

**Weichsel-kaltzeitliche Paläopingos und Flugsanddepressionen.  
Entwicklung und Anwendung eines Leitfadens zu deren  
Bestimmung an ausgesuchten Beispielen im  
niederländischen Drenthe-Plateau und in Ostfriesland.**

Von der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften der Carl von Ossietzky Universität  
Oldenburg zur Erlangung des Grades und Titels einer

Doktorin der Naturwissenschaften  
*Doctor rerum naturalium, Dr. rer. nat.*

angenommene Dissertation

von Frau Gisela Sylke Riedel  
geboren am 29.01.1967 in Aurich (Ostfriesland)

Gutachterin/Gutachter

PD. Dr. Holger Freund, Universität Oldenburg

Weitere Gutachterin/Gutachter

Assoc. Prof. Dr. Wim Z. Hoek, Universität Utrecht

Prof. Dr. Gudrun Massmann, Universität Oldenburg

Tag der Disputation: 12.11.2025



---

## Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner beruflichen Tätigkeit in den Bereichen Geo- und Umwelttechnik sowie Altlasten- und Abfallmanagement und der Bauleitung mit Fachberatung im Bereich des Hafenausbaus für internationale Projekte.

Mein Dank gilt Herrn PD Dr. Holger Freund, Arbeitsgruppenleiter Geoökologie im ICBM, Institut für Chemie und Biologie des Meeres Wilhelmshaven. Herr Freund ermöglichte mir, die nebenberufliche Dissertation zu verwirklichen. Die fachlichen Diskussionen und Anregungen mit ihm trugen zum Gelingen der Arbeit bei.

An dieser Stelle danke ich Herrn Martin Hinrichs und Herrn Friedrich Freudenberg für ihr Engagement und ihre Unterstützung bei den Bohrarbeiten im Gelände. Die vielen konstruktiven Ideen und Lösungsansätze von Martin Hinrichs halfen sehr, die Bohrarbeiten erfolgreich zu beenden. Friedrich Freudenberg danke ich für die fachlichen Diskussionen. Er wies mich in einen unserer ersten Gespräche auf die paläogeologische Bedeutung der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche hin.

Herrn Alexander Stracke und die Schülerinnen und Schüler vom Gymnasium Ulricianum Aurich danke ich für das Engagement und Unterstützung bei den Bohrarbeiten in den Herbst- und Frühjahrsferien 2006 bis 2008.

Herr Dr. J. Merkt begleitete mich zu den Feldarbeiten im Oktober 2006. Ich danke Herrn Merkt für die fachlichen Diskussionen und wertvollen Anregungen. Herr Dr. K.-D. Meyer überreichte mir freundlicherweise eine Fotokopie des unveröffentlichten Kurzberichtes vom 12.10.1995 über die geologischen Untersuchungen am „Frauenmeer“ bei Aurich.

Das Geoforschungszentrum Potsdam stellte mir für die Pollenanalyse ein Zeitz-Mikroskop zur Verfügung. Die Ostfriesische Landschaft in Aurich lieh mir für das Einmessen der Bohrpunkte die Nivelliergeräte aus. Ich bedanke mich namentlich bei Herrn Dr. Knuth Hahne und Herrn Dr. Schwarz für ihre Unterstützung.

Anlässlich meiner Dissertation organisierte ich Tagesexkursionen zu den weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos in die niederländische Provinz Drenthe, die Herr Harry Huisman vom Naturkundemuseum Groningen leitete. Dafür danke ich ihm sehr. Ebenso richte ich namentlich meinen Dank an Herrn Wolfgang Völckner und Herrn Alexander Stracke, das Organisationsteam der Auricher Wissenschaftstage, für die finanzielle Unterstützung der Tagesexkursion am 14.07.2007.

Das Kartenmaterial (TK 25 Hesel und DGK 5) und die georeferenzierten, digitalen Versionen, die georeferenzierten Luftbilder als Orthofoto und die ATKIS Rasterdaten, stellte mir freundlicherweise die GLL, Behörde für Geoinformation, Landentwicklung und Liegenschaften Aurich, für die Dissertation kostenlos zur Verfügung.

Ich danke FUGRO CONSULT GmbH in Berlin für die unentgeltliche Nutzung ihrer Erfassungssoftware GeODin.

Schließlich bedanke ich mich bei all denjenigen, die ich noch nicht namentlich erwähnt habe. Sie trugen alle zum Gelingen der vorliegenden Arbeit bei.

---

## Kurzfassung

Bei eigenen Untersuchungen im ostfriesischen Timmelfeld, stellte sich heraus, dass bislang eine einheitliche Methodik für die Bestimmung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen fehlt. Ebenso liegen keine verbindlichen Kriterien zu deren Einstufung vor. Um die zu Beginn der vorliegenden Arbeit ermittelte Lücke zu schließen, wurde über eine umfassende Literaturstudie ein einzigartiger und innovativer Leitfaden für ihre eindeutige Bestimmung erarbeitet. Mittels ausgewählter, repräsentativer Literaturbeispiele von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen im niederländischen Drenthe-Plateau und in Ostfriesland wurden die Voraussetzungen und Kriterien für den Leitfaden entwickelt.

Der Leitfaden gliedert sich in insgesamt drei Kategorien, in denen acht wesentliche Kriterien definiert werden. Er beginnt mit der Kategorie 1 „Voraussetzungen“, die Kategorie 2 benennt die „Kriterien“ und endet mit der Kategorie 3 der „Methodik“. Die Kategorie 1 untergliedert sich weiter in das Kriterium 1. „Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen“, Kategorie 2 in die Kriterien: 2. „Genese“, 3. „Auftreten“, 4. „Geometrie“, 5. „Datierung“ und 6. „Rezente Ausbildung“. Die Kategorie 3 „Methoden“ enthält die Kriterien 7. „Geologische Einstufung“ und das letzte Kriterium 8. „Feldarbeiten und geologische Aufnahme“.

Der Leitfaden wurde an den eigenen untersuchten Hohlformen im Timmelfeld angewendet. Ostermoor und Kolk sind als Paläopingos einzustufen, die in der Oberen Mittel-Weichsel (Pleni-glazial) während der Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.) wuchsen. Der Zerfall begann mit dem Meiendorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.), setzte sich im Bölling–Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.) fort und war vollständig im Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.) abgeschlossen. Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg sind hingegen als Flugsanddepressionen zu bewerten, die im Weichsel-Spätglazial bis zur Jüngeren Dryas (14 500 – 12 700 cal J.v.h.) entstanden sind.

Der Leitfaden wurde an Beispielen in Ostfriesland und im Drenthe-Plateau demonstriert. So werden das Frauenmeer und Doove Meer als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos bestätigt, ebenso Esens-Nordorf, Kielstraat und Fuhrenkämper Graben. Randweg-Süd, Junkermoor, Spolsener Moor-Nord, Spolsener Moor-Süd, Randweg-Ost-West und Dietrichsfeld sind hingegen als weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepressionen einzustufen und widerlegt klar die frühere Interpretation als Paläopingos. Die Beispiele auf dem Drenthe-Plateau werden mittels des Leitfadens als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos und Flugsanddepressionen bestätigt.

Auf Basis des Leitfadens war es möglich, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau und in Ostfriesland aufzuzeigen, auch zwischen den Flugsanddepressionen. Gemeinsamkeiten der Paläopingos sind die paläoklimatischen und –geohydrologischen Voraussetzungen sowie Genese, Auftreten, Geometrie und Datierung des Wachstums zu benennen. Unterschiede hingegen bestehen im Wasserdargebot für das Pingowachstum, welches im Drenthe-Plateau über das weiträumig verzweigte Entwässerungssystem des Drentsche Aa mit seinen aktiven ehemaligen Nebentälern und in Ostfriesland über die Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex erfolgte, sowie im Zeitpunkt des Pingozerfalls. Er begann auf dem Drenthe-Plateau erst im Bölling–Interstadial, etwas später als in Ostfriesland (Meiendorf-Intervall).

Eine Gemeinsamkeit der Flugsanddepressionen liegt in ihrer Ausbildung innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken und die Entstehung im Weichsel-Spätglazial. Ein Unterschied besteht in ihrer Geometrie.

Die Anwendung und Demonstration des Leitfadens haben eindrucksvoll veranschaulicht, dass dieser sehr gut funktioniert und mit ihm ein hervorragendes Werkzeug zur Verfügung steht. Der innovative Leitfaden ist ein Meilenstein und Wegweiser in der Bestimmung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen. Empfehlenswert ist, den Leitfaden in allen künftigen Untersuchungen anzuwenden.

---

## Abstract

Performing the own investigation in the East Frisian Timmelfeld, it turned out that a standardized methodology for classification of the Weichselian paleo-pingos and coversand depressions is still lacking. Likewise, there are no evaluation criteria for their classification. To tackle this void, a unique and innovative guideline for their unambiguously determination has been developed through a comprehensive literature search. The requirements and criteria for the guideline were developed using selected representative literature examples of Weichselian paleo-pingos and coversand depressions in the Dutch Drenthe Plateau and in East Friesland.

The innovative guideline has been divided into three categories to define a total of eight criteria. However, the first category names the requirements, such as criteria 1. Paleoclimatic and geohydrological requirements. The second category entitles further criteria under 2. Genesis, 3. Occurrence, 4. Geometry, 5. Dating and 6. Recent use. The guideline results in the third category containing the methodology, in which the geological classification and as well as field work and geological survey are described as the seventh and eighth criterion.

The guideline has been applied to the own investigated depressions in the Timmelfeld. "Os-termoor" and "Kolk" have been classified as paleo-pingos grown in the Upper Middle-Weichselian during the coldest part (22 000 – 18 000 b.p.). The decay began with the Meiendorf Interval (14 500 – 13 860 cal y.b.p.), continued in the Bölling Interstadial (13 730 – 13 480 cal y.b.p.) and was entirely completed in the Allerød Interstadial (13 350 – 12 700 cal y.b.p.). "Pultermoor", "Erlenstraße", „Osterweide“ and „Reitplatzweg“, however, have been interpreted as coversand depressions growing in the Weichselian Late Glacial till the Younger Dryas (14 500 – 12 700 cal y.b.p.).

The guideline was demonstrated to further examples in East Friesland. "Frauenmeer" and "Doove Meer" are confirmed as paleo-pingos as well "Esens-Nordorf", "Kielstraat" and "Fuhrenkämper Graben". "Randweg-Süd", "Randweg-Ost-West", "Junkermoor", "Spolsener Moor-Nord", "Spolsener Moor-Süd" and "Dietrichsfeld" are unambiguously classified as a coversand depression growing in the Weichselian Late Glacial. The former interpretation of those ones as paleo-pingos has been clearly disproved by the guideline. Furthermore, the examples on the Drenthe Plateau as Weichselian paleo-pingos and coversand depressions are fully confirmed by the guideline.

However, on base of the guideline, it was possible to show similarities and differences in the paleo-pingos on the Drenthe Plateau and in East Friesland, as well as for the coversand depressions. Similarities are the paleo-climatic and geohydrological requirements like the location in the former Saalian periglacial areas and on the Moraine-Ridge, as well as the genesis, occurrence, geometry, and the time of their growth. Differences exist, however, in the water availability during the pingo growth, which occurred via the widely branched water systems in its active former tributary valleys on the Drenthe-Plateau and from the Saalian drainage channel in East Friesland, and as well as the timing of the decay of the paleo-pingos, which began in the Bölling-Interstadial on the Drenthe Plateau, a bit later than in East Friesland (Meiendorf-Interval).

A similarity of the coversand depressions is their formation within the Weichselian aolian coversand and their genesis in the Weichselian Late Glacial. A difference occurs in the geometry of the coversand depressions.

The application and the demonstration of the guideline have impressively illustrated that it functions very well, and also an excellent tool is available. However, this innovative guideline is a milestone and guidepost in the determination of Weichselian paleo-pingos and coversand depressions. It is recommended to use the guideline in all future research.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT UND DANKSAGUNG</b> .....	<b>I</b>
<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 Anlass und Hintergrund .....	1
1.2 Aufgaben und Ziele.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	3
<b>2 MATERIAL UND METHODEN</b> .....	<b>4</b>
2.1 Material eigener Untersuchungen .....	4
2.1.1 Technische Ausrüstung Feldarbeiten .....	4
2.1.2 Verwendete Karten, Luftbilder, Satellitenfotos .....	4
2.1.3 Verwendete Software .....	5
2.2 Methoden .....	5
2.2.1 Begrifflichkeiten aus der Literatur .....	5
2.2.2 Erarbeiten eines innovativen Leitfadens .....	6
2.2.3 Benennung der Hohlformen im Timmelerfeld .....	6
2.2.4 Durchführung eigener Feldarbeiten .....	6
2.2.5 Geologische Aufnahme eigener Untersuchungen .....	7
2.2.6 Pollenanalyse der eigenen Hohlformen im Timmelerfeld.....	7
2.2.6.1 Probenauswahl und Grundsumme Baumpollen .....	7
2.2.6.2 Chemische Aufbereitung der Proben .....	8
2.2.6.3 Baumpollendiagramme .....	8
2.2.7 Aufbereitung der Altdateen.....	9
<b>3 LITERATURSTUDIE</b> .....	<b>9</b>
3.1 Periglazialgebiete .....	9
3.2 Vorkommen Periglazialgebiete .....	10
3.3 Rezente Pingos .....	11
3.3.1 Vorkommen.....	11
3.3.2 Geometrie .....	12
3.3.3 Wachstum (Genese-Typen) .....	13
3.3.3.1 Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ) .....	14
3.3.3.2 Hydrostatisch/geschlossenes System (Mackenzie-Typ).....	15
3.3.4 Zerfall.....	17
3.3.5 Wachstum in Alasen als Besonderheit .....	17
3.4 Paläopingos.....	17
3.4.1 Vorkommen.....	18
3.4.2 Genese und Auftreten .....	18
3.4.3 Geometrie .....	19
3.4.4 Wachstum und Zerfall .....	20
3.4.5 Rezente Ausbildung .....	21
3.5 Flugsanddepressionen .....	21
3.5.1 Vorkommen.....	22
3.5.2 Genese und Auftreten .....	22
3.5.3 Geometrie .....	22
3.5.4 Entstehung.....	23
3.5.5 Rezente Ausbildung .....	23
<b>4 REGIONALE GEOLOGIE, GEOMORPHOLOGIE UND HYDROLOGIE</b> .....	<b>24</b>
4.1 Niederländisches Drenthe-Plateau .....	24
4.1.1 Paläopingos .....	27
4.1.2 Flugsanddepressionen .....	28
4.2 Nordwestdeutschland .....	28

4.2.1	Geomorphologie und Geologie in Ostfriesland .....	30
4.2.2	Paläopingos und Flugsanddepressionen in Ostfriesland .....	33
4.2.3	Wasserscheiden und Gewässer in Ostfriesland .....	34
4.2.4	Eigenes Untersuchungsgebiet Timmelerfeld .....	36
<b>5</b>	<b>REPRÄSENTATIVE BEISPIELE AUS DER FACHLITERATUR .....</b>	<b>39</b>
5.1	Ausgewählte Beispiele für das Drenthe-Plateau .....	39
5.1.1	Stokersdobbe (PARIS et al. 1979) .....	39
5.1.2	Holveen, Langakerveen, Kostverlorenveen (DE GANS 1982) .....	41
5.1.3	Papenvoort (DE GANS 1982) .....	42
5.1.4	Ekehaar (DE GANS 1982) .....	44
5.1.5	Hohlformen A und B (DE GANS & SOHL 1981) .....	45
5.1.6	Mekelermeer (DE GANS & SOHL 1981) .....	47
5.1.7	Paläopingos im Ballooërveld (DE GANS & CLEVERINGA 1986) .....	48
5.1.8	Flugsanddepression Ballooërveld (DE GANS & CLEVERINGA 1986) .....	49
5.2	Ausgewählte Beispiele für Ostfriesland .....	50
5.2.1	Dietrichsfeld (HEINZE et al. 2014) .....	50
5.2.2	Doove-Meer (FREUND 1995) .....	51
5.2.3	Frauenmeer (WILDVANG 1928, 1938, GARLEFF 1968, MEYER & MERKT 1995, unveröff.) .....	52
<b>6</b>	<b>EIGENES UNTERSUCHUNGSGEBIET TIMMELERFELD .....</b>	<b>56</b>
6.1	Geographische Lage .....	56
6.2	Rezente Ausbildung der Hohlformen .....	58
6.2.1	Pultermoor .....	58
6.2.2	Ostermoor .....	58
6.2.3	Kolk .....	59
6.2.4	Erlenstraße .....	60
6.2.5	Osterweide .....	61
6.2.6	Reitplatzweg .....	62
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>63</b>
7.1	Vorstellung des innovativen Leitfadens .....	63
7.1.1	Gliederung des Leitfadens .....	63
7.1.2	Konkrete Beispiele – Paläopingo vs. Flugsanddepression .....	72
7.2	Eigene Untersuchungen im Timmelerfeld .....	74
7.2.1	Feldarbeiten und geologische Aufnahme .....	74
7.2.2	Schurfgraben an NW-Seite von Osterweide .....	78
7.2.3	Pollenanalyse der Hohlformen .....	80
7.2.3.1	Probenauswahl und Grundsumme Baumpollen .....	80
7.2.3.2	Baumpollendiagramme Hohlformen .....	80
7.2.3.3	Zusammenfassung der Pollenanalyse .....	99
7.3	Morphogenetische Interpretation der Hohlformen .....	100
7.3.1	Pultermoor .....	100
7.3.2	Ostermoor .....	102
7.3.3	Kolk .....	105
7.3.4	Erlenstraße .....	108
7.3.5	Osterweide .....	110
7.3.6	Reitplatzweg .....	113
7.4	Diskussion der Ergebnisse .....	114
7.4.1	Analyse des innovativen Leitfadens .....	114
7.4.2	Beurteilung der geologischen Aufnahme eigener Untersuchungen .....	115
7.4.3	Bewertung der organogenen Verfüllungen in den Hohlformen .....	116
7.4.4	Osterweide – ein Paläopingo im Saale-Komplex entstanden? .....	118
7.4.5	Interpretation der Hohlformen als mögliche Toteislöcher .....	120
<b>8</b>	<b>ANWENDUNG UND DEMONSTRATION DES INNOVATIVEN LEITFADENS .....</b>	<b>122</b>
8.1	Anwendung an den Hohlformen im Timmelerfeld .....	122
8.2	Demonstration an Beispielen in Ostfriesland .....	129
8.3	Demonstration an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau .....	139
8.4	Aufzeigen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden .....	140

8.4.1	Paläopingos Drenthe-Plateau vs. Ostfriesische Geesthochfläche .....	140
8.4.2	Flugsanddepressionen Drenthe-Plateau vs. Ostfriesische Geesthochfläche .....	142
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>143</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>149</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>157</b>
	<b>ERKLÄRUNG .....</b>	<b>158</b>
	<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	<b>159</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1.	Wachstum und Zerfall eines Pingos vom Ostgrönland-Typ (hydraulisch / offenes System), nach HARRIES & ROSS (2007) IN: EHLERS (2011, 2020). .....	15
Abbildung 3-2.	Wachstum und Zerfall eines Pingos des geschlossenen Typs, verändert nach MACKAY (1998). .....	16
Abbildung 3-3.	Idealisierter Aufbau eines Paläopingos – eine Skizze .....	21
Abbildung 3-4.	Idealisierter Aufbau einer Flugsanddepression – eine Skizze .....	23
Abbildung 4-1.	Ausschnitt des Drenthe Plateaus der Province Drenthe mit Hondsrug-System und repräsentativen Beispielen von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen, Maßstab 1: 450 000, verändert nach Landschaftsbeheer Drenthe (2017). Die Darstellung der Paläopingos und Flugsanddepressionen ist nicht maßstabsgerecht. ....	26
Abbildung 4-2.	Quartärgeologische Übersicht Nordwestdeutschland: Pleistozäne morphologische Einheiten, nicht maßstablich, bearbeitet nach HEUNISCH et al. (2017)....	30
Abbildung 4-3.	Quartärgeologische Übersicht von Ostfriesland mit nachgewiesenen sowie möglichen Paläopingos und Flugsanddepressionen; Kartengrundlage: NIBIS@Kartenserver, copyright@LBEG Geozentrum Hannover .....	31
Abbildung 4-4.	Regionale Wasserscheiden und Gewässer in Ostfriesland und Timmelfeld, verändert nach HAGEN (2010) .....	35
Abbildung 4-5.	Dominierende regionale Entwässerungssysteme (1 – 4) in der Umgebung des Timmelfeldes; Quelle: NIBIS@Kartenserver, copyright @ LBEG Geozentrum Hannover .....	36
Abbildung 4-6.	Auszug aus dem Geologischen Schnitt S1(GE) „Untere Ems Lockergestein rechts“, verändert; Quelle: NIBIS@Kartenserver, copyright @ LBEG Geozentrum Hannover 2007 .....	37
Abbildung 4-7.	Geologische Karte vom Timmelfeld; Quelle: NIBIS@Kartenserver, copyright @ LBEG Geozentrum Hannover .....	38
Abbildung 5-1.	Geologische Profilschnitte: B/B' (W-E-NE) Stokersdobbe, A/A' und C/C' nördl. u. südl. Stokersdobbe, verändert nach PARIS et al. (1979). .....	40
Abbildung 5-2.	Geologischer Profilschnitt (SW-NE) Holveen, Langakkerveen und Kostverlorenveen, verändert nach DE GANS (1982) .....	42
Abbildung 5-3.	Geologischer Profilschnitt (W-E) Papenvoort, verändert nach DE GANS (1982), Legende wie in Abb. 5-2 .....	43
Abbildung 5-4.	Geologischer Profilschnitt (N-S) Ekehaar, verändert nach DE GANS (1982), Legende wie in Abb. 5-2. ....	44
Abbildung 5-5.	Geologischer Profilschnitt (N-S) <i>Hohlformen A und B</i> , verändert nach DE GANS & SOHL (1981) .....	45
Abbildung 5-6.	Geologischer Profilschnitt (NW-SE) Mekelermeer, verändert nach DE GANS & SOHL (1981), Legende wie in Abb. 5-2. ....	48
Abbildung 5-7.	Geologischer Profilschnitt (SW-NE) Flugsanddepression und Paläopingos im Ballooërveld, verändert nach DE GANS & CLEVERINGA (1986) .....	49
Abbildung 5-8.	Lage von Dietrichsfeld, Maßstab: 1:5 000 .....	50
Abbildung 5-9.	Geologischer Profilschnitt (NW-SE) Dietrichsfeld, nach HEINZE et al. (2014) .....	50
Abbildung 5-10.	Satellitenfoto vom Doove-Meer Profilstelle, Google Earth © 2014. ....	51
Abbildung 5-11.	Profilschnitte (N-S, NW-SE) Doove-Meer, aus FREUND (1995) .....	51

