (1895): Quellenkunde. – J. J. Weber (Leipzig).

HAJDAS, I. (2008): Radiocarbon dating and its applications in Quaternary studies. – E&G Quaternary Science Journal, 57: 2–24.

HANSEN, M. & MARTIN, P. (2013): Kalktuffquellen – Allgemeine Charakterisierung und Stand der Dinge in Schleswig-Holstein, Deutschland und der Europäischen Union. – Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2012 (Koblenz), Hardegsen 2013, 98–102.

HESS VON WICHENDORFF, H. (1904): Erster Bericht über die Aufnahme auf Blatt Kerschken im Jahre 1904. – Jahrbuch für 1904: 827–829.

HESS VON WICHENDORFF, H. (1914): Zur weiteren Kenntnis der Quellmoore in Norddeutschland. – Jahrbuch für 1912: XXXIII. II: 319–341

HESS VON WICHENDORFF, H. & RANGE, P. (1906): Über Quellmoore in Masurien (Ostpreußen). – Jahrbuch für 1906: 95–106

HEYKES, K. (1931): Entstehung von Quellkalken. – In: STOLLER, J., VON BÜLOW, K. & DIENEMANN, W. et. al; Handbuch der vergleichenden Stratigraphie. – Preuss. Geolog. Landesanst. [Hrsg.], S. 38–39, Berlin.

HINSCH, W. (1991): Karte des präquartären Untergrundes von Schleswig-Holstein 1:200.000. – Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein [Hrsg.], Kiel.

JÄGER, K.-D. (1966): Holozäne Binnenwasserkalke und ihre Aussage für die nacheiszeitliche Klima- und Landschaftsentwicklung im südlichen Mitteleuropa: Grundlagen und Grundzüge einer vergleichenden Stratigraphie unter besonderer Berücksichtigung Thüringens [in 2 Bänden]. – Jena, 1966: Teilband 1: 161 gez. Bl., Teilband 2: gez. Bl. 162–399, Jena, Univ., Diss.

JOHANNSEN, A. (1947): Geologisches Gutachten über die Torf- und Kalkvorkommen im Moor zwischen Curau und Sarkwitz (M.Bl. 2029). – Gutachten Nr. 140, 6 S. + Anhang mit 175 Bohrungen und Karten 1:2500, Landesanstalt für Angewandte Geologie, Kiel [unveröff.].

KAISER, K., LORENZ, S., GERMER, S., JUSCHUS, O., KÜSTER, M., LIBRA, J., BENS, O. & HÜTTL, R.F. (2012): Late Quaternary evolution of rivers, lakes and peatlands in northeast Germany reflecting past climatic and human impact – an overview. – E&G Quaternary Science Journal, 61: 103–132.

KEILHACK, K. (1928): Bericht der Moorkommission. – Veröffentlichungen der Zentralstelle für Balneologie, 7: 23–29.

KIRCHNER, A. (1971): Ein Beitrag zur Klassifizierung von Niedermoorsandorten in den drei Nordbezirken der DDR unter für die Melioration bedeutungsvollen hydrologischen Gesichtspunkten. – 110 S., Diss., W.-Pieck-Universität, Rostock.