Abbildung 5-12. Geologischer Profilschnitt (W-E) Frauenmeer, modifiziert nach MEYER & MERKT (1995).....	55
Abbildung 6-1. Übersicht- und Detailkarten zur geographischen Lage Timmelerfeld, ohne Maßstab. Quelle: Wikipedia .....	56
Abbildung 6-2. Timmelerfeld mit untersuchten Hohlformen. Quelle: Kartenauszug ©2023 GeoBasis DE/BKG (©2009) in Google .....	57
Abbildung 6-3. Satellitenfoto Pultermoor; Google Earth © 2009/2014.....	58
Abbildung 6-4. Blickrichtung SW auf Pultermoor (Pfeil). Im Hintergrund Kreisstraße K 106.....	58
Abbildung 6-5. Satellitenfoto Ostermoor; Google Earth © 2009/2014 .....	59
Abbildung 6-6. Blick von Tannenstraße nach S auf Ostermoor (Pfeil) .....	59
Abbildung 6-7. Satellitenfoto Kolk; Google Earth © 2009/2014 .....	60
Abbildung 6-8. Blick von Eschenstraße nach S auf Kolk (Pfeil).....	60
Abbildung 6-9. Satellitenfoto Erlenstraße; Google Earth © 2009/2014.....	61
Abbildung 6-10. Blick nach N auf Erlenstraße (Pfeil) .....	61
Abbildung 6-11. Satellitenfoto Osterweide; Google Earth © 2009/2014 .....	62
Abbildung 6-12. Blick nach N auf Osterweide (Pfeil).....	62
Abbildung 6-13. Satellitenfoto Reitplatzweg; Google Earth © 2009/2014 .....	63
Abbildung 6-14. Blick nach SE auf Reitplatzweg (Pfeil) .....	63
Abbildung 7-1. Kreuzprofil Pultermoor mit abgeteuften Bohrungen HF1-B1/B1a bis HF1-B10 und HF1-B7a, Blatt 2611/08 Westgroßefehn.....	77
Abbildung 7-2. Kreuzprofil Ostermoor mit abgeteuften Bohrungen HF2-B1 bis HF2-B15, Blatt 2611/08 Westgroßefehn.....	77
Abbildung 7-3. Kreuzprofil Kolk mit abgeteuften Bohrungen HF3-B1 bis HF3-B15, Blatt 2611/08 Westgroßefehn.....	77
Abbildung 7-4. Kreuzprofil Erlenstraße mit abgeteuften Bohrungen HF4-B1 bis HF4-B10, Blätter 2611/03 Mittegroßefehn u. 2611/09 Ulbargen .....	77
Abbildung 7-5. Kreuzprofil Osterweide mit abgeteuften Bohrungen HF5-B1 bis HF5-B9 und Schurfgraben, Blatt 2611/09 Ulbargen .....	77
Abbildung 7-6. Nordwand Schurfgraben: Sektor 1 bis Sektor 3 (0 – 6 m).....	78
Abbildung 7-7. Nordwand Schurfgraben: Sektor 3 bis Sektor 5 (6 – 10 m).....	79
Abbildung 7-8. Baumpollendiagramm Pultermoor.....	83
Abbildung 7-9. Baumpollendiagramm Ostermoor .....	86
Abbildung 7-10. Baumpollendiagramm Kolk .....	89
Abbildung 7-11. Baumpollendiagramm Erlenstraße.....	92
Abbildung 7-12. Baumpollendiagramm Osterweide .....	96
Abbildung 7-13. Baumpollendiagramm Osterweide, Zone EVII.....	99
Abbildung 7-14. Geologischer Profilschnitt A/A' (W-E) Pultermoor .....	101
Abbildung 7-15. Geologischer Profilschnitt C/C' (W-E) Ostermoor.....	104
Abbildung 7-16. Geologischer Profilschnitt E/E' (W-E) Kolk.....	107
Abbildung 7-17. Geologischer Profilschnitt G/G' (W-E) Erlenstraße.....	109
Abbildung 7-18. Geologischer Profilschnitt I/I' (W-E) Osterweide.....	111
Abbildung 7-19. Geologischer Profilschnitt (N-S) Reitplatzweg.....	113
Abbildung 7-20. Skizze eines im Saale-Komplex entstandenen Paläopingos .....	119
Abbildung 8-1. Anwendung des Leitfadens – eine Übersicht: Paläopingos und Flugsanddepressionen in Ostfriesland (links), mit Detailkarte vom Timmelerfeld (rechts); Kartengrundlage: NIBIS®Kartenserver, copyright @ LBEG Geozentrum Hannover .....	133

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1. Bedingungen und Unterschiede der Genese-Typen nach KARTE (1979), IN: EHLERS (1994: 103).....	14
Tabelle 7-1. Innovativer Leitfaden zur Bestimmung von Paläopingos und Flugsanddepressionen	69
Tabelle 7-2. Konkrete Beispiele – Paläopingo vs. Flugsanddepression .....	72
Tabelle 7-3. Zusammenfassung Feldarbeiten und geologische Aufnahme .....	75

---

Tabelle 7-4. Schnittverlauf der Kreuzprofile für die Hohlformen im Timmelerfeld .....	76
Tabelle 7-5. Probenauswahl und Grundsumme Baumpollenkörner für Pollenanalyse .....	80
Tabelle 7-6. Tabellarische Zusammenfassung der Pollenanalyse für die Hohlformen.....	99
Tabelle 8-1. Anwendung des Leitfadens an den Hohlformen im Timmelerfeld .....	126
Tabelle 8-2. Demonstration des Leitfadens an Beispielen in Ostfriesland .....	136
Tabelle 8-3. Übersicht der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau und der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche.....	141
Tabelle 8-4. Übersicht der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau und der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche .....	142

## Abkürzungsverzeichnis

Abb. / Abb.en	Abbildung / Abbildungen
BAP	Bohransatzpunkt
B.P.	konventionelles Radiokarbonalter
ca.	circa
cal J.v.h.	kalibrierte Kalenderjahre vor heute nach Jahresschichtenzählung
cal y.b.p.	calibrated calendar years before present acc. to annual layer counting
cm	Zentimeter (centimeter)
DGK	Deutsche Grundkarte
Ø	Durchmesser
E	Osten (East)
ehem.	ehemalig
et al.	et alia (und andere)
f	fluviatile Ablagerung
FD	Flugsanddepression
gf	glazifluviatile Ablagerung (Schmelzwasserbildung)
ggf.	gegebenenfalls
gm	Ablagerung der Grundmoräne
H:	Hochwert
HF	Hohlform
proj.	projiziert
J.v.h. / y.b.p.	Jahre vor heute / years before present
Kap.	Kapitel
--	keine Information
ICBM	Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM-Terramare), Wilhelmshaven
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
Lg	Geschiebelehm
m	Meter
m NN	Meter Normal Null
N	Norden
NA	Numerisches Alter: International Chronostratigraphic Chart v. 2016/12: <a href="http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-12.jpg">http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-12.jpg</a>
NAP	Normaal Amsterdams Peil (Amsterdamer Pegel)
NE	Nordost (North East)
NW	Nordwest
Mg	Geschiebemergel

---

NBP	Nichtbaumpollen
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover
Ob.	Oberes
o. g.	oben genannte(r, s)
PP	Paläopingo
PK	Pollenkorn
qD	Drenthe-Stadium des Saale-Komplex (Saale-Kaltzeit)
qh	Holozän
qw	Weichsel-Glazial (Weichsel-Kaltzeit)
R:	Rechtswert
rd.	rund (im Sinne von ca.)
Rw	Ringwall
S	Süden
s.	siehe
SE	Südost (South East)
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
SW	Südwest
Tab. / Tab.en	Tabelle / Tabellen
teilw.	teilweise
TK 25	Topographische Karte im Maßstab 1:25 000
u. GOK	unter Geländeoberkante
u.	und, unter, unten
unveröff.	unveröffentlicht
unterh.	unterhalb
vmtl.	vermutlich
vorh.	vorhanden
vs.	versus
vereinz.	vereinzelt
W	Westen
z. B.	zum Beispiel



# 1 Einleitung und Aufgabenstellung

## 1.1 Anlass und Hintergrund

Das Vorkommen von rezenten Pingos und Paläopingos sowie deren Entwicklung wird seit den 1950er Jahren genau untersucht.

Primäres Forschungsgebiet waren und sind die rezenten Pingos in den heutigen periglazialen Permafrostgebieten des Tuktoyaktuk Peninsula Gebiet an der arktischen Westküste Kanadas. In den zahlreichen Untersuchungen wurden Merkmale und Eigenschaften für die Bestimmung von rezenten Pingos entwickelt (MACKAY 1962, 1994, 1998).

In den 1970er und 1980er Jahren erörterten Soloviev, Czudek & Demek und Bosikov eine Besonderheit in der Entstehung rezenter Pingos in den Permafrostgebieten Zentraljakutiens, wo sich die rezenten Pingos innerhalb von Alasen als Folge der Degradation des mächtigen Dauerfrostbodens ausbilden (SOLOVIEV 1973, CZUDEK & DEMEK 1973, BOSIKOV 1988).

Paläopingos entstanden hingegen in den ehemaligen pleistozänen kaltzeitlichen Periglazialgebieten des Quartärs, heute eisfreien Gebiete, im Osten Nordamerikas sowie nordöstlichen Teilen US-Amerikas und Westeuropas (MARSH 1987, FRENCH 1996, 2007). In Westeuropa sind vor allem weichsel-kaltzeitliche Paläopingos in den Niederlanden und Deutschland erforscht worden.

Hauptaugenmerk galt in den Niederlanden den weichsel-kaltzeitlich entstandenen Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau. Eigenschaften und Merkmale wurden formuliert, ohne jedoch verbindliche Kriterien für die Bestimmung zu entwickeln (MAARLEVELD & VAN DER TOORN 1955, ZAGWIN & VAN STAALDUINEN 1975, MAARLEVELD 1976, PARIS et al. 1979, DE GANS 1980, 1982, 1988, DE GANS & CLEVERINGA 1981, 1986, DE GROOT et al. 1987, DE GANS & SOHL 1981, VAN DER MEULEN 1988 sowie KLUIVING et al. 2010).

In Deutschland beschrieb Garleff Ende der 1960er Jahre zum ersten Mal detailliert weichsel-kaltzeitlich entstandene Paläopingos im niedersächsischen und westfälischen Tiefland Nordwestdeutschlands und diskutierte deren Genese anhand geomorphologischer Kriterien (GARLEFF 1968).

In Ostfriesland erforschte Wildvang Ende der 1920er Jahren das bei Aurich gelegene Frauenmeer und diskutierte verschiedene Geneseformen, wie Strudeltrichter bzw. Meteoriteneinschlag (WILDVANG 1928, 1935, 1938). Ende der 1980er Jahre widerlegten jedoch Meyer & Merkt die Entstehungstheorien von Wildvang und interpretierten das Frauenmeer hingegen als weichsel-kaltzeitlich entstandenen Paläopingo (MEYER & MERKT 1995) und bestätigten somit die erstmalige Bewertung von GARLEFF (1968) als Paläopingo. Mitte der 1990er und in den 2010er sowie

2020er Jahren wurden weitere abflusslose Hohlformen in Ostfriesland untersucht und als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos interpretiert (FREUND 1995, HEINZE et al. 2012, 2014, SMIDT et al. 2017, WOLTERS 2023).

Flugsanddepressionen sind in der Fachliteratur als Deflationswannen bekannt und wurden erstmals von DE GANS & CLEVERINGA (1986) auf dem niederländischen Drenthe-Plateau (Ballooërveld) sowie von GARLEFF (1968) in Nordwestdeutschland als weichsel-kaltzeitliche Oberflächenformen innerhalb von Flugsanddecken beschrieben. Eine genaue Abgrenzung zu den naturräumlich ähnlichen Paläopingos in den niederländischen und nordwestdeutschen Periglazialgebieten erfolgte bislang aber nicht.

In der vorliegenden Dissertation wird nun ein besonderes Augenmerk auf die weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen gelegt. Anhand ausgewählter, repräsentativer Literaturbeispiele im niederländischen Drenthe-Plateau und in Ostfriesland soll für ihre Bestimmung ein innovativer Leitfaden entwickelt werden.

## **1.2 Aufgaben und Ziele**

Bis dato liegt keine einheitliche Methodik für die Bestimmung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen vor, ebenso wenig wurden Bewertungskriterien zu deren Einstufung formuliert. Das Kapitel 3 zur Literaturstudie zeigt auf, dass tatsächlich ein entsprechender Instrumentenkasten als Leitfaden derzeit nicht existiert. Um diese Lücke zu beheben, soll im Rahmen der Dissertation ein bislang einzigartiger und innovativer Leitfaden entwickelt werden. Dieser Leitfaden soll auch als ideales Werkzeug verstanden werden, welches nicht nur die Bestimmung von Paläopingos und Flugsanddepressionen, sondern auch ihre Differenzierung, ermöglicht. Er soll zudem in künftigen Untersuchungen seine Anwendung finden.

Folgende Aufgaben und Ziele sind in diesem Zusammenhang zu verwirklichen:

1. Beschreibung der Genese von Pingos bzw. Paläopingos und Flugsanddepressionen in Form einer umfassenden Literaturstudie.
2. Einordnung des Vorkommens von Paläopingos und Flugsanddepressionen im niederländischen und nordwestdeutschen Periglazialgebiete hinsichtlich der geologischen, geomorphologischen, sedimentologische und hydrologischen Voraussetzungen während der Kaltzeiten.
3. Entwicklung eines innovativen Leitfadens zur eindeutigen Bestimmung und Differenzierung von Paläopingos und Flugsanddepressionen, sowie seine Anwendung an den eigenen untersuchten Hohlformen im Timmelfeld und Demonstration an den Beispielen in Ostfriesland und Drenthe-Plateau.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Das *Kapitel 1* leitet die Arbeit ein und gibt den Anlass sowie Hintergrund wieder. Ebenso werden die Aufgaben und Ziele formuliert.

Das *Kapitel 2* beginnt mit dem Unterkapitel „Material eigener Untersuchungen“ und benennt die technische Ausrüstung für die Feldarbeiten im Timmelerfeld, die verwendeten Karten und Luftbilder sowie Software. Im anschließenden Unterkapitel „Methoden“ werden zunächst die Begrifflichkeiten aus der Literatur dargelegt und die Herangehensweise für die Erarbeitung des Leitfadens sowie die der geologischen Aufnahme und Pollenanalyse der eigenen Untersuchungen formuliert. Ebenso wird die Aufbereitung der Altdaten sowie die Benennung der Hohlformen kurz skizziert.

Im *Kapitel 3* wird unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung eine umfassende Literaturstudie hinsichtlich Vorkommen, Geometrie, Wachstum (Genese-Typen) und Zerfall bzw. Entstehung von rezenten Pingos sowie den Paläopingos und Flugsanddepressionen durchgeführt.

Das anschließende *Kapitel 4* beschreibt die regionale Geologie, Geomorphologie und Hydrologie für das niederländische Drenthe-Plateau sowie Nordwestdeutschland und Ostfriesland. So werden in den Unterkapiteln die für die Genese von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen regionalen Bedingungen und Voraussetzungen vorgestellt.

Das *Kapitel 5* stellt repräsentative Literaturbeispiele von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen auf dem niederländischen Drenthe-Plateau (11) und in Ostfriesland (3) vor, wobei insbesondere die Voraussetzungen und Kriterien berücksichtigt werden.

Das *Kapitel 6* widmet sich dem eigenen Untersuchungsgebiet Timmelerfeld und beschreibt die geographische Lage sowie die rezente Ausbildung der hier vorkommenden sechs abflusslosen Hohlformen.

Das nachfolgende *Kapitel 7* beginnt mit der Vorstellung des entwickelten innovativen Leitfadens, wo seine Gliederung und drei konkrete Beispiele präsentiert werden. Das nächste Unterkapitel beschreibt die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen im Timmelerfeld sowie die morphogenetische Interpretation. Im abschließenden Unterkapitel werden die Ergebnisse hinsichtlich der Aufgabenstellung diskutiert, auch die Interpretation der Hohlformen als mögliche Toteislöcher.

Die Anwendung und Demonstration des innovativen Leitfadens werden im *Kapitel 8* beschrieben, beginnend mit der Bestimmung der Hohlformen im Timmelerfeld anhand des Leitfadens. Im anschließenden Unterkapitel erfolgt die Demonstration an den ausgewählten Beispielen in Ost-

friesland und auf dem Drenthe-Plateau. Das Kapitel schließt mit dem Aufzeigen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen den Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau und in Ostfriesland, ebenso die der Flugsanddepressionen.

Das *Kapitel 9* der vorliegenden Arbeit gibt abschließend eine Zusammenfassung wieder.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Material eigener Untersuchungen**

#### **2.1.1 Technische Ausrüstung Feldarbeiten**

Die Feldarbeiten im Oktober 2006, im Frühjahr 2007 sowie im Herbst 2006, 2007 und 2008 wurden mit folgender Bohrausrüstung durchgeführt:

- Oktober 2006: Vorschlaghammer mit 2-Takt-Benzinmotor und Schlagkopf, Handziehgerät mit Dreibock auf Grundplatte, Hebel- und Froschklemme, Einarm-Stangenziehgerät für größere Tiefen mit Kugelklemme und Hebelstange, 1 m-Nutstange ( $\varnothing$ : 22 mm, M16 Gewindeanschluss) mit offener Spitze, neun 1m-Verlängerungsstangen ( $\varnothing$ : 22 mm, M16 Gewindeanschluss), Bohrwerkzeuge.
- Frühjahr/Herbst 2007, Herbst 2008: Benzinschlaghammer, Typ WACKER BH 23 mit Schlagkopf, Einarm-Stangenziehgerät, konisch verlaufender Wechselbackenklemme mit Kugeln und Klemmgehäuse, Adapter für Klemmgehäuse, Hebelstange, offene 1 u. 2 m-Rammkernsonden ( $\varnothing$ : 40 mm), neun 1 m-Verlängerungsstangen ( $\varnothing$ : 36 mm), Gewindestifte und –anschlüsse, Bohrwerkzeuge.

#### **2.1.2 Verwendete Karten, Luftbilder, Satellitenfotos**

Als Kartengrundlage für die Geländearbeiten, Erfassen der Bohrpunkte und Darstellung der Profilschnitte dienten die Deutschen Grundkarten (DGK 5) mit Höhenlinien im Maßstab 1:5 000. Die Koordinaten der Bohransatzpunkte werden im Gauß-Krüger-System (Bessel, Potsdam, Zone 3) angegeben. Folgende Blätter der Deutschen Grundkarte wurden verwendet:

- Blatt 2611/02 LANGERACK, Ausgabe 2000/1997
- Blatt 2611/03 MITTEGROßEFEHN, Ausgabe 2000/1997
- Blatt 2611/08 WESTGROßEFEHN, Ausgabe 2000/1997
- Blatt 2611/09 ULBARGEN, Ausgabe 2000/1997.

Als Ergänzung wurde die topographische Karte im Maßstab 1:25 000 (TK 25) der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen herangezogen: Blatt 2611 Hesel (umfassende Aktualisierung 1993, einzelne Nachträge 2000).

Die Luftbilder dienten als zusätzliche Informationsquelle, um weitere Aussagen über das weit verbreitete anthropogen angelegte Entwässerungssystem sowie den Bau von zentralen Kanalsystemen, wie beispielsweise der Bau des Sauteler Kanals im Jahr 1977/1978, zu erhalten. Es wurden die Luftbilder 2611/08 „WESTGROßEFEHN“ vom 23.03.1960 bis 30.07.1995 (Aufnahmedatum) verwendet.

Das verwendete Orthofoto NBZ 3459216, DGK5 [2611/08] WESTGROßEFEHN, Befliegung 09/2002, wurde im Auftrag vom LGN Landesvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen in Hannover erstellt. Die Satellitenfotos vom Untersuchungsgebiet Timmelfeld stammen aus Google Maps – ©2010 Google.

### **2.1.3 Verwendete Software**

Die geologischen Profilschnitte für die Hohlformen im Timmelfeld wurden mit der Erfassungssoftware GeODin in den Versionen 6.1 und 8.0 gezeichnet.

Die Lagepläne und die Karten für die Bohransatzpunkte wurden mit der Software ArcView 3.3 der Firma ESRI erstellt.

Die Pollendiagramme als Darstellung der pollenanalytischen Auswertung wurden mittels der speziellen Software Tilia 2.0 mit TGView 2.0.2 gezeichnet.