- KIRCHNER, A. (1975): Zum Auftreten von Druckwasser in Niedermooren. – Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 19: 613–617, Berlin.
- LLUR – LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (1978–1994): Biotopkartierung Schleswig-Holstein – Ersterfassung; Flintbek [unveröff.].
- LAUMETS, L., KALM, V. & SOHAR, K. (2010): Postglacial period of intensive Tufa precipitation in the region of Scandinavian glaciation. – Abstracts, 35. Hauptversammlung der Deutschen Quartärvereinigung DEUQUA e. V., Greifswald, S. 47–48.
- LENZ, F. (1924): Quellschichten im Großen Plöner See. – Verh. d. Internat. Vereinig. f. Limnologie, Innsbruck 2: 359–376.
- LOWE, K. J. J. & WALKER, M. J. C. (2015): Quaternary Environments. – 3. Aufl., London u.a. (Routledge).
- MALLIK, R. (2000): Entwicklung einer Mikrobeprobung zur Th/U-Datierung und Anwendung an quartären Travertinen aus dem Thüringer Becken. – Diss., Heidelberg.
- MANIA, D. & ALTERMANN, M. (2005): Geology of the Lower Palaeolithic find horizon of Bilzingsleben (Thuringia) and the anthropogenic aspect. – *Hercynia* N.F. 38: 143–184.
- MARTIN, P. (2004): Hydromorphologische und physikochemische Erhebung von Quellen in verschiedenen Naturräumen Schleswig-Holsteins. – Bericht i. A. des Landesamts für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU). – 6. S. + Anhang [unveröff.].
- MARTIN, P. & BRUNKE, M. (2012): Faunal typology of lowland springs in northern Germany. – *Freshwater Science*, 31(2): 542–562.
- MAZUREK, M., DOBROWOLSKI, R., OSADOWSKI, Z. (2014): Geochemistry of deposits from spring-fed fens in West Pomerania (Poland) and its significance for palaeoenvironmental reconstruction. – *Geomorphologie* 20: 323–341.
- MENDE, R. (1956): Eis – Wasser – Wind. – Eine allgemein verständliche Eiszeitgeologie der Hamburger Gegend. – Hamburg (Christians), 344 S.
- MENKE, B. (1981): Vegetation, Klima und Verwitterung im Eem-Interglazial und Weichsel-Frühglazial Schleswig-Holsteins. – Verhandlungen Naturwissenschaftlicher Verein Hamburg (NF), 24 (2): 123–132.
- MIERWALD, U. (2006): Monitoring der Quellen im Curauer Moor: Ergebnisbericht 2005. – Auftraggeber: Landrat des Kreises Ostholstein – Fachdienst Naturschutz; 32 S., Kiel [unveröff.].
- MINGRAM, J., NEGENDANK, F. W., BRAUER, A., BERGER, D., HENDRICH, A., KÖHLER, M. & USINGER, H. (2007): Long cores from small lakes – recovering up to 100 m-long lake sediment sequences with a high-precision rod-operated piston corer (Usinger-corer). – *J. Paleolimnol.*, 37: 517–528.
- MOELLER, A. (2002): Quartärgeologische Kartierung im Bereich Habernis – Nordgaardholz (südliche Flensburger Außenförde). – Kiel, Univ., Dipl.-Arb. [unveröff.].
- MOORE, P. D. & BELLAMY, D. J. (1974): Peatlands. – 1. Aufl., London (Elek Science).
- MÜLLER, W. & PASDA, C. (2011): Site formation and faunal remains of the Middle Pleistocene site Bilzingsleben. – *Quartär* 58: 25–49.
- NORMENAUSSCHUSS WASSERWESEN (NAW) IM DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1992): DIN 4049 T1.
- OTTO, R. (1995): Grundwassertemperaturmessungen als Mittel zur Funktionsüberprüfung von Grundwassermeßstellen. – *Fachtechnik Brunnenbau*, 8/95: 23–28.
- PÄZOLT, J. (1999): Genese eines Quellmoorkomplexes im Übertal (Brandenburg) und der anthropogene Einfluß auf die Hydrologie des Moores. – *Telma* 29: 53–64.
- PAULSON, C. (2001): Die Karstmoore in der Kreidelandschaft des Nationalparks Jasmund auf der Insel Rügen. – Greifswalder Geographische Arbeiten, 21: 1–296.
- PAZDUR, A., DOBROWOLSKI, R., DURAKIEWICZ, T., MOHANTI, M., PIOTROWSKA, N. & DAS, S. (2002): Radiocarbon time scale for deposition of Holocene calcareous tufa from Poland and India (Orissa). – *Geochronometria*, 21: 85–96.