## **2.2 Methoden**

### **2.2.1 Begrifflichkeiten aus der Literatur**

Bis heute wird keine einheitliche, fachlich verbindliche, Bezeichnung von Paläopingos und Flugsanddepressionen konsequent umgesetzt. GARLEFF (1968) bezeichnet Paläopingos beispielsweise als „Pingorelikt“ während MERKT & KLEINMANN (1998) und RACHOR (2015) den Begriff „Pingo-Narbe“ verwenden. HEINZE et al. (2012, 2014), SMIDT et al. (2017) und WOLTERS (2023) übernehmen den Begriff „Pingo-Ruinen“ in Anlehnung an der in den Niederlanden verwendeten Bezeichnung („pingo-ruïnen“) für Paläopingos.

In der englischen Fachliteratur sind ebenfalls verschiedene Begriffe bekannt, in welcher die Paläopingos als „pleistocene frost-mound remnants“ bzw. „pingo-remnants“ bzw. „fossil pingos“ bzw. „pingo-scar“ oder als „paleo-pingos“ bezeichnet werden (DE GANS 1980, 1982, DE GANS & SOHL 1981, DE GANS & CLEVERINGA 1986, MARSH 1987, MACKAY 1998, FRENCH 1996, 2007).

Die Flugsanddepressionen werden in der Fachliteratur ebenfalls unter verschiedenen Begriffen geführt. So bezeichnet HARTUNG (1971) sie als „Dümmer“ und EHLERS (1994, 2011, 2020) als „Schlatts“ oder „Ausblasungswannen“ bzw. „Deflationswannen“. In den Niederlanden werden sie auch unter dem Begriff „Dekzanddepressie“ geführt (DE GANS 1988) und mit „coversand depression“ ins Englische übersetzt (VAN BEEK et al. 2019).

Im Rahmen dieser Doktorarbeit werden die Fachbegriffe „Paläopingo“ („paleo-pingo“) von MACKAY (1998) und „Flugsanddepressionen“ („Dekzanddepressie“) von DE GANS (1988) als verbindliche Bezeichnung eingeführt.

### **2.2.2 Erarbeiten eines innovativen Leitfadens**

Auf Basis einer umfangreichen Literaturstudie soll ein innovativer Leitfaden für die Bestimmung weichsel-kaltzeitlicher Paläopingos und Flugsanddepressionen entwickelt werden. Auch soll deren Differenzierung möglich sein. Hierfür werden anhand von ausgewählten, repräsentativen Literaturbeispielen weichsel-kaltzeitlicher Paläopingos und Flugsanddepressionen im niederländischen Drenthe-Plateau und in Ostfriesland die Voraussetzungen und Kriterien abgeleitet.

Der Leitfaden soll thematisch in drei Kategorien gegliedert und tabellarisch dargestellt werden, um somit ein anwendbares Instrumentarium für die Bestimmung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepression zu erhalten. Es ist ebenso vorgesehen, den Leitfaden an den Hohlformen im eigenen Untersuchungsgebiet Timmelerfeld anzuwenden und ihn an Beispielen in Ostfriesland und Drenthe-Plateau zu demonstrieren.

### **2.2.3 Benennung der Hohlformen im Timmelerfeld**

Die untersuchten sechs Hohlformen im Timmelerfeld werden nach Flurnamen gemäß Flurnamenkarte der Ostfriesischen Landschaft Aurich benannt. Die Hohlformen erhalten einen Straßennamen aus dieser Karte, wenn der Hohlform ein Flurname nicht eindeutig zuzuordnen ist.

Die Beschriftung der Bohrungen sowie die Proben aus den Torf- und Muddeschichten erfolgt jedoch numerisch. So wird Pultermoor mit HF 1, Ostermoor mit HF 2 sowie Kolk mit HF 3, Er-lenstraße mit HF 4, Osterweide mit HF 5 und Reitplatzweg mit HF 6 beschriftet.

### **2.2.4 Durchführung eigener Feldarbeiten**

Die Feldarbeiten im Timmelerfeld sollen nach den Kriterien des neu entwickelten Leitfadens durchgeführt werden. So sind für jede einzelne Hohlform folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

1. Abteufen von Bohrungen bis max. 20 m u. GOK in einem Kreuzprofil, um auch tiefe Paläopingos an geologischen Fenstern zu erbohren. Die Bohrungen enden, wenn der Geschiebelehm oder Geschiebemergel der Haupt Drenthe erreicht wird.
2. Die Schnittlinien des Kreuzprofils verlaufen in West-Ost-Richtung und Nord-Süd-Richtung, sodass die Hohlform geologisch eindeutig erfasst wird. Der Kreuzpunkt beider Schnittlinien ist die morphologisch tiefste Bohrung. Die Abstände der einzelnen Bohransatzpunkte betragen innerhalb der Schnittlinie 50 m, nach Bedarf bis zu 100 m.

3. Nivellieren der Bohransatzpunkte nach der Höhe auf m NN. Die Lage der Bohrpunkte wird für jede Hohlform aus der georeferenzierten Deutschen Grundkarte im Maßstab 1:5 000 (DGK 5) als Gauß-Krüger-Koordinaten abgelesen.
4. Probennahme aus den Torf- und Muddeschichten der morphologisch tiefsten Bohrung für die pollenanalytische Datierung: Das Probennahmeintervall beträgt in den Torfschichten 5 cm und in den Muddeschichten 10 cm, nach Bedarf 5 cm. Jede einzelne Probe wird in eine Probennahmetüte verpackt, welche mit dem Namen der Lokalität, der Tiefe und dem Datum beschriftet ist. Während der Feldarbeiten werden die entnommenen Proben vorübergehend in Kühlboxen aufbewahrt. Am Ende der Bohrarbeiten im Gelände erfolgt die Lagerung im Kühlraum bei einer Temperatur von 4°C.

Ebenso soll ein temporärer Schurfgraben an der NW-Seite von Osterweide errichtet werden, um somit Hinweise auf den weichsel-kaltzeitlichen Periglazialbereich im Kartiergebiet zu finden, die die paläoklimatische Voraussetzung für die Genese von Paläopingos und Flugsanddepressionen belegen.

### **2.2.5 Geologische Aufnahme eigener Untersuchungen**

Ebenso sollen nach den Kriterien des Leitfadens die erbohrten Schichten mittels geologischen Schlüssels des LBEG Hannover beschrieben und in Schichtenverzeichnissen dokumentiert werden.

Die geologische Darstellung ist mit einer Erfassungssoftware zeichnerisch als Profilschnitt im Höhen-Maßstab von 1:50 und Längen-Maßstab von 1:1 000 bzw. 1:1 500 zu erstellen. Ebenso ist jeder Profilschnitt zu betiteln, beispielsweise „Geologischer Profilschnitt A/A' (W-E) Pultermoor“. Die Tiefenangaben in den Profilschnitten sind in m NN anzugeben. Die Hauptteilung der Höhenskalierung erfolgt in 1 m und die der Hilfsteilung in 0,2 m Abständen. Weiterhin sind die Lithologie und Stratigraphie sowie die Genese mit den jeweiligen Symbolen und Erklärungen als Legende darzustellen.

### **2.2.6 Pollenanalyse der eigenen Hohlformen im Timmelfeld**

#### **2.2.6.1 Probenauswahl und Grundsumme Baumpollen**

Mit Hilfe der Pollenanalyse soll lediglich die zeitliche Einstufung der eigenen untersuchten Hohlformen im Timmelfeld erfolgen. Auf eine weiterführende sukzessionsbiologische Betrachtung wird verzichtet. So werden Hiaten erwähnt, jedoch nicht näher erläutert.

Für die Pollenanalyse werden zunächst alle 20 cm Proben ausgewählt, um eine überschaubare, aber auch eine belastbare Anzahl an Proben zu erhalten. Nach Erstauswertung wird entschieden,

das Raster ggfs. auf 10 oder 5 cm zu verkürzen.

Ebenso ist zu beachten, dass pro Probe mindestens 300 Baumpollenkörner (ohne *Corylus*) als Grundsumme ausgezählt werden, um somit für die Datierung eine aussagefähige Datengrundlage zu erhalten.

### **2.2.6.2 Chemische Aufbereitung der Proben**

Die ausgewählten Proben werden anschließend im Labor des ICBM in Wilhelmshaven aufbereitet. Als Vorbereitung für die Laborarbeit empfiehlt sich, im Vorfeld für jede Hohlform eine Probenliste anzufertigen, in welcher der Probenname, die jeweilige Tiefe und Nummer des Zentrifugenröhrchens aufgeführt werden.

Die Probenaufbereitung hat mittels Kalilauge-Acetylyse-Verfahren nach ERDTMAN (1934) zu erfolgen. Die Arbeitsschritte werden jedoch nicht im Einzelnen beschrieben.

### **2.2.6.3 Baumpollendiagramme**

Nach der chemischen Probenaufbereitung im Labor (s. Kap. 2.2.6.2) sind die Proben unter einem Lichtmikroskop für jede Hohlform auszuzählen und graphisch in einem Baumpollendiagramm darzustellen. Als Bestimmungshilfen für die Pollenkörner stehen u. a. die Vergleichssammlungen des ICBM, die Aufzeichnungen des Seminars „Wichtige Pollenkörner in Nordwestdeutschland“, FÆGRI et al. (1989) sowie Fotoabbildungen aus MOORE et al. (1991) zur Verfügung.

Die Zonierung der Baumpollendiagramme erfolgt für das quartäre Post- und Spätglazial nach FIRBAS (1949, 1954). Die Zonierung des Eem-Interglazials ist mit Hilfe von MENKE & TYNNI (1984) für Nordwestdeutschland zu bestimmen. Weitere Literaturquellen für die Interpretation sind LANGE (1994), STRATA (1975), FREUND & CASPERS (1997), HAHNE (1994) und FREUND (2000).

Die Baumpollendiagramme sind einheitlich aufgebaut. Die Kopfzeilen beginnen mit dem Namen der Hohlform unter Angabe der Hochwerte und Rechtswerte im Gauß-Krüger Koordinatensystem. Es folgen der Bohrungsname mit Höhenangabe in m NN und der Tiefenbereich in cm. Im linken Bereich der Fußzeile ist die Legende zur Stratigraphie aufgeführt, während rechts unter Analyse der Bearbeiter und Zeitraum vermerkt ist. Die Gruppen beginnen mit den Baumpollen als Hauptpollenart und enthalten ebenso die Nichtbaumpollen, Ericales und Sträucher sowie der Vollständigkeit halber die Sporen der Sumpf- und Wasserpflanzen. Des Weiteren sind neben den Gruppen, die Stratigraphie, die Tiefe und die Zonierung anzugeben. Zur besseren Darstellung und Vergleichbarkeit der einzelnen Gruppen erhalten die Graphen eine einheitliche

Färbung und Prozenteinteilung. Die Tiefenangaben beziehen sich auf cm unter Geländeoberfläche.

Das Standard-Baumpollendiagramm für das quartäre Spät- und Postglazial basiert auf dem Hauptdiagramm von FREUND (1995) als Vergleichsdiagramm, da dieses für die pollenanalytische Bewertung des ostfriesischen Doove-Meers am Upstalsboom bei Aurich verwendet wurde. Demnach ergibt sich folgende Reihenfolge der Gruppen: Baumpollen → Sträucher → Ericales → Siedlungszeiger → Nichtbaumpollen → Sporen → Sumpf- und Wasserpflanzen. Die römischen Ziffern geben die Pollenzonen nach FIRBAS (1949, 1952) an.

Das Standard-Baumpollendiagramm für das Eem-Interglazial baut auf dem Hauptdiagramm nach CASPERS & FREUND (1995) als Vergleichsdiagramm auf. Demnach ergibt sich für das Standard-Diagramm folgende Reihenfolge der Gruppen: Baumpollen → Sträucher → Ericales → Nichtbaumpollen → Sporen → Sumpf- und Wasserpflanzen.

Die römischen Ziffern im Standard-Baumpollendiagramm bezeichnen die Pollenzonen gemäß MENKE & TYNNI (1984). Diese Zonen erhalten zusätzlich den Großbuchstaben E, wie z. B. E VII.

### **2.2.7 Aufbereitung der Altdaten**

Im Rahmen der eigenen Untersuchungen im Timmelfeld ist es nicht möglich gewesen für die Hohlform Reitplatzweg die Feldarbeiten und die geologische Aufnahme durchzuführen. Deshalb werden die alten Schichtaufnahmen der Bohrungen B10 und B11 aus dem Jahr 1989 verwendet. Ebenso wird die geologische Beschreibung auf Plausibilität überprüft und anhand des Symbolschlüssels vom LBEG überarbeitet. Der Schichtaufbau wird in einem geologischen Profilschnitt zeichnerisch dargestellt.

## **3 Literaturstudie**

### **3.1 Periglazialgebiete**

Periglazialgebiete sind eisfreie Gebiete außerhalb der Vergletscherungen (MURAWSKI & MEYER 2004). Die bestimmenden Kriterien in den Periglazialgebieten sind nach FRENCH (1996) und MACKAY (1998) das Auftauen und Frieren des Bodens, oft in Verbindung mit Wasser. Dabei ist einerseits der Einfluss der Wechselwirkung zwischen Frieren und Tauen dominant und andererseits das Auftreten des nahezu dauerhaft gefrorenen Bodens (Permafrost). Mackay definiert Permafrost, wo die Temperaturen des Untergrundes (Lockersediment oder Fels) bei oder wenig unter 0°C über einen Zeitraum von zwei Jahren verbleiben.

Die rezenten Periglazialgebiete sind von arktischem Klima mit Tundravegetation und jahreszeitlichen Temperaturunterschieden geprägt, während die pleistozänen Gebiete mit vorherrschenden trocken, kalten und windiges Frostklima zu beschreiben sind (EHLERS 1994). Die Temperaturen sind bei beiden nahe 0°C. Sie bildeten in den pleistozänen Periglazialgebiete die klimatischen Voraussetzungen, so dass eine dauerhafte Wasserquelle mit geringem Wasservolumen zur Pingogenese vorhanden war (HARTUNG 1971, EHLERS 1990, 1994).

Des Weiteren werden rezente und pleistozäne Permafrostgebiete in kontinuierliche und diskontinuierliche Zonen untergliedert. Es wird von kontinuierlichem Permafrost gesprochen, wenn der Dauerfrostboden flächenhaft ausgebildet ist. Der kontinuierliche Permafrost erreicht Mächtigkeiten von bis zu mehreren 100 m. Die Jahressmitteltemperatur liegt in diesen Gebieten zwischen -6° und -8°C. Beim diskontinuierlichen (lückenhaften) Permafrost hingegen ist >50% der Fläche als Dauerfrostboden ausgebildet. Der Dauerfrostboden reicht nur wenige Meter (> 1 m) in die Tiefe. Die Jahressmitteltemperatur variiert von -3° und -4°C. Unterlagert etwa <50% Dauerfrost ein Gebiet, so wird von „sporadischen“ Permafrost gesprochen. Die Jahressmitteltemperatur liegt in diesen Gebieten zwischen -1° und -2°C (KARTE 1979).

Ebenso ist für den Permafrost der jahreszeitlich oder jährliche auftretende Frostwechsel im Boden charakteristisch, der die oberflächennahen Frier-Tau-Prozesse beschreibt (FRENCH 1996, MACKAY 1998). Der Auftauboden („Active-Layer“) variiert entsprechend zwischen einigen Zentimetern bis zu wenigen Metern (EHLERS 2011, 2020). Im Unterschied zu den rezenten war in den pleistozänen Periglazialgebieten der vorherrschende Permafrost geringmächtig und diskontinuierlich ausgebildet. Es wird zudem vermutet, dass die Auftauschicht („Active layer“) im Permafrostboden maximal 2 m betrug (EHLERS 1990).

Weiterhin treten in den Periglazialgebieten periglaziale Prozesse auf, wobei der Permafrost eine wichtige Voraussetzung darstellt. So lassen kryogene Prozesse in den rezenten Periglazialgebieten Pingos (s. Kap. 3.3) und in den pleistozänen Periglazialgebieten Paläopingos (s. Kap. 3.4) als Oberflächenformen entstehen (HARTUNG 1971, EHLERS 1990). Die Flugsanddepressionen (s. Kap. 3.5) sind entsprechend die Oberflächenformen als Folge von äolischen Prozessen in den weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebieten (GARLEFF 1968).

### **3.2 Vorkommen Periglazialgebiete**

Rezente Periglazialgebiete kommen ausschließlich in den polaren und subpolaren Regionen der Arktis und Antarktis sowie in den Hochgebirgen vor. Sie nehmen ein Viertel der globalen Landfläche ein. Auf der Nordhalbkugel weisen Sibirien, Kanada, Alaska und westliche Teile Chinas die rezent größten zusammenhängenden Permafrostgebiete auf, wobei die Mächtigkeit des Permafrosts stark variiert (EHLERS 1994, 2011).

In Europa kommt rezenter Permafrost ausschließlich in den Hochgebirgen vor. So liegt in Skandinavien die untere Permafrostgrenze bei etwa 1 500 Metern, in den Alpen bei über 2 500 m und in der Sierra Nevada (Spanien) bei über 3 000 m (HARRIS & PETER 2001). In Deutschland ist die Zugspitze die einzige Region mit rezenten Permafrost. Die Bildung des heutigen Permafrostbodens setzte bereits im Pleistozän während der Glaziale ein. Permafrost hat seitdem das Vorhandensein und die Entwicklung von den klimatischen Verhältnissen beeinflusst (CZUDEK et al. 1973).

Die quartären pleistozänen Permafrostgebiete hingegen waren während der Kaltzeiten wesentlich weiter ausgedehnt als die rezenten Dauerfrostregionen. Die Verbreitung des pleistozänen Permafrosts hing stets von den maximalen Inlandeisvorstößen während der jeweiligen pleistozänen Hochglaziale ab (EHLERS 1994). Ebenso variierten die Mächtigkeiten des Dauerfrostbodens im Pleistozän und lagen durchschnittlich im Dezimeterbereich. Mitteleuropa lag während der drei großen quartären pleistozänen Kaltzeiten bis zum Südrand der Alpen im Bereich des Permafrosts. Im Westen wurde der Dauerfrostboden von der französischen Atlantikküste und im Osten vom Schwarzen Meer begrenzt (EHLERS 1994).

### **3.3 Rezente Pingos**

Die Bezeichnung „Pinguryuaq“ bzw. „Pingo“ stammt aus der Inuvialuit-Sprache im kanadischen Mackenzie Delta und bedeutet übersetzt „kleiner Hügel“ WASHBURN (1979). PORSILD (1938) nahm erstmalig den Begriff „Pingo“ als Fachterminus in die Fachliteratur auf, IN: EHLERS (2011, 2020). In Sibirien wird für Pingo der jakutische Begriff „Bulgannyakh“ verwendet (SOLOVIEV 1973, CZUDEK & DEMEK 1973). Die geologische Fachbezeichnung ist „Hydrolakkolith“. In der englischen Fachliteratur wird auch der Terminus „frost mound“ verwendet (FRENCH 2007, MACKAY 1997).

#### **3.3.1 Vorkommen**

Gegenwärtig kommen weltweit rezent ca. 5 000 Pingos ausschließlich in den Periglazialgebieten der arktischen Regionen und Subpolargebiete mit kontinuierlichem oder diskontinuierlichem (lückenhaften) Permafrost vor, und haben ein holozänes Alter (MACKAY 1998, EHLERS 2011, 2020).

Zu den weltweit größten Vorkommen zählen nach MACKAY (1987, 1997, 1998) die rezenten Pingos des hydrostatisch/geschlossenen Systems (Mackenzie-Typ), von denen mehr als 1 350 Pingos bekannt sind. So gehören die Pingos aus dem Tuktoyaktuk Peninsula Gebiet und Mackenzie Delta der kanadischen westarktischen Küste zum Mackenzie-Typ. Weitere Pingos dieses Genesetyps sind auf den kanadischen Banks-Inseln und Viktoria-Insel im Nordpolarmeer

sowie in der kanadischen Yukon Küstenebene und in Jakutien, einer Teilregion Sibiriens, bekannt (FRENCH 2007). Pingos des Mackenzie-Typs kommen somit fast ausschließlich in arktischen Periglazialgebieten mit kontinuierlichem Permafrost und in Tiefebenen mit flachem vertikalem Relief vor, wo sie sich unter diesen klimatischen Gegebenheiten im hydrostatisch geschlossenen System entwickeln. In diesen Tiefebenen stellen die Pingos eine auffällige geomorphologische Form dar (MACKAY 1998).

Die rezenten Pingos in Alaska, Grönland, Spitzbergen sowie in Kanada und Jakutien zählen nach MACKAY (1987, 1998) zum hydraulisch/offenen System (Ostgrönland-Typ). Pingos des Ostgrönland-Typs kommen in den heutigen Periglazialgebieten der arktischen Subpolargebiete mit diskontinuierlichem und geringmächtigem Permafrost vor, wo die Pingos sich unter diesen klimatischen Bedingungen im hydraulisch/offenen System entwickeln (MACKAY 1987, 1998, FRENCH 1996, 2007). Ebenso weist nach MACKAY (1998) die Umgebung ein hügeliges, topographisches Relief auf. Nach FRENCH (1996, 2007) sind diese Pingos an den S- bis SE-Hängen situiert und treten hier häufig in kleinen Gruppen auf.

In den antarktischen Gebieten sind hingegen keine Vorkommen von rezenten Pingos bekannt (MACKAY 1998).

### **3.3.2 Geometrie**

Die rezenten Pingos sind nach MACKAY (1998) beständige und langjährige Frosthügel. Sie bestehen aus einem reinen, massiven Eiskern, der durch Injektionseis oder Segregationseis gebildet wird (FRENCH 1996, 2007). Nach MACKAY (1998) ist es durchaus möglich, dass das reine Eis mit saisonalen Wachstumsbändern durchsetzt ist, welche für die Paläoforschung von Bedeutung sind. Die Eiskerne der Pingos sind mit einer 1 – 10 m dicken Deckschicht aus Bodenmaterial und Vegetation bedeckt, die den Eiskern auch vor dem saisonalen Auftauen in den warmen Sommermonaten schützt.

Die Oberfläche vieler rezenter Pingos ist oft an den Gipfeln von allseitigen und sternförmigen kleinen Spalten, den Dilatationsrissen, durchzogen. Diese Spalten sind konkav ausgebildet, weil sie direkt vom flachen Seeboden aufwärts zum Gipfel wandern. Die Dilatationsrisse reichen vom Gipfel abwärts bis zum Eiskern.

MACKAY (1987) gliedert die rezenten Pingos anhand ihrer Durchmesser in kleine ( $\varnothing < 100$  m), mittelgroße ( $\varnothing 100 - 200$  m) und große ( $\varnothing > 200$  m). Je nach Genesetyp schwanken die Durchmesser von 2 – 100 m und die Höhe von 5 – 70 m. Nur selten weisen die Pingos große Durchmesser von bis zu 1 200 m und große Höhen von bis zu 100 m auf (EHLERS 1994, 2011, 2020). So haben Pingos des Mackenzie-Typs eine Höhe von 60 m und einen Durchmesser von 300 m,

während die Pingos des Ostgrönland-Typs kleiner und deshalb morphologisch weniger gut erkennbar sind (CATT 1992). In Jakutien haben beispielsweise flache Pingos Höhen von 2 – 5 m und die großen Pingos Höhen von 10 – 50 m (SOLOVIEV 1973).

Die Pingos des hydraulisch/offenen Systems zeigen in der Regel eine ovale bis längliche Form aus, während die des hydrostatisch/geschlossenen Systems eine ovale bis runde Form aufweisen (EHLERS 1994, 2011, FRENCH 1996, 2007).

### **3.3.3 Wachstum (Genese-Typen)**

Wie bereits im vorherigem Kapitel erwähnt, ist die Oberfläche eines rezenten Pingos von Dilatationsrissen durchzogen, deren Größe und Tiefe während des Pingowachstums stetig zunehmen. Es entstehen flachgründige Gräben bis V-förmige Rinnen, wobei die Breite der Dilatationsrisse von der Dehnung abhängt. Die Dilatationsrisse sind nach MACKAY (1987, 1998) rein mechanische Vorgänge während des Pingowachstums und treten unabhängig von den Jahreszeiten auf. Die radiale Aufwärtsbewegung setzt sich während des Wachstums fort und lässt die Deckschichten aufwölben bis sie schließlich aufreißen. Die Deckschichten rutschen seitlich an den bis zu 35° geneigten Pingowänden abwärts, wobei sich die so abgetragenen Bodenschichten am Pingofuß ansammeln (MERKT & KLEINMANN 1998).

Das Wachstum von rezenten Pingos als solches erfolgt nach MACKAY (1987, 1998) in zwei unterschiedlichen Systemen (Genese-Typen):

1. Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ), der englische Terminus: „open system pingos“.
2. Hydrostatisch/geschlossenes System (Mackenzie-Typ), der englische Terminus: „closed system pingos“.

Beide Genese-Typen von Pingowachstum sind typische periglaziale Phänomene in den heutigen arktischen Regionen, deren Vorkommen (s. Kap. 3.3.1) jedoch maßgeblich von einer Vielzahl limitierender, geomorphologischer und hydrologischer Bedingungen abhängen (MACKAY 1987, 1998, FRENCH 1996, 2007). KARTE (1979) hat die Kriterien und Voraussetzungen sowie die wesentlichen Unterschiede beider Genese-Typen tabellarisch zusammengefasst (s. Tab. 3-1).

Tabelle 3-1. Bedingungen und Unterschiede der Genese-Typen nach KARTE (1979), IN: EHLERS (1994: 103)

<b>Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)</b>	<b>Hydrostatisch/geschlossenes System (Mackenzie-Typ)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Offenes hydrologisches System</li> <li>– Auftreten an geringmächtigen diskontinuierlichen Permafrost gebunden</li> <li>– Auftreten bei einer Jahresmitteltemperatur von zwischen -1 und -6°C</li> <li>– ovaler bis länglicher Grundriss</li> <li>– Pingos meist in kleinen Gruppen</li> <li>– an mäßig geneigten Unterhängen und Talflanken verbreitet</li> <li>– deutliche Expositionsabhängigkeit; auf der Nordhalbkugel bevorzugt in SE- bis S-Exposition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Geschlossenes hydrologisches System</li> <li>– Auftreten an mächtigen kontinuierlichen Permafrost gebunden</li> <li>– Auftreten bei einer Jahresmitteltemperatur von unter -6°C</li> <li>– runder bis ovaler Grundriss</li> <li>– einzelne Pingos</li> <li>– in ebenem Gelände; an ehemaligen Seebecken und Flussläufe gebunden</li> <li>– keine Expositionsabhängigkeit</li> </ul>

### 3.3.3.1 Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)

Pingos des Ostgrönland-Typs entwickeln sich in einem offenen hydraulischen System. Pingos dieses Genesetyps bilden sich in Gebieten mit diskontinuierlichen und geringmächtigen Permafrost aus (s. Kap. 3.3.1). In diesen Gebieten erfolgt ein lateraler Zustrom durch Sicker- und Grundwasser (Aquifer), das unterhalb eines geringmächtigen Permafrosts hangabwärts unter einem hydraulischen Gradienten fließt (s. Abb. 3-1A). Das Sicker- oder Grundwasser gerät wegen des topografischen Gradienten unter hydraulischen Druck. Hierdurch steigt das Wasser in dem diskontinuierlichen Permafrostbereich auf und gefriert. Es bildet sich Segregation- oder Injektionseis, wodurch die darüberliegenden Bodenschichten aufgewölbt werden und der Pingo beginnt zu wachsen (s. Abb. 3-1A+B). FRENCH (1996) weist zudem darauf hin, dass nicht ausschließlich der artesische Druck bewirkt, die überlagernden Deckschichten anzuheben, sondern auch die ausreichende Zufuhr von Grundwasser eine wichtige Rolle spielt. Für diese stetige und ausreichende Wasserzufuhr sorgt eine nicht gefrorene Wasserlinse (Subpingo-Wasserlinse) unter dem Eiskern des Pingos. MACKAY (1998) beschreibt die Subpingo-Wasserlinsen als ovale Wassereinschlüsse direkt unterhalb des Intrusiveiskörpers (s. Abb. 3-2c).

So sind für das Pingowachstum neben der Ausbildung eines Eiskerns in Folge von injiziertem und gefrorenen Sicker- oder Grundwassers auch das Vorhandensein einer flüssigen Subpingo-Wasserlinse zwingend notwendig. MACKAY (1998) zeigte auch, dass diese flüssige Subpingo-Wasserlinse, wie bei den geschlossenen Systemen (s. Kap. 3.3.3.2), das Pingowachstum merklich beeinflusst und somit für instabile Bedingungen während des Wachstums sorgt (s. Abb.en 3-1b u. 3-2c). Denn, wenn einerseits das Grundwasser schneller injiziert als es gefrieren kann, steigt der Porenwasserdruck so lange an, bis der Pingo zerbricht und Wasser

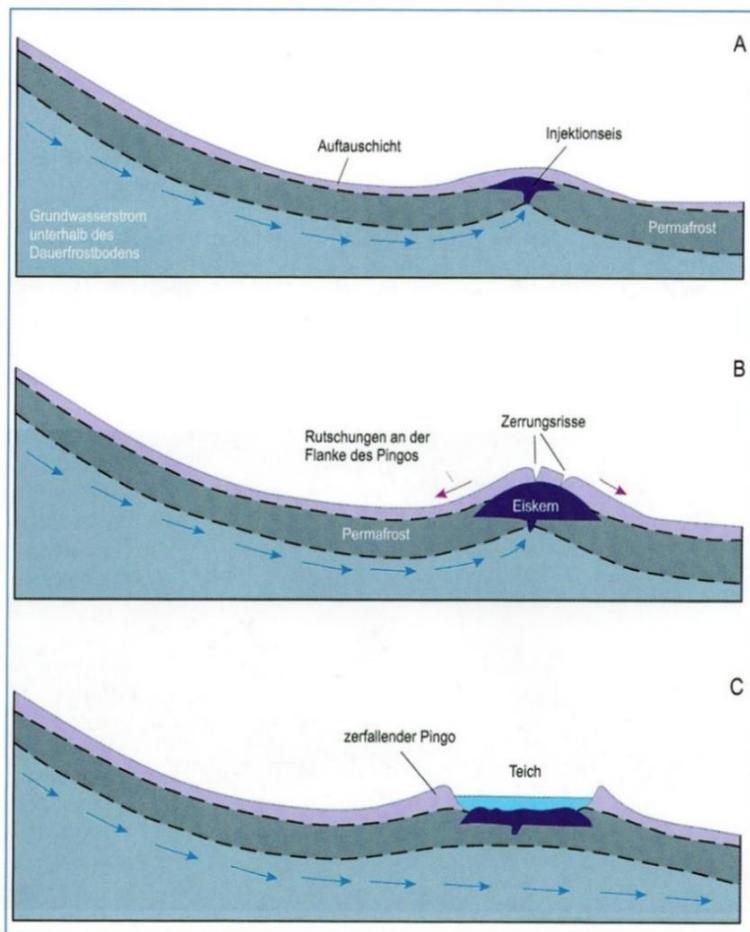


Abbildung 3-1. Wachstum und Zerfall eines Pingos vom Ostgrönland-Typ (hydraulisch / offenes System), nach HARRIES & ROSS (2007) IN: EHLERS (2011, 2020).

Nach MACKAY (1987) verläuft das Pingowachstum eines offenen Systems in gleicher Weise wie das geschlossene System ab (s. Kap. 3.3.3.2), nur, dass das Porenwasser wegen des topografischen Gradienten unter hydraulischen Druck gerät.

### 3.3.3.2 Hydrostatisch/geschlossenes System (Mackenzie-Typ)

Pingos des Mackenzie-Typs wachsen nach MACKAY (1998) in einem geschlossenen hydrologischen System und kommen fast ausschließlich in Gebieten mit kontinuierlichem Permafrost sowie in Tiefebenen mit flachem vertikalem Relief vor (s. Kap. 3.3.1). In diesen Tiefebenen stellen die Pingos eine auffällige geomorphologische Form dar. FRENCH (1996) vermutet, dass die Pingos des geschlossenen Systems deshalb in der Fachliteratur mehr Aufmerksamkeit erhalten haben als die weniger auffälligen Pingos des offenen Systems (s. Kap. 3.3.3.1).

Die Pingos des geschlossenen Systems bilden sich in großen und flach ausgebildeten Thermokarstseen, die beidseitig von Permafrost umgeben sind. Wegen der schützenden Wasserfläche liegt im Bereich des Thermokarstsees die sich durch die isolierende Wirkung des Thermokarstsees Permafrostgrenze tief (MACKAY 1987, 1998). Direkt unterhalb der Wasserfläche hat sich

„explosionsartig“ in den Untergrund fließt. Wenn andererseits Grundwasser langsamer injiziert als es gefriert, wird die ungefrorene Subpingo-Wasserlinse frieren und aufhören zu existieren.

FRENCH (1996) sieht vielmehr einen gewissen Anteil von Segregations- und Injektionseis erforderlich, um das Wachstum im hydraulisch/offenen System nachhaltig zu beeinflussen. So bestehen in Jakutien die flachen Pingos überwiegend aus Segregationseis und gefrorenem Sediment. Die großen Pingos (ca. 10 – 50 m hoch) hingegen zeigen einen mindestens 5 – 10 m mächtigen Eiskern aus Injektionseis (SOLOVIEV 1973).

ein Talik aus ungefrorenen, wassergesättigten Sanden ausgebildet, der ebenso vom Permafrost umgeben ist. Der Thermokarstsee beginnt allmählich zu entwässern oder zu verlanden und repräsentiert den Beginn des Pingowachstums. Der Thermokarstsee fällt langsam trocken und der Permafrost breitet sich aus (s. Abb. 3-2b), wobei die isolierende Wirkung der Wasserfläche allmählich nachlässt. Der Talik hingegen wird vom sich ausbreitenden Permafrost allseitig eingengt und mit der Zeit vom Permafrost nahezu umschlossen. Das (Poren-) Wasser gerät durch das Fortschreiten des Permafrostes zunehmend unter hydrostatischen Druck und steigt kontinuierlich im Zentrum des ehemaligen Sees aufwärts unter Ausbildung von (Segregationseis

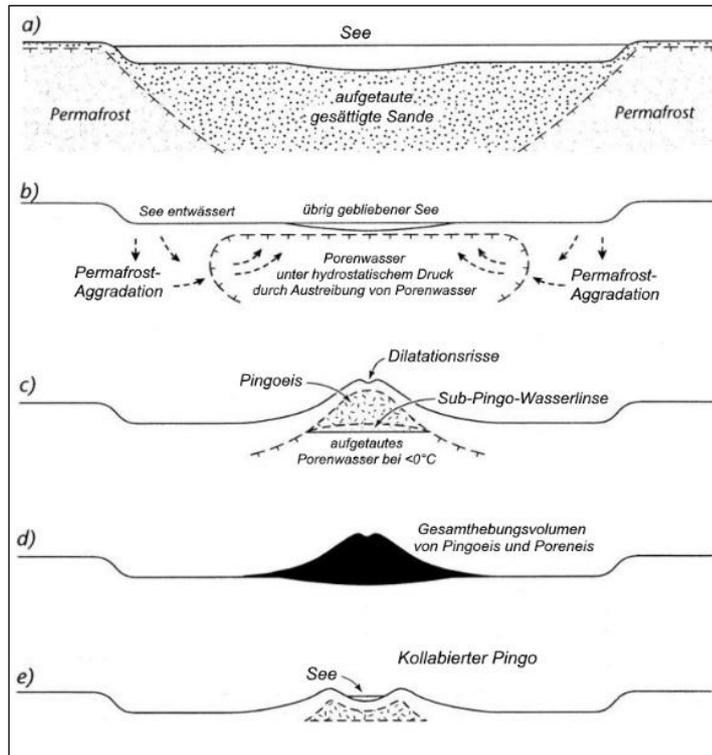


Abbildung 3-2. Wachstum und Zerfall eines Pingos des geschlossenen Typs, verändert nach MACKAY (1998)

Migrationseis), wobei die überlagernden Bodenschichten (Deckschichten) im gleichen Maß aufgewölbt werden (WASHBURN 1979, MACKAY 1998).

In einem späteren Stadium des Pingowachstums akkumuliert sich eine Linse aus Injektions- oder Intrusiveis. Direkt unter dieser Eislinse bildet sich eine ungefrorene große Subpingo-Wasserlinse aus, sodass das Porenwasser schneller nachströmt als es frieren kann. Der Porenwasserdruck überschreitet den Gesamthebungswiderstand. Wenn das Porenwasser jedoch schneller injiziert als es frieren kann, endet das

Pingowachstum oder wird für diesen Zeitraum unterbrochen (MACKAY 1987, 1998). Pingos vom hydrostatisch/geschlossenen System (Mackenzie-Typ) wachsen anfänglich bis zu durchschnittlich 1,5 m pro Jahr, wobei das Wachstum mit der Zeit abnimmt. Es hört ganz auf sobald der ungefrorene Talik vollständig vom Permafrost ersetzt wurde (EHLERS 2011, 2020, FRENCH 1996, 2007). Die Größe der Pingos vom Mackenzie-Typ sind mit bis zu 60 m Höhe und bis zu 300 m im Durchmesser deutlich größer als die Pingos vom Ostgrönland-Typ (MACKAY 1973, 1987, EHLERS 1994, 2011). Die Pingos des geschlossenen Systems kommen überwiegend in kleinen flachen Seen oder in entwässerten Flusssystemen bzw. -läufen und treten in der Regel vereinzelt und nicht in Gruppen auf (MACKAY 1973).

### **3.3.4 Zerfall**

Nach MACKAY (1987, 1988, 1998) erfolgt der Zerfall von rezenten Pingos der beiden Genese-Typen (s. Kap. 3.3.3) in gleicher Weise.

So beginnt der Pingo-Zerfall, wenn die schützende und isolierende Wirkung der Deckschichten infolge der Dilatationsrisse fehlt oder diese bis zu dem unterlagernden Eiskern reichen. In der Folge kommt es zum teilweisen oder vollständigen Auftauen des Eiskerns. Der Pingo kollabiert und stürzt ein (EHLERS 1994, 2011). Übrig bleibt dann ein wassergefüllter Pingokrater (See) mit einem gut erkennbaren randlichen Ringwall (s. Abb.en 3-1C u. 3-2e). Zerfällt allerdings der Pingo nur teilweise, bricht nur der Pingogipfel ein (MACKAY 1987, 1998).

### **3.3.5 Wachstum in Alasen als Besonderheit**

In den 1970er und 1980er Jahren untersuchten SOLOVIEV (1973), CZUDEK & DEMEK (1973) und BOSIKOV (1988) die Pingowachstum in Jakutien im Zusammenhang von Thermokarst-Phänomenen und deren Entwicklung mit den typischen Landformen als Folge der Dauerfrostdegradation. Demnach ist die Pingoentstehung direkt an die Entwicklung von Alasen als Folge der Permafrostdegradation gebunden und stellen somit eine Besonderheit in der Pingo-Genese dar.

So entstehen die rezenten Pingos im jakutischen Tiefland hauptsächlich innerhalb von Alasen, direkt an deren Hängen als Folge der Degradation des Dauerfrostbodens. Nach SOLOVIEV (1973) wird insbesondere die Pingogenese in den Gebieten zwischen den Flüssen Lena und Amga begünstigt, weil hier die Wasserscheide leicht geneigt ist und die Oberfläche durch Dauerfrostdegradation stark verändert wird. Demnach beginnt das Wachstum der Pingos erst ab dem späten Stadium der Alasentwicklung, dem „reifen Alas, Mature Alas“ und dauert bis ins Stadium des „Alten Alas“ an. Nach Soloviev entstehen die Pingos entweder durch Eindringen von Grundwasser in den gefrorenen Untergrund unter hydraulischem Druck (offenes System) oder durch das vollständige Frieren des lokalen Taliqs (geschlossenen Systems). Die Mehrzahl der im jakutischen Tiefland entstehenden Pingos wird dem offenen System zugeordnet, weil der Permafrost hier häufig geringmächtig oder diskontinuierlich ausgebildet ist.

Laut CZUDEK & DEMEK (1973) sind die flachen Pingos leicht domartige Erhebungen, deren Höhe zwischen 2 – 5 m liegt. Sie haben einen gefrorenen Kern und ihre Sedimente beinhalten kleine Eislinen. Die großen Pingos hingegen sind durchschnittlich 10 – 20 m hoch, wobei ihre Eiskerne massiv ausgebildet sind und eine Mächtigkeit von 5 – 10 m aufweisen.

## **3.4 Paläopingos**

Paläopingos sind pleistozäne Spuren von Oberflächenformen periglazialer Prozesse in den damaligen pleistozänen Periglazialgebieten des Quartärs, außerhalb der Vergletscherungen

des Inlandeises (s. Kap. 3.1). Die Paläopingos sind rezent morphologisch als abflusslose, häufig vernässte, Hohlformen ausgebildet (EHLERS 1994).

### **3.4.1 Vorkommen**

Paläopingos wurden im Osten Nordamerikas (Kanada, nordöstliche Teile der Vereinigten Staaten) sowie in den heutigen eisfreien Gebiete Westeuropas entdeckt (MARSH 1987, FRENCH 1996, 2007). In Westeuropa sind insbesondere die weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos im Norden der Niederlande (Drenthe-Plateau) sowie in Nordwestdeutschland (Ostfriesland) bekannt. Spuren von Paläopingos des Saale-Komplex wurden hier bislang nicht gefunden.

So kamen die Paläopingos in den Niederlanden und Nordwestdeutschland in den damaligen weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebieten vor (DE GANS 1981, 1982, EHLERS 1994).

Neben den paläoklimatischen Voraussetzungen, den quartären Periglazialgebieten, spielen auch die Paläo-Geomorphologie und die Paläo-Hydrologie beim Wachstum von Paläopingos eine entscheidende Rolle (FRENCH 1996). Denn bei diesen hydrologischen Bedingungen fließt das Grundwasser unter- oder innerhalb des diskontinuierlichen Permafrosts, wobei das Wasservolumen klein und dessen Temperaturen nahe bei 0°C liegen sollten. Ist das Wasservolumen hingegen zu groß, gefriert dieses nicht, und Temperaturen über 0°C bewirken zudem, dass sich eine dauerhafte Wasserquelle (Wassereinschluss), jedoch keine Paläopingos, ausbilden. Fallen die Wassertemperaturen allerdings deutlich unter den Gefrierpunkt, versiegen die Wasserbahnen und der Paläopingo hört auf zu wachsen.

Paläopingos liegen an leicht geneigten und hangabwärtigen Unterhängen sowie niedrigen bzw. flachen talseitigen Hängen (Talflanken) von Flussniederungen oder an Gebiete mit Quellwasser (FRENCH 1996). Beispiele hierfür sind die Grundmoränen-Höhenzüge bzw. -plateaus des Saale-Komplex in den Niederlanden das Drenthe-Plateau (s. Abb. 4-1) und in Ostfriesland die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche (s. Abb. 4-2). Die nachgewiesenen weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos liegen an der NW-/SW-Seite und NE-/SE-Seite der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche im unmittelbaren Einflussbereich der saale-zeitlichen Entwässerungsrinnen auf der Geesthochfläche, welche für ein ausreichendes Wasserdargebot für das Pingowachstum sorgten.