- PETERS, G. (1955): Alte und Neue Kalkhütte am Kellersee. – *Blätter für Heimatkunde*, 1 (18): 70–72, Eutin.
- PETERSEN, J. (1892): Über den Wiesenkalk des Farberberges bei Nindorf. – *Mitteilungen Mineralogisches Institut der Universität Kiel*, 1–4: 104–110.
- RAABE, E. W. (1980): Der Wandel der Pflanzenwelt unserer Kalk-Quellmoore. – *Die Heimat*, 87 (3): 41–49.
- RANGE, P. (1938): Erläuterungen zur Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1:25 000, Blatt Kurau. – *Preuß. Geol. Landesanstalt [Hrsg.]*, 49 S., Berlin.
- RANGE, P. & SCHLUNCK, J. (1935): Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1:25 000 – Blatt Bad Oldesloe (2028). – *Preuß. Geol. Landesanstalt [Hrsg.]*, Berlin.
- RICHTER, W. & LILLICH, W. (1975): Abriss der Hydrogeologie. – 281 S., Stuttgart (Schweizerbart)
- SCHUSTER, O. (1926): Postglaziale Quellschichten Schleswig-Holsteins und ihre Molluskenfauna in Beziehung zu den Veränderungen des Klimas und der Gewässer. – *Archiv für Hydrobiologie*, 16: 1–73.
- SRDOC, D., OBELIC, B., HORVATINCIC, N. & SLIEPCEVIC, A. (1980): Radiocarbon dating of calcareous tufa: How reliable results can we expect? – *Radiocarbon*, 22 (3): 858–862.
- SRDOC, D., HORVATINCIC, N., OBELIC, B. & SLIEPCEVIC, A. (1983): Radiocarbon dating of tufa in palaeoclimatic studies. – *Radiocarbon* 25 (2): 421–427.
- STEGMANN, H. (2005): Die Quellmoore im Sernitztal (NO-Brandenburg) – Genese und anthropogene Bodenveränderungen. – *Math.-Nat.-Fak., Ernst Moritz Arndt Universität Greifswald, Dissertation*: 94 S., Anhang.
- STEPHAN, H.-J. (2004): Karte der Stauchgebiete und Haupt-Gletscherrandlagen in Schleswig-Holstein 1:500.000. – *Meyniana*, 56: 149–154.
- STREHL, E. (2001): Über ein Vorkommen von Quellschichten bei Lütjenburg. – *Jahrbuch für Heimatkunde im Kreis Plön*, 31: 166–168.
- SUCCOW, M. (1988): Landschaftsökologische Moorkunde. – Lizenzausgabe für Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 340 S.
- SUCCOW, M., STEGMANN, H. & KOSKA, I. (2001): Quellmoore. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*: 353–365; Stuttgart (Schweizerbart).
- THIENEMANN, A. (1922): Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen (I–IV). – *Arch. Hydrobiol.*, 14: 151–190.
- THIERE, J. & LAVES, D. (1968): Untersuchungen zur Entstehung der Fahlerden, Braunerden und Stauleye im nordöstlichen Jungmoränengebiet. – *Thaer-Archiv*, 12: 659–677, Berlin.
- TÜXEN, J. (1985a): Moore. – In: HÖFLE, H.-CHR. (1985): *Erläuterungen zu Blatt Nr. 2726 Hanstedt, Geologische Karte 1:25000 von Niedersachsen*, 107 S., Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover [Hrsg.], S. 64–66.
- TÜXEN, J. (1985b): Moore. – In: MEYER, K.-D. (1985): *Erläuterungen zu Blatt Nr. 2626 Stelle, Geologische Karte 1:25000 von Niedersachsen*, 95 S., Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover [Hrsg.], S. 52–59.
- TÜXEN, J. (1990): Grundzüge einer Geologie der Moore im niedersächsischen Flachland. – In: *Niedersächsische Akademie der Geowissenschaften (1990): Moor und Torf in Niedersachsen* 5: 84 S.
- USINGER, H. (2011): Pollenanalytische Untersuchung einer Kernfolge aus dem Quellmoor in der Habernisser Niederung, Gem. Steinberg (Schleswig). – 3. S., Kiel [unveröff.].
- WEBER, C. A. (1907): Aufbau und Vegetation der Moore Norddeutschlands. – *Botanisches Jahrbuch für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*, Beiblatt Nr. 90: 19–34; Leipzig.
- WIEDERHOLD, H., AGSTER, G., GABRIEL, G., KIRSCH, R., SCHENCK, P.-F., SCHEER, W. & VOSS, W. (2002): Geophysikalische Erkundung eiszeitlicher Rinnen in Schleswig-Holstein. – *Zeitschrift Angewandte Geologie*, 1/2002: 13–26.