### **3.4.2 Genese und Auftreten**

Paläopingos sind nach GARLEFF (1968) geomorphologische Oberflächenformen, die als Folge von kryogenen Prozessen entstanden sind und ordnete sie genese-typisch den kryogenen Kaven zu.

Weiterhin bezifferte Garleff den prozentualen Anteil von Paläopingos (kryogenen Kaven) mit 15 – 20% und bewertete diese neben den Flugsanddepressionen (äolischen Kaven) als dominierende Genese-Typen in Nordwestdeutschland, wobei die äolischen Kaven mit ca. 3,5-fach deutlich häufiger vorkommen als die kryogenen. Ebenso häuften sich nach Garleff die kryogenen Kaven auf den mit weichsel-kaltzeitlichen Flugsand bedeckten Geesthochflächen im nordwestlichen Niedersachsen.

FRENCH (1996) erwähnt zudem, dass die überwiegende Anzahl der untersuchten Paläopingos in kleineren Gruppen (Clustern) vorkommen oder perlenschnurartig aufgereiht sind. Auf dem niederländischen Drenthe-Plateau treten sie in Nachbarschaft zu Flugsanddepressionen auf (DE GANS 1982). In Ostfriesland ist die perlenschnurartige Aufreihung besonders entlang der damaligen Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex ausgebildet.

### **3.4.3 Geometrie**

Die Form von Paläopingos ist oft unregelmäßig, nur eine Minderheit der untersuchten Paläopingos zeigt eine scharf umrissene runde Form. Die Mehrzahl ist hingegen oval ausgebildet (FRENCH 1996).

Nach DE GANS (1982, 1988) und MACKAY (1998) weisen Paläopingos minimal einen Durchmesser von 25 m und eine Tiefe von 1,5 m auf und konkretisierten damit die Angaben von GARLEFF (1968). Zudem korrelieren die geringen Tiefen mit der Mächtigkeit der Auftauschicht („Active Layer“) während des Wachstums eines Paläopingos. Empirische Untersuchungen in den Niederlanden haben weiterhin gezeigt, dass für weichsel-kaltzeitliche Paläopingos ein deutliches Maximum bei einem Durchmesser von 140 m liegt und nur geringe Häufigkeiten bei Durchmessern von  $\leq 25$  m. Verglichen mit den weichsel-kaltzeitlichen, maximal 2 m flachen Flugsanddepressionen, sind die Paläopingos mit  $\geq 2$  m deutlich tiefer und sind somit gut voneinander zu unterscheiden (DE GANS & SOHL 1981). Weisen Paläopingos jedoch große Tiefen von bis zu 17 m auf, sind diese hingegen an „geologische Fenster“ lokalisiert. Denn „geologische Fenster“ deuten auf Fehlstellen in den Tillschichten des Saale-Komplex hin, wo der Paläopingo tief in die unterlagernden Feinsande des Saale-Komplex hineinragt und somit für sein Wachstum über eine ausreichende Wasserquelle verfügte (DE GANS & SOHL 1981).

GARLEFF (1968) führte die Begriffe „Formtypus“ und „Hangwinkel“ ein, um die Eigenschaft eines Paläopingos und seine Geometrie zu beschreiben. Jedoch definierte Garleff den Neigungswinkel nicht genauer. Die Paläopingos zeigen demnach einen trichterförmigen Typus.

### 3.4.4 Wachstum und Zerfall

Das Wachstum und der Zerfall von Paläopingos ist mit denen der rezenten Pingos vergleichbar. MACKAY (1998) führt hierzu weiter aus, dass das Wissen um das Wachstum und den Zerfall von rezenten Pingos dazu beiträgt, die Entstehung und Entwicklung von Paläopingos besser zu verstehen. Demnach wuchsen die Paläopingos im hydraulisch/offenen System (Ostgrönland-Typ) bei diskontinuierlichen (lückenhaften) Permafrost (FRENCH 1996). Beide stellen die paläoklimatischen und genetischen Kriterien dar, zudem wichtige Voraussetzungen für das Pingo-Wachstum.

In Westeuropa wird das Wachstum der weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos ins Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial) zu einer Phase extremer Abkühlung eingestuft. Der Pingozerfall hingegen wird in die Warmphasen des Weichsel-Spätglazials datiert, wobei einige Studien in den Niederlanden zeigen, dass der Pingozerfall vereinzelt bereits in der ausgehenden Oberen Mittel-Weichsel (Pleniglazial) im Übergang zur ersten interstadialen Phase (Meiendorf-Intervall) des frühen Weichsel-Spätglazials beginnt. Es wird weiter angenommen, dass der Zerfall sich in den weiteren Warmphasen des Weichsel-Spätglazials (Bölling-Interstadial und Allerød-Interstadial) fortsetzte und lediglich von den Kaltphasen unterbrochen wurde. So wird weiterhin vermutet, dass das vollständige Schmelzen des Eiskernes im Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.) erfolgte und damit wohl auch der Zerfall der Paläopingos abgeschlossen wurde (MERKT et al. 1995, PARIS et al. 1979, DE GANS et al. 1981, DE GROOT et al. 1987, DE GANS 1980, 1982 und DE GANS & CLEVERINGA 1986). MACKAY (1998) beschrieb das Wechselspiel vom zeitlich begrenzten Wachstum und Zerfall an rezenten Pingos im Rahmen einer Langzeitstudie auf der Tuktoyaktuk Halbinsel an der westarktischen Küste Kanadas.

Nach dem Zerfall der Paläopingos bildeten sich teilweise tiefe und abflusslose Hohlformen aus, die in der Regel mit einem Ringwall in unterschiedlichen Höhen nahezu vollständig umrandet waren. Diese Ringwälle sind ein wichtiges Merkmal, um Paläopingos von Flugsanddepressionen zu unterscheiden (DE GANS 1980, 1982, DE GANS & SOHL 1981, DE GANS & CLEVERINGA 1986, RIEDEL 2006). TILLY (2014) merkte kritisch an, dass die von MACKAY (1988, 1998) beschriebenen Merkmale, wie radiale Risse am Ringwall, nicht bei Paläopingos zwingend anzuwenden sei. Ebenso der Hinweis, dass das Volumen des Ringwallmaterials gleich dem Volumen der Hohlform ist.

GARLEFF (1968) wies Schichtenstörungen mit entsprechenden Einregelungen von Geschiebe nach, welche durch den Druck des größer werdenden Eiskerns während des Wachstums bewirkt wurden. Für Garleff waren diese Einregelungen von Geschiebe ein weiterer Beleg für einen Paläopingo, jedoch mit der Einschränkung, dass sie lediglich bei optimalen Aufschlussbedingungen zu erkennen seien und somit für die Bestimmung von Paläopingos deshalb nur bedingt geeignet sind.

### 3.4.5 Rezente Ausbildung

Rezente sind die Paläopingos mit organischen bzw. organogenen Sedimenten, häufig Torf, Mudde oder Gyttja, bis an die Geländeoberfläche verfüllt (DE GANS et al. 1981, DE GANS 1980, 1982, MERKT et al. 1995). Diese Verfüllungen sind ideal für deren Datierung mittels Pollenanalyse oder  $^{14}\text{C}$ -Methode (Radiocarbon-Methode). Weiterhin sollte idealerweise das Volumen der Auffüllung dem Volumen des Ringwalls entsprechen (DE GANS 1988, MACKAY 1998).

In den Niederlanden (Drenthe-Plateau) und Nordwestdeutschland (Ostfriesland) befinden sich Paläopingos gegenwärtig in Kulturlandschaften mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung und Entwässerung (weit verzweigte Kanal- und Grabensysteme) und sind somit stark anthropogen überprägt. Die Folge ist, dass die Ringwälle im Gelände häufig nicht mehr oder nur kaum als solche zu erkennen sind. Häufig werden die letzten Überreste eines Ringwalles durch Pflügen des Bodens vollständig zerstört (RIEDEL 2006).

Die nachfolgende Abbildung zeigt den idealisierten Aufbau eines Paläopingos und schließt das Kapitel 3.4 „Paläopingos“ ab.

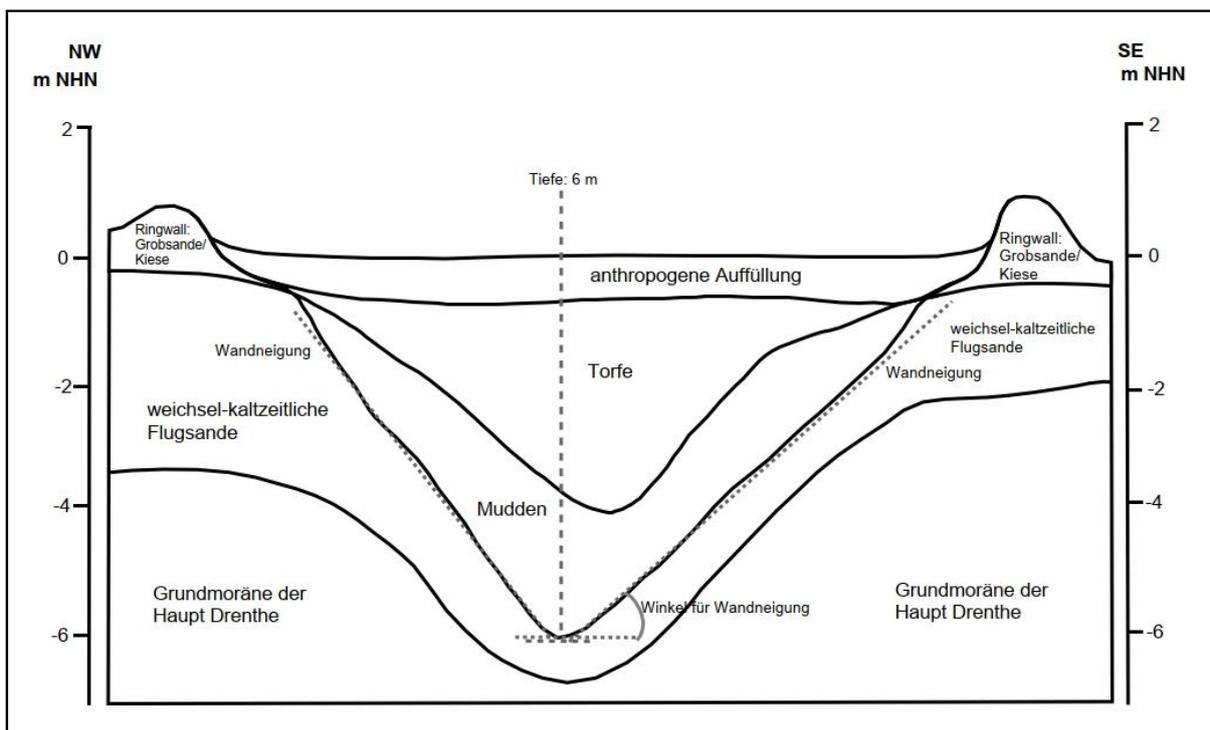


Abbildung 3-3. Idealisierter Aufbau eines Paläopingos – eine Skizze

### 3.5 Flugsanddepressionen

Flugsanddepressionen sind pleistozäne Spuren von Oberflächenformen periglazialer Prozesse in den damaligen weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebieten, weit außerhalb der Vergletscherungen des Inlandeises. Die Flugsanddepressionen sind rezent morphologisch als abflusslose, meistens vernässte, Hohlformen ausgebildet (EHLERS 2011, 2020, FRENCH 1996, 2007).

### **3.5.1 Vorkommen**

Flugsanddepressionen wurden zum ersten Mal von DE GANS & CLEVERINGA (1986) auf dem niederländischen Drenthe-Plateau im Ballooërveld und von GARLEFF (1968) in Nordwestdeutschland genauer beschrieben.

Die Flugsanddepressionen sind Deflationswannen, welche ausschließlich in den damaligen weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebieten vorkamen (GARLEFF 1968).

In Gegensatz zu den Paläopingos kommen nach Garleff die Flugsanddepressionen ca. 3,5-fach deutlich häufiger vor als die kryogenen und bezifferte ihren prozentualen Anteil mit 60 – 70% in Nordwestdeutschland.

### **3.5.2 Genese und Auftreten**

GARLEFF (1968) definiert Flugsanddepressionen als geomorphologische Oberflächenformen, die in Folge von äolischen Prozessen, wie Ausblasungen durch Wind oder Winderosion und –umlagerung in den Periglazialgebieten entstanden sind. Er bezeichnete die weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddepressionen „genese-typisch“ als äolische Kaven.

GARLEFF (1968) und DE GANS & CLEVERINGA (1986) wiesen explizit darauf hin, dass sich die Flugsanddepressionen nur innerhalb den weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken der Geesthochflächen ausbilden. So wurden in den Niederlanden auf dem Drenthe-Plateau (s. Abb. 4-1) und in Ostfriesland auf der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche hunderte, morphologisch gut erkennbare Flugsanddepressionen lokalisiert (s. Abb. 4-3).

GARLEFF (1968), DE GANS (1982) und DE GANS & CLEVERINGA (1986) beschreiben ebenfalls, dass weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepressionen vereinzelt in unmittelbarer Nachbarschaft zu Paläopingos liegen, wie zum Beispiel im Ballooërveld, westlich der Stadt Assen, oder im Gebiet nördlich des Dorfes Donderen. Eine Gruppierung zu Clustern, wie es FRENCH (1996) für Paläopingos formuliert, haben de Gans & Cleveringa bei Flugsanddepressionen nicht festgestellt.

### **3.5.3 Geometrie**

Nach DE GANS (1982) und DE GANS & CLEVERINGA (1986) weisen die weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddepressionen eine runde oder ovale Form auf.

Weiterhin haben sie einen Durchmesser von 70 – 150 m und sind mit maximal 2 m Tiefe flach ausgebildet. GARLEFF (1968) verwendete für diese flache Struktur den Begriff „Wannen- und Schalenform“ als „Formtypus“. Wie bei den Paläopingos berücksichtigte er als Eigenschaft für die Geometrie der Flugsanddepressionen den Hangwinkel, benennt auch hier keinen genauen Neigungswinkel.

Die Flugsanddepressionen lassen sich wegen ihrer geringen Tiefe gut von den merklich tieferen Paläopingos ( $\geq 2$  m) unterscheiden (DE GANS & SOHL 1981). Ebenso weisen sie keinen Ringwall auf, ein weiteres deutliches Unterscheidungsmerkmal zu den Paläopingos (DE GANS & SOHL 1981, DE GANS 1982).

### 3.5.4 Entstehung

Nach DE GANS & CLEVERINGA (1986) begann die Entstehung der Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau im Weichsel-Spätglazial vor 13 000 B.P., als Flugsande sedimentierten und flächendeckend das Drenthe-Plateau mit seinen ehemaligen Nebentälern überlagerten, und endete im Boreal vor 9 000 B.P. Somit sind Flugsanddepressionen jünger als die Paläopingos, die während der Phase extremer Abkühlung in der ausklingenden Oberen Mittel-Weichsel (Pleniglazial) gewachsen sind (s. Kap. 3.4.4).

Für Nordwestdeutschland gibt GARLEFF (1968) an, dass die Flugsanddepressionen im Hochglazial der Weichsel-Kaltzeit entstanden sind, ohne jedoch ein genaues Alter zu beziffern.

### 3.5.5 Rezente Ausbildung

Wie die Paläopingos, sind Flugsanddepressionen rezent mit organischen bzw. organogenen Sedimenten bis an die Geländeoberfläche verfüllt. Häufig sind es Torfe, Mudden oder Gytjtja als Auffüllungen (DE GANS et al. 1981, DE GANS 1980, 1982, MERKT et al. 1995). Diese Verfüllungen sind ideal für deren Datierung mittels Pollenanalyse oder  $^{14}\text{C}$ -Methode (Radiocarbon-Methode).

In den Niederlanden (Drenthe-Plateau) und Nordwestdeutschland (Ostfriesland) befinden sich die Flugsanddepressionen gegenwärtig in Kulturlandschaften mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung und sind, wie die Paläopingos, stark anthropogen überprägt (RIEDEL 2006).

Die nachfolgende Abbildung skizziert den idealisierten Aufbau einer Flugsanddepression und schließt das Kapitel 3.5 „Flugsanddepressionen“ ab.

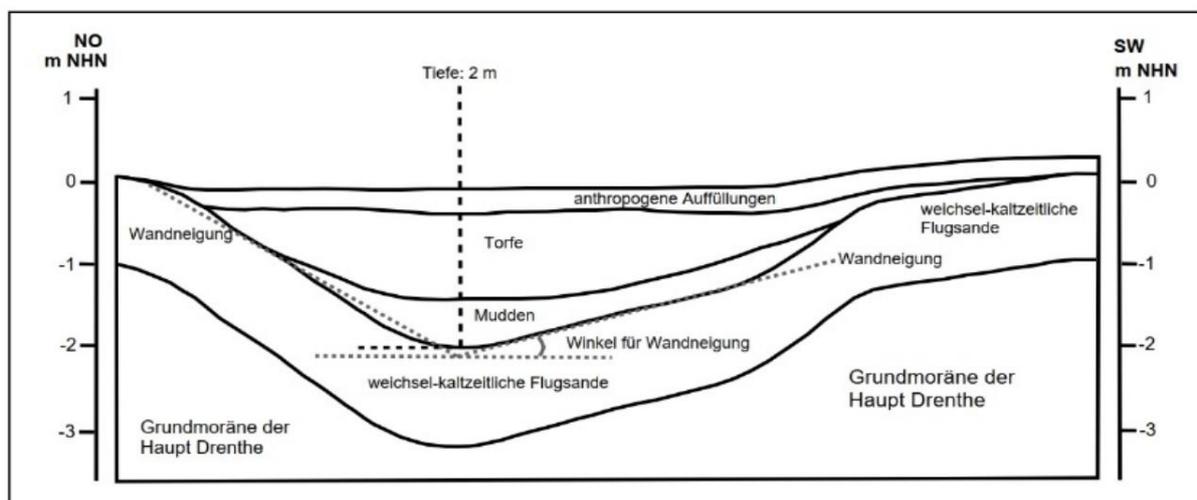


Abbildung 3-4. Idealisierter Aufbau einer Flugsanddepression – eine Skizze

## **4 Regionale Geologie, Geomorphologie und Hydrologie**

### **4.1 Niederländisches Drenthe-Plateau**

Das Drenthe-Plateau liegt im Norden der Niederlande wird geographisch von den Städten Groningen und Leeuwarden sowie Emmen, Covoerden und Meppel im Süden eingegrenzt (s. Abb. 4-1).

Geologisch wurde das Drenthe-Plateau im Quartär maßgeblich von der Elster-Kaltzeit und dem Saale-Komplex sowie der Weichsel-Kaltzeit geprägt, wobei insbesondere die Grundmoräne des Saale-Komplex große Gebiete des Drenthe-Plateaus bedeckte und eine Altmoränenlandschaft entstehen ließ. Die Grundmoräne ist hier als sandiger Geschiebemergel ausgebildet und variiert sehr in seiner Mächtigkeit (DE GANS 1980, 1981). Ablagerungen der Holstein-Warmzeit sind nach DE GANS & SOHL (1981) im Drenthe-Plateau nicht vorhanden.

Nach dem Rückzug des Inlandeises im Saale-Komplex beeinflussten während des Eem-Interglazials und des Weichsel-Glazials fluviatile Erosionen das Drenthe-Plateau und ließen ein weiträumig ausgeprägtes Entwässerungssystem mit zahlreichen Nebentälern entstehen, deren einstige Morphologie heute nahezu vollständig mit weichsel-kaltzeitlichen Flugsanden überdeckt ist. Das Drentsche Aa Entwässerungssystem aus mittel-weichselzeitlichen gutsortierten Sanden und Kiesen stellte mit seinen Nebentälern Anreeper- und Amer-Tief sowie dem Ander-sche Tief das dominierende Entwässerungssystem im Drenthe-Plateau dar. Seine Nebentäler waren bis Ende des Pleistozäns aktiv und sorgten mit ihrer leichten Hangneigung von  $<0,5^\circ$  bis zu max.  $1^\circ$  nach Osten bzw. Westen für ein entsprechend stetiges Wasserdargebot, welches an geologische Fehlstellen merklich erhöht wurde (DE GANS 1981, 1982, DE GANS & SOHL 1981, DAVIES et al. 2005).

Das Drenthe-Plateau war zudem in der Weichsel-Kaltzeit periglaziales Gebiet mit Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt, welche für eine dauerhafte Wasserquelle zur Genese der Paläopingos sorgten. Die Auftauschicht (Active Layer“) wird mit max. 2 m vermutet (s. Kap. 3.1).

So bildete das Drenthe-Plateau mit seinen weiträumig verzweigten Entwässerungssystemen die paläoklimatische und –geohydrogische Voraussetzung, eines der wesentlichen Bedingungen, um Paläopingos im hydraulisch / offenen System entstehen zu lassen (DE GANS 1981, 1982, 2008; DAVIES et al. 2005). Nach GARLEFF (1968) entsprechen sie den kryogenen Kaven (s. Abb. 4-1).

Überreste dieses einstigen großen Drentsche Aa Entwässerungssystems stellen rezent u. a. die Flussniederungen „Drentsche Aa“ im Osten und das „Alddijp (Boorne)-Tief“ im Nordwesten

dar, welche nach wie vor die dominierenden Entwässerungssysteme des Drenthe-Plateaus repräsentieren (DE GANS 1981). Die „Drentsche Aa“ Flussniederung fächert sich im Hondsrug-System (s. Abb. 4-1) weiter in die deutlich schmalere Flusstäler „Elder Tief“ im Norden sowie „Andersche Tief“, „Amer Tief“ und „Anreeper Tief“ im Süden auf und trennt die vier markanten Grundmoränen-Höhenzüge des Hondsrug-Systems voneinander (DE GANS & CLEVERINGA 1981).

Das Hondsrug-System im Osten des Drenthe-Plateaus ist, wie eben erwähnt, ein im Saale-Komplex entstandener Grundmoränen-Höhenzug, welcher durch die Überfahrung des ersten Vorstoßes des Inlandeises gebildet wurde (s. Abb. 4-1) und ist morphologisch als markanter Höhenzug im Osten des Drenthe-Plateaus ausgebildet. Alle vier Höhenzüge des Hondsrug-Systems sind von ihrer Morphologie schmal und flach geformt, wobei der „Hondsrug“ mit einer Höhe von bis zu 20 m NN und einer Länge von 70 km der größte Geestrücken im Hondsrug-System darstellt. Die anderen drei Geestrücken („Zeyen-Rücken“, „Rolde-Rücken“ und „Tynaarlo-Rücken“) sind durchschnittlich 1 km breit und weisen eine Höhe von bis zu 5 m NN auf, wobei der „Rolde-Rücken“ mit 60 km Länge der zweitgrößte Geestrücken im Hondsrug-System darstellt. Die Kammlinien zwischen den einzelnen Geestrücken variieren zwischen 3 – 4 km (DE GANS 1980).

Das Ballooërveld, im Hondsrug-System gelegen, ist eine ca. 350 Hektar große Heide Landschaft, welche ca. 6,5 km nordöstlich der Stadt Assen liegt. In jeweils 250 m Entfernung flankieren zwei Flussniederungen das Ballooërveld, wobei das Rolder Tief östlich und das Looner Tief westlich verläuft. Das Ballooërveld liegt westlich des „Rolde-Rückens“ (s. Abb. 4-1). Nach DE GANS & CLEVERINGA (1981) ist das Ballooërveld asymmetrisch ausgebildet, da der Hang nach Westen mit einer Neigung von 1° deutlich steiler ausgebildet ist als an der Ostseite, wo die Hangneigung weniger als 0,5° beträgt. Während der Weichsel-Kaltzeit und postglazial im Holozän haben geomorphologische und geologische Prozesse das Ballooërveld nachhaltig geprägt. So bildeten sich vor 30 000 – 20 000 B.P. (Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial)) unter periglazialen Bedingungen Paläopingos, welche heute morphologisch als ovale oder runde Hohlformen gut zu erkennen sind. Im Weichsel-Spätglazial (ca. 13 000 B.P.) bis Boreal (ca. 9 000 B.P.) entstanden die Flugsanddepressionen als Folge von äolischen Prozessen innerhalb der Flugsanddecken in direkter Nachbarschaft zu den Paläopingos.

Ebenso dominieren im Ballooërveld etwa 10 – 15 m mächtige weichsel-kaltzeitliche Sandschichten, in denen sich die Flussniederungen Looner Tief im Westen und Rolde Tief im Osten schnitten und bis zu 10 m tiefe Täler ausbildeten. Diese Täler sind mit fluvio-periglazialen Sanden, Lehmen sowie mit Gytjtja und Torfen verfüllt. Überlagert werden diese Sedimente von äolischen Flugsanden, die im gesamten Ballooërveld und in den benachbarten Flussniederungen bis zu 5 m mächtige Deckschichten ausbilden. Diese Deckschichten bilden die Basis der im Weichsel-Spätglazial entstandenen Flugsanddepressionen (DE GANS & CLEVERINGA 1986).

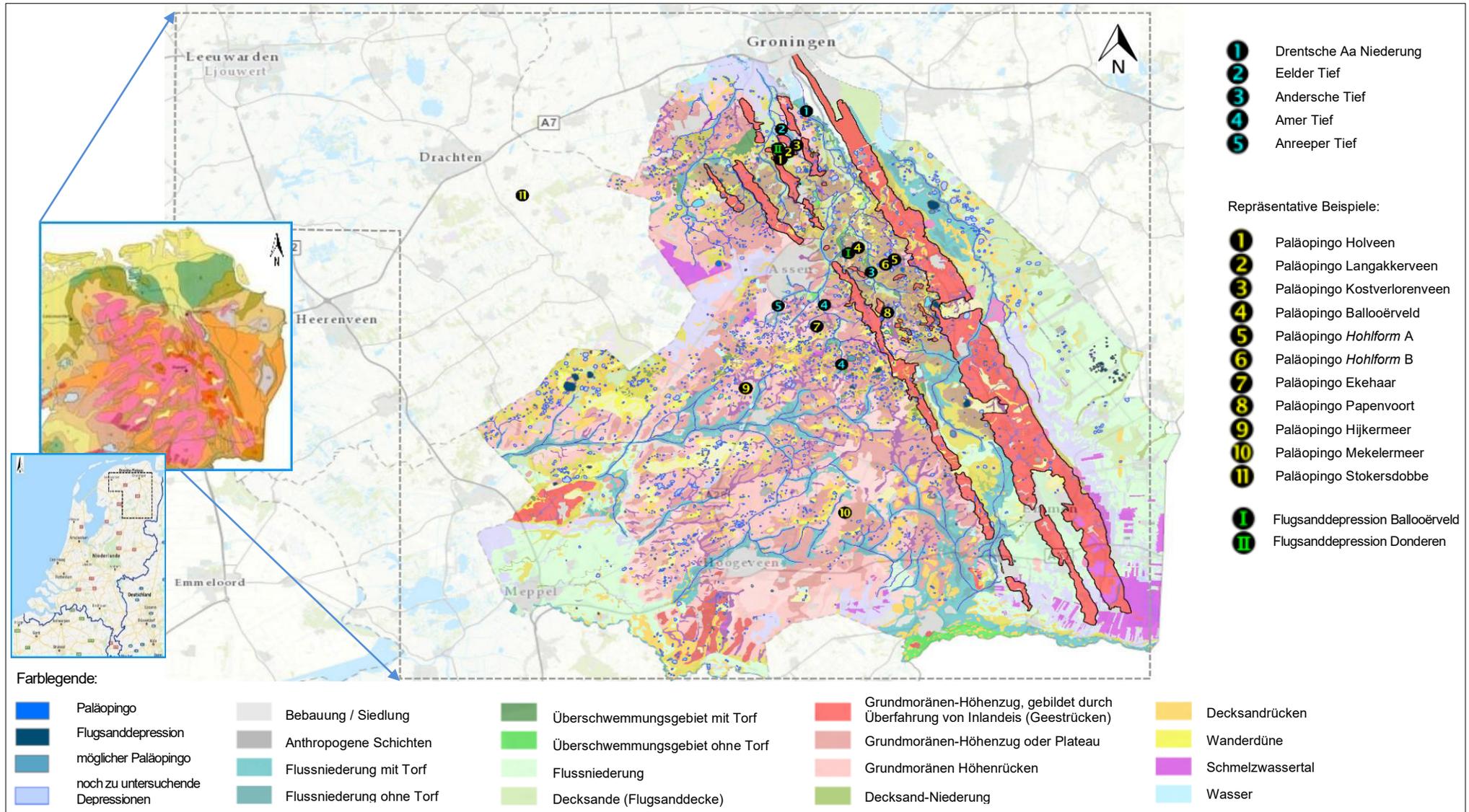


Abbildung 4-1. Ausschnitt des Drenthe Plateaus der Province Drenthe mit Hondsrug-System und repräsentativen Beispielen von wechsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen, Maßstab 1: 450 000, verändert nach Landschaftsbeheer Drenthe (2017). Die Darstellung der Paläopingos und Flugsanddepressionen ist nicht maßstabsgerecht.

#### 4.1.1 Paläopingos

Auf dem Drenthe-Plateau erforschten von den 1950er bis Ende der 1980er Jahren MAARLEVELD & VAN DER TOORN (1955), ZAGWIN & VAN STAALDUINEN (1975), MAARLEVELD (1976), PARIS et al. (1979), DE GANS (1980, 1982), DE GANS & CLEVERINGA (1981, 1986), DE GROOT et al. (1987), DE GANS & SOHL (1981), VAN DER MEULEN (1988) die weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und beschrieben detailliert die geologischen und klimatischen Bedingungen (s. Kap. 4.1).

Anfang der 1950er Jahre wiesen MAARLEVELD & VAN DEN TOORN (1955) erstmalig weichsel-kaltzeitliche Paläopingos mit umschließendem Ringwall und eine nahezu uniforme Form nach. In den 1970er und 1980er Jahren fanden ZAGWIJN & STAALDUINEN (1975), PARIS et al. (1979), DE GANS (1980, 1981, 1982) und DE GANS & CLEVERINGA (1981) heraus, wie die Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau in den damaligen periglazialen Gebieten der Weichsel-Kaltzeit entstanden sind. In weiteren Untersuchungen wurden bis heute das Wissen über Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau, insbesondere aktuell im Zusammenhang mit dem Klimawandel, oder auch im Rahmen einer interdisziplinären Forschung hinsichtlich der Rekonstruktion der ursprünglichen landschaftlichen Umgebung von archäologischen Moorfunden (Moorleichen, hölzerne Fährten), verfeinert (BOHNCKE et al. 1988, DAVIES et al. 2005, DE GANS 2008, HEIRI et al. 2007, KLUIVING et al. 2010, ENGELS et al. 2016, VAN BEEK et al. 2019).

So werden auf dem Drenthe-Plateau mehr als 2 500, morphologisch gut erkennbare, weichsel-kaltzeitliche Paläopingos (s. Abb. 4-1) vermutet, die bis Ende der Mittel-Weichsel (Pleniglazial) in den aktiven ehemaligen Nebentälern des früheren Drentsche Aa Entwässerungssystems, innerhalb der mittel-weichselzeitlichen Aa-Ablagerungen aus gut sortierten Sanden und Kiesen, entstanden sind (DE GANS & CLEVERINGA 1981, DE GANS 1980, 1982, 2008). Eine Übersicht der bislang dokumentierten Paläopingos ist online über Esri Netherland veröffentlicht (LANDSCHAPSBEHEER DRENTHE 2017).

Diese Paläopingos wuchsen während der kältesten Phase der Oberen Mittel-Weichsel (Oberes Pleniglazial) vor ca. 25 000 – 19 000 B.P. im hydraulisch / offenen System unter diskontinuierlichen Permafrostbedingungen (DAVIES et al. 2005).

Der Zerfall der weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos begann auf dem Drenthe-Plateau jedoch nicht zeitgleich, wird aber mit dem Temperaturanstieg zu Beginn des Bölling–Interstadials datiert und war vollständig zum Ende des Bölling–Interstadials abgeschlossen (DAVIES et al. 2005). Nach ihrem Zerfall sind Paläopingos in der Regel mit mehreren Meter mächtigen Schichten aus Torf, Mudde oder Gyttja bis an die Geländeoberfläche verfüllt, sodass nahezu vollständig spätglaziale Sedimente, beginnend mit der Älteren Dryas (ca. 14 000 cal J.v.h) bis

ins frühe Holozän (bis ca. 10 700 cal J.v.h) aufgeschlossen werden (DAVIES et al. 2005). Zudem sind diese organogenen Schichten beispielsweise sehr gut geeignet, die spätglaziale Umwelt anhand von Chironomiden-, Kieselalgen- und Pollenanalysen oder die Umwelt- und Klimaveränderungen kontinuierlich vom späten Pleistozän bis in die Gegenwart zu rekonstruieren (HEIRI et al. 2007, ENGELS et al. 2016).

#### **4.1.2 Flugsanddepressionen**

Flugsanddepressionen wurden im Drenthe-Plateau (Ballooërveld) nachgewiesen und sind rezent, wie die Paläopingos, als runde oder ovale Hohlformen, morphologisch gut sichtbar, ausgebildet. Die Flugsanddepression entstanden im Weichsel-Spätglazial: (14 500 – 11 560 cal J.v.h.) ausschließlich innerhalb der äolischen Flugsanddeckschichten (DE GANS & CLEVERINGA (1986). Sie zeichnen sich durch eine geringe Tiefe von max. 2 m und flachen Wänden (<30° Neigung) aus und unterscheiden sich dadurch deutlich von den Paläopingos.

Die Torfbildung innerhalb der Flugsanddepressionen begann nach DE GANS & CLEVERINGA (1986) im Weichsel-Spätglazial vor 13 000 B.P. und setzte sich bis heute weiter fort, wobei die Phase der maximalen Torfbildung vor ca. 7 000 – 4 000 B.P. (Atlantikum) erfolgte.

#### **4.2 Nordwestdeutschland**

Nordwestdeutschland wurde im Quartär (Mittel- und Oberpleistozän) hauptsächlich von der Elster-Kaltzeit und vom Saale-Komplex geprägt. So überfuhren nachweislich die Gletscher aus Skandinavien (Norwegen, Schweden) kommend Nordwestdeutschland erstmalig in der Elster-Kaltzeit und letztmalig in der Haupt Drenthe des Saale-Komplex. Sie bedeckten die Landoberfläche vollständig mit Inlandeis (HARTUNG 1971, EHLERS 1990, 2021, LITT et al. 2007). Sein Relief wurde jedoch während des Saale-Komplex nachhaltig gestaltet (SEEDORF & MEYER 1992).

In der Weichsel-Kaltzeit erreichten die aus Skandinavien vordringenden Gletscher nicht mehr die Elbe und das niedersächsische Tiefland, so dass Nordwestdeutschland seit der Jüngeren Drenthe des Saale-Komplex bis zum Weichsel-Spätglazial weit außerhalb im periglazialen Gebiet lag und extreme klimatische Bedingungen vorherrschten. Es fanden weiträumige Abtragungs- und Umlagerungsvorgänge statt, die als periglaziale Erosionserscheinungen zu beschreiben sind (HARTUNG 1971, SEEDORF & MEYER 1992). Die Temperaturen schwankten jahreszeitlich, besonders im Sommer und Winter, stark und wiesen große Unterschiede auf.

Die Temperaturen lagen jedoch nahe 0°C und bildeten somit eine dauerhafte Wasserquelle mit geringem Wasservolumen zur Pingogenese. Der Permafrost war geringmächtig und diskontinuierlich ausgebildet. Die Auftauschicht des Permafrostbodens war im Sommer breiartig

ausgebildet und förderte somit das Bodenfließen (Geli-Solifluktion). Sie wird mit maximal 2 m vermutet (EHLERS 1990, SEEDORF & MEYER 1992). Begünstigt durch die spärliche oder gänzlich fehlende Vegetationsdecke, unterlagen die Moränen des Saale-Komplex intensiver Windwirkungen, sodass durch die vorherrschenden Westwinde Sande an der Oberfläche abgetragen wurden und bis zu 10 m mächtige Flugsanddecken und Dünen sedimentierten (SEEDORF & MEYER 1992). Ebenso wurden unter diesen klimatischen Bedingungen die kryogenen, als auch äolischen, Prozesse unterstützt, sodass geomorphologisch Paläopingos und Flugsanddepressionen als Oberflächenformen (s. Kap. 4.2) entstanden (HARTUNG 1971, EHLERS 1990).

So sind für Nordwestdeutschland die pleistozänen Urstromtäler und Niederungen sowie die Grundmoränen-Höhenrücken und Stauchmoränen des Saale-Komplex die geologisch und morphologisch prägenden Einheiten (s. Abb. 4-1). Bereits im Warthe-Stadium des Saale-Komplex begannen die Grundmoränengebiete zu altern, welches sich in der Weichsel-Kaltzeit fortsetzte, und eine flachwellige Altmoränenlandschaft entstehen ließ. Diese Altmoränenlandschaft ist eine der fünf Naturlandschaften in Nordwestdeutschland (HARTUNG 1971, TELLER 2002).

Insbesondere die Grundmoränen-Höhenrücken (Geesthochflächen) des Saale-Komplex bilden die paläohydrologischen Bedingungen für die Genese von Paläopingos und zählen zu den geologisch prägnanten Einheiten (s. Abb. 4-2). Hierzu zählen die

- Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche mit NW-SE Verlauf (1.)
- Vegesacker Geest mit Nord-Verlauf (2.)
- Zeven-Ülzener Geest mit NW-SE-Verlauf (3.)
- Hümmling-Cloppenburg-Syker Geesthochfläche mit Ost-West bzw. NW-SE-Verlauf (4.)
- Hohe Geest mit Ost-West Verlauf (5.).

Mit dem Rückzug des Inlandeises begannen nach der Haupt Drenthe die auf den Geesthochflächen parallel verlaufenden Schmelzwasserrinnen sich nach dem Spaltensystem der zerfallenden Eisrandloben auszuprägen (HARTUNG 1971).

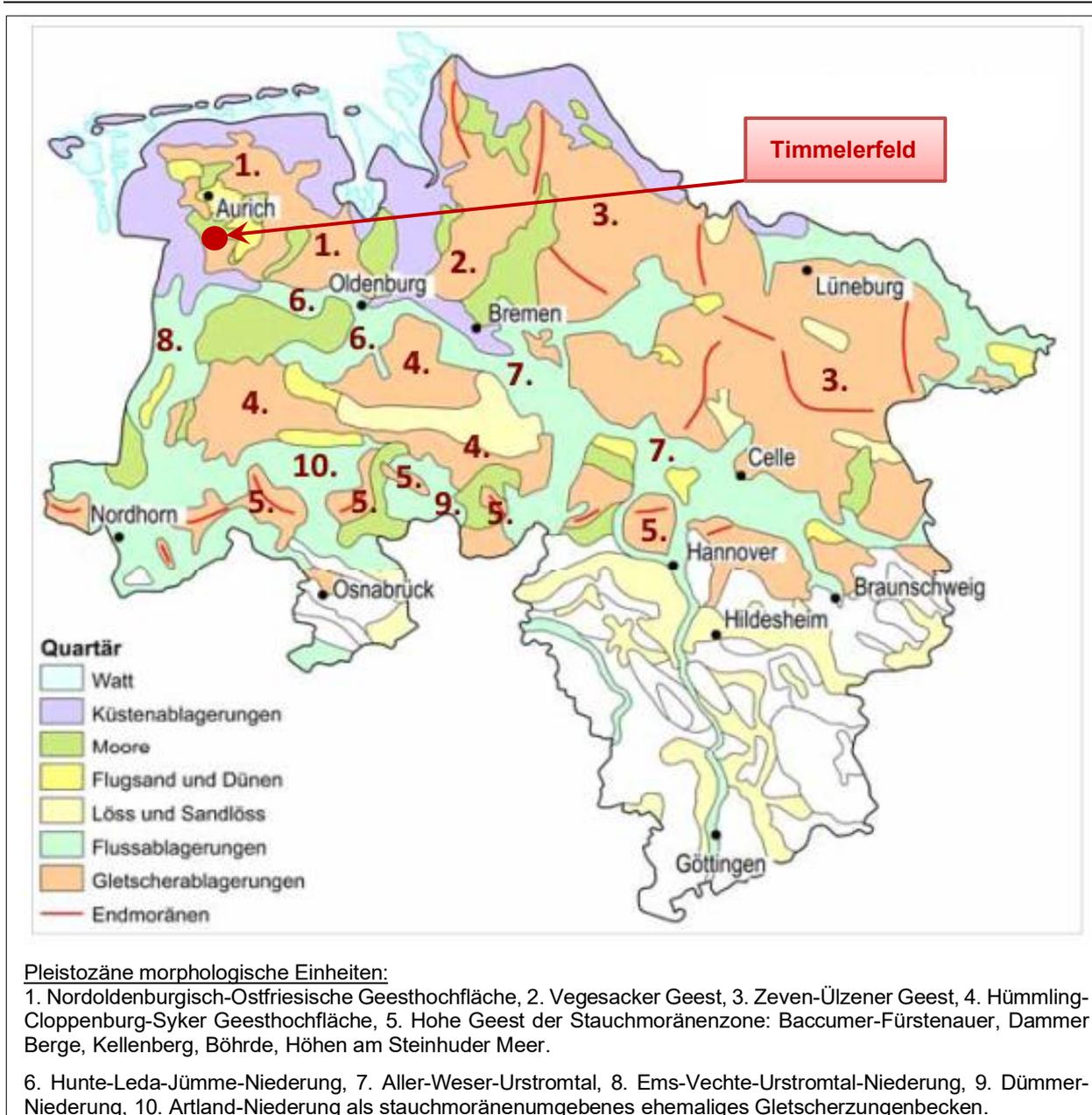
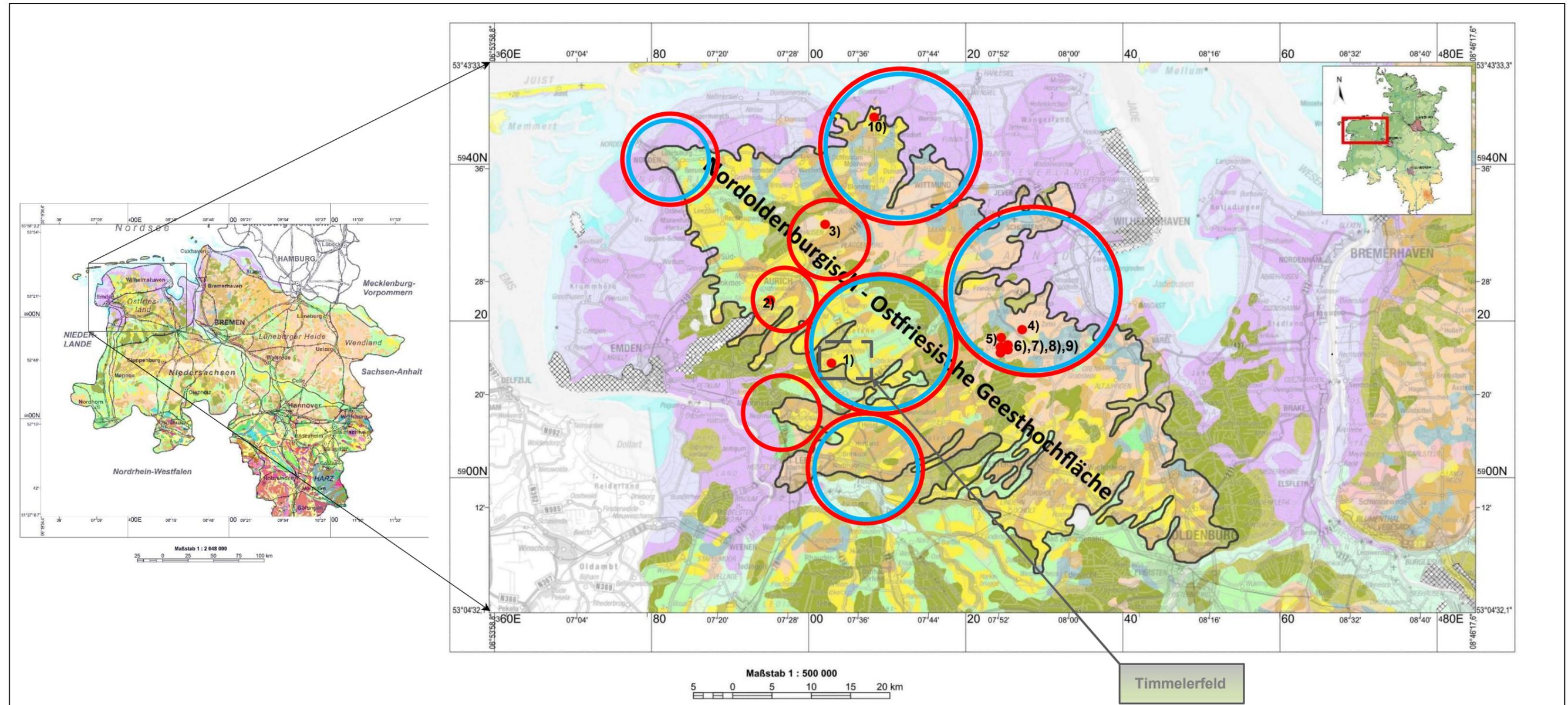


Abbildung 4-2. Quartärgeologische Übersicht Nordwestdeutschland: Pleistozäne morphologische Einheiten, nicht maßstablich, bearbeitet nach HEUNISCH et al. (2017)

#### 4.2.1 Geomorphologie und Geologie in Ostfriesland

In Ostfriesland ist die nach NW-SE-gerichtete flachwellige Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche die geologisch und morphologisch markante Einheit (HARTUNG 1971).

So ist die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche selbst ein Grundmoränenrücken aus tonigen, sandigen und kiesigen Schluffen, welcher in der Haupt Drenthe des Saale-Komplex entstand. Mit dem Rückzug des Inlandeises am Ende der Haupt Drenthe wurde die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche allmählich eisfrei und unterlag klimatogenen sowie periglazialen Prozessen.



**Farblegende:**

- Holozän/Feinsand/Schluff/Ton/Wattablagerung
- Holozän/Schluff/tonig/Brackwasserablagerung
- Holozän/Torf//Hochmoor
- Holozän/Torf, z. T. Mudde//Niedermoor, z. T. Seeablagerungen
- Weichsel-Kaltzeit/Sand//Flugsand
- Weichsel-Kaltzeit/Sand, Kies//Flussablagerungen der Niederterrasse
- Drenthe-Stadium, Saale-Komplex/Schluff/tonig/sandig/kiesig/Grundmoräne (Mg, Lg)
- Drenthe-Stadium, Saale-Komplex/Sand, Kies/Schmelzwasserablagerung
- Elster-Kaltzeit/Schluff bis Ton/Beckenablagerung (Lauenburger Ton)

**Legende:**

- Gebiete mit möglichen Paläopingos (GARLEFF 1968):
  - Norden**, südlich: Berumerfehn und Leezdorf (8)
  - Esens/Wittmund**: an B210 (1), südlich Esens, Neuschoo, Donum (11), Leerhufe (1)
  - Entlang B72**: Holtrop, nördlich Bagband u. Strackholt an B436
  - Wiesmoor**: südlich Friedeburg, Wiesede, Etzel, Zetel (22)
  - Leer/Hesel**: bei Völlen (5), Steenfelde an B70 (1)
  - Aurich**: westlich Westerende-Krichloog (2)
  - Dietrichsfeld und Plaggenburg**: südlich an B210 (3)
  - Oldersum**: (1)
- Gebiete mit möglichen Flugsanddepressionen (GARLEFF 1968):
  - Norden**, östlich: Großheide, Menstede-Coldinne, Berumbur (26)
  - Esens/Wittmund**: nördlich Esens (2), Ostochtersum, Westholt, Neuschoo, Brill, Blomburg (35), entlang B 210 nach Aurich (27)
  - Entlang B72**: Kirchdorf, Schirum, Holtrop, Timmelerfeld Westgroßefehn, Streckelkamperfehn (31), Aurich-Oldendorf (4), Ostgroßefehn (5)
  - Wiesmoor**: Ortschaften Wiesede, Wiesederfehn, Wiesedermeer, Friedeburg (41)
  - Leer/Hesel**: Entlang B75: südlich Hesel, Holtland, Logabirum, Weener, Bunde (38), Stapelmoor (7), südl. Flachsmeer (2), südwestl. u. südl. Langholt (7)
  - Remels**: westlich Neudorf (9), bei Schwerinsdorf (4), Remels (10), Poghausen (3), Dose (7), Leerhufe (11) und Reepsholt (2)
- Rote Punkte:** Nachgewiesene Paläopingos:
  - 1) Frauenmeer, Timmelerfeld (WILDVANG (1928, 1938), GARLEFF (1968), MEYER & MERKT (1995))
  - 2) Doove-Meer bei Aurich (FREUND 1995)
  - 3) Dietrichsfeld (HEINZE et al. 2014)
  - 4) Kielstraat, sd. Friedeburg (SMIDT et al. 2017)
  - 5) Randweg-Süd, sd. Friedeburg (SMIDT et al. 2017)
  - 6) Junkeremoor, sd. Friedeburg (SMIDT et al. 2017)
  - 7) Spolsener Moor-Nord, sd. Friedeburg (SMIDT et al. 2017)
  - 8) Spolsener Moor-Süd, sd. Friedeburg (SMIDT et al. 2017)
  - 9) Fuhrenkämper Graben, sd. Friedeburg (SMIDT et al. 2017)
  - 10) Esens-Nordorf (WOLTERS 2023)

Abbildung 4-3. Quartärgeologische Übersicht von Ostfriesland mit nachgewiesenen sowie möglichen Paläopingos und Flugsanddepressionen; Kartengrundlage: NIBIS®Kartenserver, copyright@LBEG Geozentrum Hannover

Schmelzwässer formten in dieser Zeit zudem die Entwässerungsrinnen auf der Geesthochfläche maßgeblich, welche auffallend parallel angeordnet waren und von Nordosten nach Südwesten verliefen (HARTUNG 1971, EHLERS 1990). Ebenso wiesen die Entwässerungsrinnen eine überwiegend wannenartige Ausbildung auf, deren Rinnen selbst heute vermoorte Niederungen auf den Geesthochflächen darstellen (s. Abb. 4-3).

Ebenso sind mit den Seitenbereichen der Geesthochfläche die topographischen Gradienten gegeben, welche das durch die Entwässerungsrinnen fließende Sicker- und Grundwasser unter hydraulischen Druck setzen. Dieser topographische Gradient ist eine zwingende Voraussetzung, um über die Entwässerungssysteme ein stets ausreichendes Wasserdargebot zu liefern und damit Paläopingos im hydraulisch / offenen System (s. a. Kriterium „Genese“) entstehen zu lassen (s. Abb. 4-3). Die perlenschnurartige Aufreihung von Paläopingos entlang dieser Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex ist als einen Hinweis zu deuten, dass die Pingogenese in diesem Bereich tatsächlich begünstigt wird. Bis heute stellt die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche mit seinen Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex ein dominantes hydrologisches System dar, über welches das Grundwasser hauptsächlich entwässert wird (s. Abb. 4-4).

Das Timmelerfeld liegt direkt an der Westseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche und befindet sich somit in deren unmittelbaren Einflussbereich (s. Abb. 4-3). Oberflächennah bilden weichsel-kaltzeitliche Sande und Flugsande sowie Kiese die geologisch jüngste Einheit. Insbesondere an der Westseite der Geesthochfläche sind die Flugsande flächendeckend als Deckschichten ausgebildet und überlagern hier die Grundmoräne des Drenthe Stadiums (Haupt Drenthe). Weiter nach Nordwesten schließen sich die Flugsanddecken und die weichsel-kaltzeitlichen Sande und Kiese an, welche nach LBEG die Flussablagerungen der Niederterrassen dokumentieren (s. Abb. 4-3). Auf der Südwestseite der Geesthochfläche steht die Grundmoräne des Saale-Komplex oberflächennah an und ist hier als toniger, sandiger und kiesiger Schluff ausgebildet. Nur punktuell wird die Grundmoräne von den weichsel-kaltzeitlichen Flugsanden überlagert (s. Abb. 4-3).

An der gesamten Ostseite der Geesthochfläche stehen an der Oberfläche Schmelzwasserablagerungen aus Sanden und Kiesen des Drenthe-Stadiums (Haupt Drenthe) an, welche nur vereinzelt im Nord- sowie Südosten der Hochfläche von den weichsel-kaltzeitlichen Flugsanden überlagert werden. Am äußeren Randbereich der Ostseite sind vereinzelt die elster-kaltzeitlichen Beckenablagerungen aus Schluffen und Tonen (Lauenburger Ton) an der Geländeoberfläche aufgeschlossen (s. Abb. 4-3).

Die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche verläuft geographisch von der Stadt Oldenburg bis zur Stadt Norden (HARTUNG 1971). Ebenso weist der Höhenrücken einen flachen Scheitel auf, der zugleich die Längsachse darstellt. Entlang dieser Längsachse liegen die „ostfriesischen Zentralmoore“ (HAGEN 1999). Die Geesthochfläche flacht an den Randbereichen ab und gliedert sich in fingerartig geformten Loben auf (s. Abb. 4-3). Das Timmelfeld liegt direkt im Bereich eines solchen fingerartigen Lobus an der Westseite der Geest-Hochfläche (s. Abb. 4-3).

#### 4.2.2 Paläopingos und Flugsanddepressionen in Ostfriesland

Ende der 1960er Jahre untersuchte GARLEFF (1968) erstmalig weichsel-kaltzeitlich entstandene Paläopingos in Ostfriesland. Er katalogisierte auf der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen-Geesthochfläche flächendeckend nach rein geomorphologischen Kriterien weichsel-kaltzeitliche Paläopingos (kryogene Kave) und Flugsanddepressionen (äolische Kaven) und stellte ihre Verbreitung erstmalig in einer Übersichtskarte zusammen. Er beschrieb weiterhin, dass die Paläopingos und Flugsanddepressionen hier fast ausschließlich innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken vorkommen. Zudem treten Paläopingos und Flugsanddepressionen in direkter Nachbarschaft auf.

So kartierte GARLEFF (1968) folgende Gebiete mit möglichen Paläopingos auf der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen-Geesthochfläche in Ostfriesland aus (s. Abb. 4-3):

- **Norden, südlich:** Berumerfehn und Leezdorf (8),
- **Esens/Wittmund:** südlich Esens, Neuschoo, Donum (11), westlich B 210 (1), Leerhafe (1),
- **Entlang B 72:** Holtrop (2), nördl. Bagband u. Strackholt an B 436 (4), Aurich-Oldendorf (1),
- **Wiesmoor:** südlich Friedeburg, Wiesede, Etsel, Zetel (22),
- **Leer/Hesel:** bei Völlen (5), Steenfelde an B 70 (1),
- **Aurich:** Doove-Meer, (s. Kap. 5.2.1) westlich Westerende-Krichloog (2), Frauenmeer b. Timmel (s. Kap. 5.2.6),
- **Dietrichsfeld/Plaggenburg:** südlich Plaggenburg an B 210 (2), Dietrichsfeld (1),
- **Oldersum:** nordöstlich gelegen (1).

In den folgenden Gebieten sind nach GARLEFF (1968) eine deutliche Anhäufung von möglichen Flugsanddepressionen innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken auf der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen-Geesthochfläche in Ostfriesland zu erkennen (s. Abb. 4-3):

- **Norden, östlich:** Ortschaften Großheide, Menstede-Coldinne und Berumbur (26)
- **Esens/Wittmund:** nördlich Esens (2), südwestlich Ostochtersum, Westholt, Neuschoo, Brill und Blomburg (35), entlang der B 210 von Wittmund nach Aurich (27).



Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche und befindet sich im Einflussbereich der Wasserscheide Nordsee und Ems (s. Abb. 4-4). Kennzeichnend für das Timmelfeld ist die intensive anthropogene Nutzung in Form von Landwirtschaft (s. Kap. 6.1) und eines weitverzweigten künstlichen Entwässerungssystems. So wird das Timmelfeld großräumig von z. T. parallellaufenden Kanälen, Gräben und Tiefs geradezu umschlossen (s. Abb. 4-5).

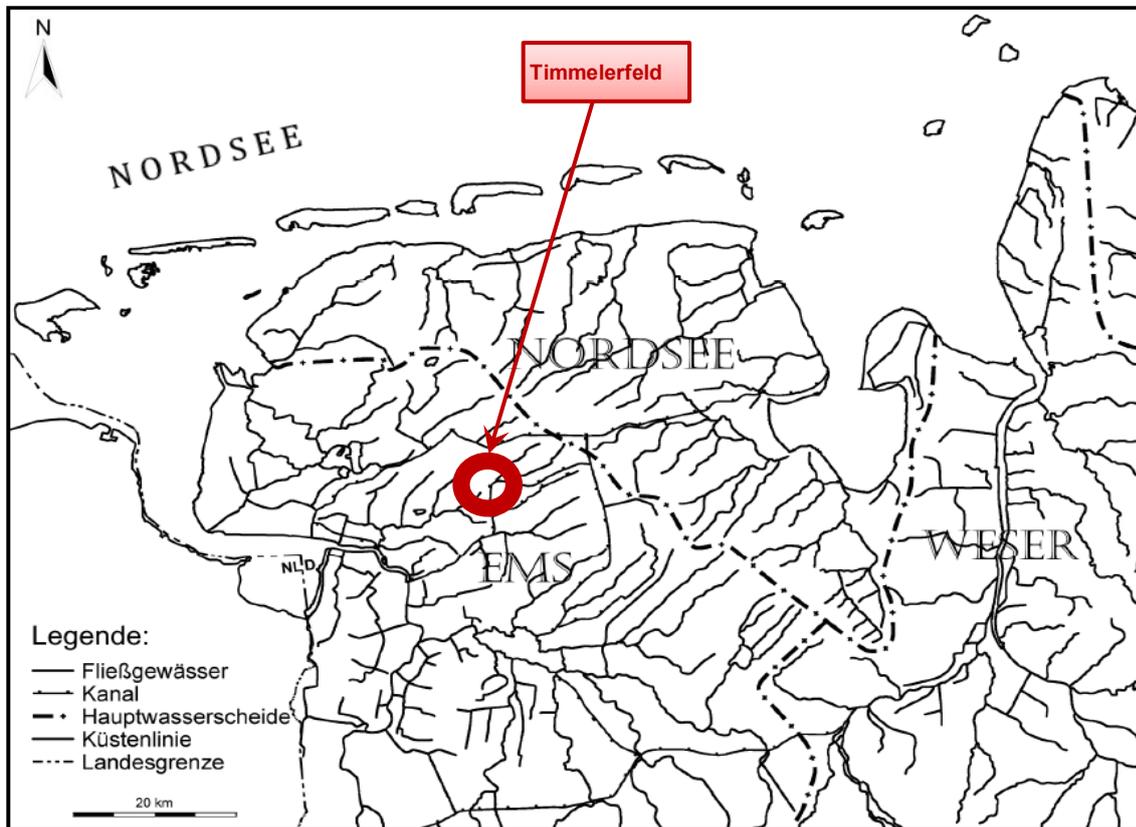


Abbildung 4-4. Regionale Wasserscheiden und Gewässer in Ostfriesland und Timmelfeld, verändert nach HAGEN (2010)

Die nächstgelegenen Vorfluter sind als dominierende regionale Entwässerungssysteme im Norden der Großfehnkanal mit 17 km Länge (1),  
 Süden das Timmeler Tief, Bagbänder Tief und Spetzerfehn-Kanal, welcher durch einen Stichgraben mit dem Sauteler Kanal verbunden ist (2),  
 Osten der Sauteler Kanal (3) und  
 Westen das Fehntjer Tief (nördl. Arm und südl. Arm) (4).

Der Bau des Sauteler Kanals erfolgte in 1977/1978 (frdl. mdl. Mitteilung vom Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, LGLN Aurich 2010), um die Entwässerung im Timmelfeld weiter zu optimieren. Auch die untersuchten sechs Hohlformen im Timmelfeld sind von diesen künstlichen Entwässerungssystemen stark beeinflusst und werden von kleinen Gräben nahezu vollständig umschlossen, sogar regelrecht durchschnitten (s. Abb.en 7-1 bis 7-5).

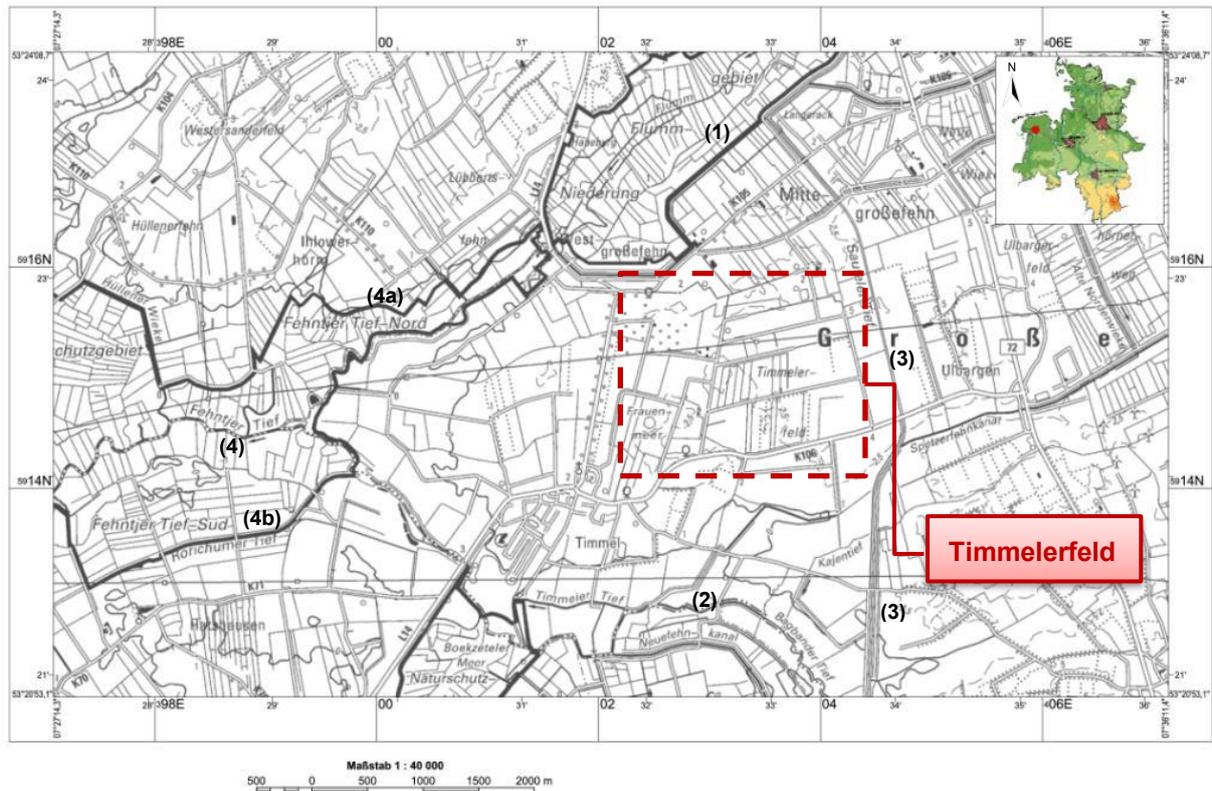


Abbildung 4-5. Dominierende regionale Entwässerungssysteme (1 – 4) in der Umgebung des Timpelerfeldes; Quelle: NIBIS@Kartenserver, copyright @ LBEG Geozentrum Hannover

#### 4.2.4 Eigenes Untersuchungsgebiet Timpelerfeld

Für das Timpelerfeld und seiner näheren Umgebung ist in Übereinstimmung mit dem geologischen Schnitt S1(GE) „Untere Ems Lockergestein rechts“ nach LBEG (2007) folgender Untergrundaufbau abzuleiten (s. Abb. 4-6):

Die quartäre Basis in ca. -42 mNN bilden demnach glazifluviale Sande und Kiese der Elster-Kaltzeit (qe//gf). Tertiäre Tone bzw. Schluffe (tp/T-U) und Sande (tp/S/) des Pliozäns folgen unterhalb der Quartärbasis und stehen bis ca. -95 mNN an.

Die elster-kaltzeitlich angelegten Rinnen sind gut zu erkennen und weisen unterschiedliche Tiefen auf, die im Bereich des Timpelerfeldes von ca. -7 m bis -25 mNN liegen. Die Rinnen sind mit Lauenburger Ton gefüllt, welcher sich aus gut sortierten Tonen und Schluffen zusammensetzt. Westlich des Timpelerfeldes stehen örtlich begrenzt in einer Tiefe von 5 – 10 mNN ca. 5 m mächtige glazifluviale Sande/Kiese des Drenthe Stadiums (qD//gf) über dem Lauenburger Ton an.

Im Hangenden überlagern nahezu konkordant in variierenden Mächtigkeiten von ca. 5 bis 15 m der Geschiebelehm und -mergel des Drenthe-Stadiums (qD//Lg, Mg), der weiter im Westen abrupt in Höhe der Westseite der elster-kaltzeitlichen Rinne endet.

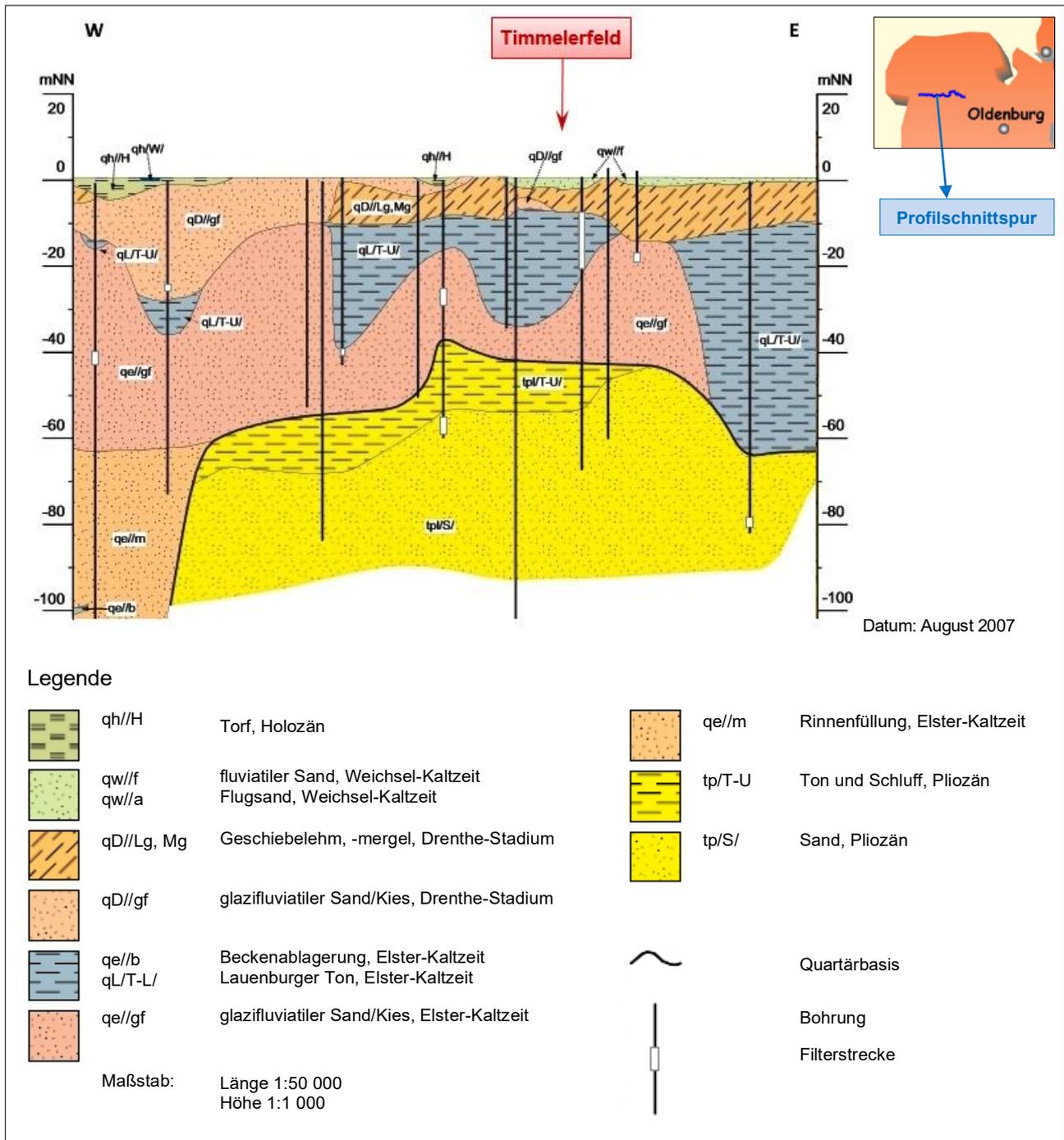


Abbildung 4-6. Auszug aus dem Geologischen Schnitt S1(GE) „Untere Ems Lockergestein rechts“, verändert; Quelle: NIBIS®Kartenserver, copyright @ LBEG Geozentrum Hannover 2007

So ist die Grundmoräne (qD/gm) im unmittelbaren Bereich der untersuchten Hohlformen als sandiger, kiesiger, und steiniger, z.T. schwach toniger, Geschiebelehm und –mergel ausgebildet. Ebenso ist die Grundmoräne hier sehr unterschiedlich mächtig und bildet die dominierende geologische Einheit in diesem Bereich (s. Abb.en 7-15 bis 7-20). Der Geschiebelehm wurde in unterschiedlichen Tiefen erbohrt, die zwischen 0,2 m (Ostermoor) bzw. 0,3 m NN (Pultermoor, Erlenstraße) und maximal -6 m NN (Osterweide) liegen. Ebenso weist er unterschiedliche Mächtigkeiten auf, welche von min. 0,8 m (-3,6 mNN, Kolk) bis max. 7 m

(-7,8 mNN, Osterweide) variieren. Der unterlagernde Geschiebemergel ist hingegen deutlich mächtiger ausgebildet, seine Endtiefe wurde in keinen der Bohrungen erfasst. Im Geschiebelehm sowie im Geschiebemergel sind vereinzelt cm- bis dm-mächtige Linsen aus Feinsanden und Mittelsanden eingeschlossen, die in den Bohrungen Ostermoor, Erlenstraße und Osterweide erfasst werden (s. Abb.en 7-16, 7-18 und 7-19). Im Bereich der Hohlform Kolk wies der Geschiebelehm auch Linsen aus sandigen Kiesen auf (Bohrung HF3-B15).

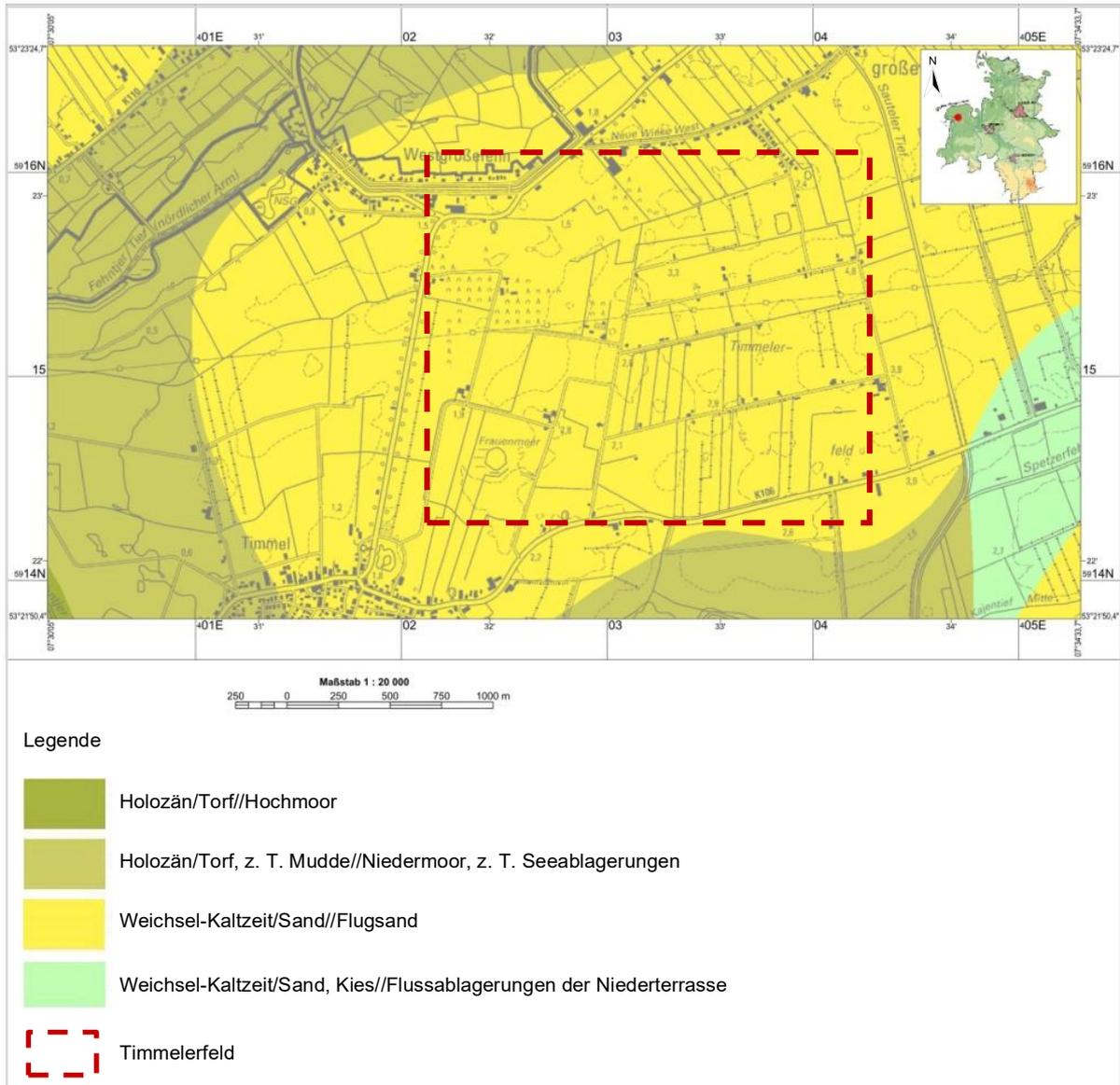


Abbildung 4-7. Geologische Karte vom Timmelfeld; Quelle: NIBIS@Kartenserver, copyright @ LBEG Geozentrum Hannover

Die erbohrten Schmelzwasserrinnen des Saale-Komplex sind im Bereich von Osterweide und ca. 20 m nördlich von Ostermoor mit Durchmessern von 276 m (Osterweide) und 118 m (Ostermoor) in der Grundmoräne der Haupt Drenthe eingeschnitten, die mit eemzeitlichen Sedimenten verfüllt sind (s. Kap. 7.3.2 u. 7.3.5). Beide Rinnen belegen, dass Rinnenstrukturen aus dieser Zeit im Timmelfeld vorliegen und somit die paläohydrologische Basis zur Pingo-Genese im hydraulisch / offenem System möglich war (s. Kap. 4.2).

Als jüngste geologische Einheit sedimentierten bis zu 3 m mächtige weichsel-kaltzeitliche fluviatile Sande und Flugsande, welche nach Westen hin auskeilen (s. Abb. 4-7). Diese Flugsande sind im Timmelfeld flächendeckend ausgebildet und überlagern als Flugsanddecken die Grundmoräne des Saale-Komplex (Abb. 4-7).

Weiterhin stehen im Timmelfeld oberflächennah holozäne Torfe und Mudden an, die nördlich in Richtung Fehntjer Tief und westlich sowie südlich der Ortschaft Timmel erbohrt wurden (s. Abb. 4-5). Die Senken und Kolke sind heute im Timmelfeld wasserführend (Frauenmeer: ca. 4 m Wassersäule) und vermoort (s. Kap. 5.2.6). Nach WILDVANG (1935) sind die vermoorten Hohlformen im Timmelfeld überwiegend als Flachmoore bzw. Niedermoore ausgebildet.

## **5 Repräsentative Beispiele aus der Fachliteratur**

Für die Entwicklung des Leitfadens wurden repräsentative Literaturbeispiele von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen für das Drenthe-Plateau (11) und Ostfriesland (3) ausgewählt, um anhand dieser Beispiele die Voraussetzungen und Kriterien herauszuarbeiten und zu beschreiben. Die Beispiele wurden gewählt, da diese hinsichtlich des geologischen Aufbaus und der paläoklimatischen Bedingungen detailliert erforscht wurden.

Für das Drenthe-Plateau sind es vor allen die Forschungen von PARIS et al. (1979) und zu Beginn der 1980er Jahre von DE GANS & SOHL (1981), DE GANS (1982) und DE GANS & CLEVERINGA (1986). Bisher haben nur DE GANS & CLEVERINGA (1986) exemplarisch die eine Flugsanddepression im Ballooërveld beschrieben, die aus diesem Grund als repräsentatives Beispiel für eine weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepression genommen wurde.

In Ostfriesland sind es insbesondere die Studien von GARLEFF (1968) und die Arbeiten von MEYER & MERKT (1995) und FREUND (1995) sowie in den 2010er und 2020er Jahren die Untersuchungen von HEINZE et al. (2012, 2014), SMIDT et al. (2017) und WOLTERS (2023).

### **5.1 Ausgewählte Beispiele für das Drenthe-Plateau**

#### **5.1.1 Stokersdobbe (PARIS et al. 1979)**

Der Paläopingo Stokersdobbe (H: 5882537,56; R: 2511808,82) befindet sich im westlichen Randgebiet des Drenthe-Plateaus, ca. 6 km südöstlich von der Stadt Drachten in der Flussniederung Alddijp (Boorne), s. Abb. 4-1. Das Gewässer Alddijp (ehemals Boorne) als nächst gelegene Vorflut ist ca. 1 km entfernt.

Heute ist Stokersdobbe als trocken gefallene und abflusslose Hohlform mit fast vollständigem Baumbewuchs und Schilf morphologisch gut zu erkennen. Sie zeigt eine ovale Form mit

einem mittleren Durchmesser von 100 m und einer mittleren Tiefe von 8 m auf (Abb. 5-1). Der Paläopingo selbst wird von mächtigen Tillschichten der Drenthe-Formation (Saale-Komplex) umgeben, die von gut sortierten fluviatilen und äolischen Feinsanden der Boxtel-Formation des Saale-Komplex unterlagert werden (s. Abb. 5-1).

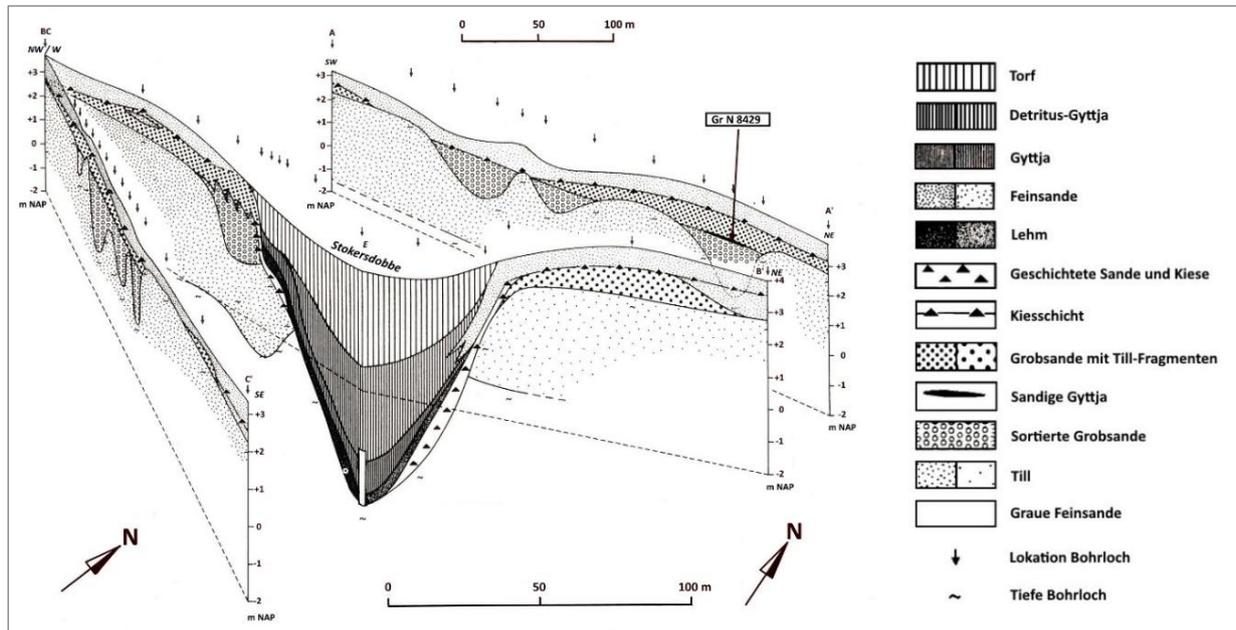


Abbildung 5-1. Geologische Profilschnitte: B/B' (W-E-NE) Stokersdobbe, A/A' und C/C' nördl. u. süd. Stokersdobbe, verändert nach PARIS et al. (1979).

Die Basis des Paläopingos bilden ca. 50 cm dicke Lehmschichten aus dem Bølling-Interstadial, nach Paris et al. stratigraphisch die ältesten Ablagerungen. Bis zu 50 cm mächtige Schichten aus Sanden und Kiesen wurden an den Wänden des Paläopingos auskartiert. (s. Abb. 5-1).

Des Weiteren ist der Paläopingo nahezu vollständig mit ca. 7 m mächtigen organogenen Ablagerungen verfüllt. Im unteren Teil dieser organogenen Ablagerungen wurde ein ca. 1 m mächtiger Horizont aus Gyttja erbohrt, welche allmählich in eine 3 m mächtige Detritusgyttja mit dünnen Torflagen übergeht und eine insgesamt 4 m mächtige Gyttjaschicht entstehen ließen. Die Gyttjaschicht im Tiefenbereich von 592 – 555 cm wurde ins Bølling-Interstadial datiert. Weiter im Hangenden überlagern ca. 3 m mächtige Torfschichten die Gyttjaschicht und bildeten den oberen Bereich dieser organischen Ablagerung (s. Abb. 5-1).

Die Wände haben eine „steile“ Neigung von ca. 75° und zeigen damit einen trichterförmigen Formtyp für den Paläopingo an.

Ein Ringwall von rd. 70 m Breite und ca. 1 – 2 m Höhe umgibt den Paläopingo Stokersdobbe. Dieser wird von nicht zu stratifizierbaren Grobsanden, gemischt mit Tillfragmenten, aufgebaut, die Paris et al. als gelifluktive Ablagerungen interpretierten (s. Abb. 5-1). Im oberen Rand des Ringwalls befindet sich ein Kiesband, welches nach Auffassung von Paris et al. nach

dem Schmelzen des Eiskerns und des einhergehenden Pingozerfalls entstand und der Ringwall anschließend erodierte. Geringmächtige Schichten aus gut sortierten Feinsanden der weichsel-kaltzeitlichen Boxtel-Formation überlagern den Ringwall und bilden hier die Deckschichten von Stokersdobbe.

Nach PARIS et al. (1979) befand sich Stokersdobbe im ehemaligen Nebental des Borne-Tiefs (heute Alddijp), welches eine Hangneigung von weniger als  $1^\circ$  aufwies und für die Pingogenese die paläo-hydrologische Voraussetzung bildet. Den Zerfall des Pingos stufen Paris et al. anhand der Pollenanalyse und Radiokarbondatierung in den Zeitraum von 18 000 bis 13 000 B.P., das Wachstum in die Brandenburger Phase des Weichsel-Spätglazials.

Auf dem Luftbild sind weitere wasserführende Hohlformen in einigen Kilometern Entfernung zu erkennen, welche möglicherweise als Paläopingos einzustufen sind (s. ©Google-Earth). Bislang sind keine Studien über diese Hohlformen bekannt.

### **5.1.2 Holveen, Langakerveen, Kostverlorenveen (DE GANS 1982)**

Im „*Elder Tief*“, ca. 1 km nördlich des Dorfes Donderen, befinden sich die Paläopingos Holveen (H: 5885970,37; R: 2536388,21), Langakerveen (H: 5886157,50; R: 2536483,37) und Kostverlorenveen (H: 5886351,15; R: 2536672,57), Abb. 5-1. Die drei Paläopingos weisen eine ovale Form mit einem mittleren Durchmesser von 100 – 150 m sowie Tiefen von 3,5 (gering) – 6 m (mittel) auf (s. Abb. 5-2). In engerer Nachbarschaft liegen nach DE GANS (1982) die Paläopingos Langwandveen und Bliëblie sowie die Flugsanddepression Donderen, welche er jedoch hinsichtlich ihrer Genese und Eigenschaften nicht näher beschreibt. Die Paläopingos Kostverlorenveen, Langakerveen und Holveen liegen an der Ostseite des „*Rolde-Rückens*“ und sind wie an einer Perlenschnur aufgereiht (s. Abb. 5-2).

Gegenwärtig sind die drei Paläopingos wasserführende Brachflächen mit Baumbewuchs. Sie sind topographisch als gut erkennbare Hohlformen ausgebildet und nahezu vollständig mit Gytija und Torf aufgefüllt, deren Mächtigkeiten zwischen 3,5 und 5 m variieren. Laut DE GANS (1982) bildet Gytija mit eingeschalteten dünnen Torflagen in Holveen und Langakerveen die Basis, während die oberen Bereiche der organischen Auffüllungen aus Torf bestehen. In Kostverlorenveen hingegen unterlagert eine ca. 1 m mächtige Schicht aus unsortierten Sanden mit Kiesen die organischen Auffüllungen und bildet hier die Basis (s. Abb. 5-2).

Alle drei Paläopingos weisen nach de Gans gut ausgebildete, jedoch schmale Ringwälle (40 – 75 m Breite) mit unterschiedlichen Höhen (0,5 – 1,4 m) auf, s. Abb. 5-2. Diese Ringwälle bestehen aus gut sortierten Sanden mit Kiesen, die von äolischen Deckschichten aus ebenfalls gut sortierten Sanden überlagert werden. Die Wände der Paläopingos sind mit einer Neigung von ca.  $50 - 60^\circ$  „relativ steil“ ausgebildet und zeigen somit einen trichterförmigen Formtyp.

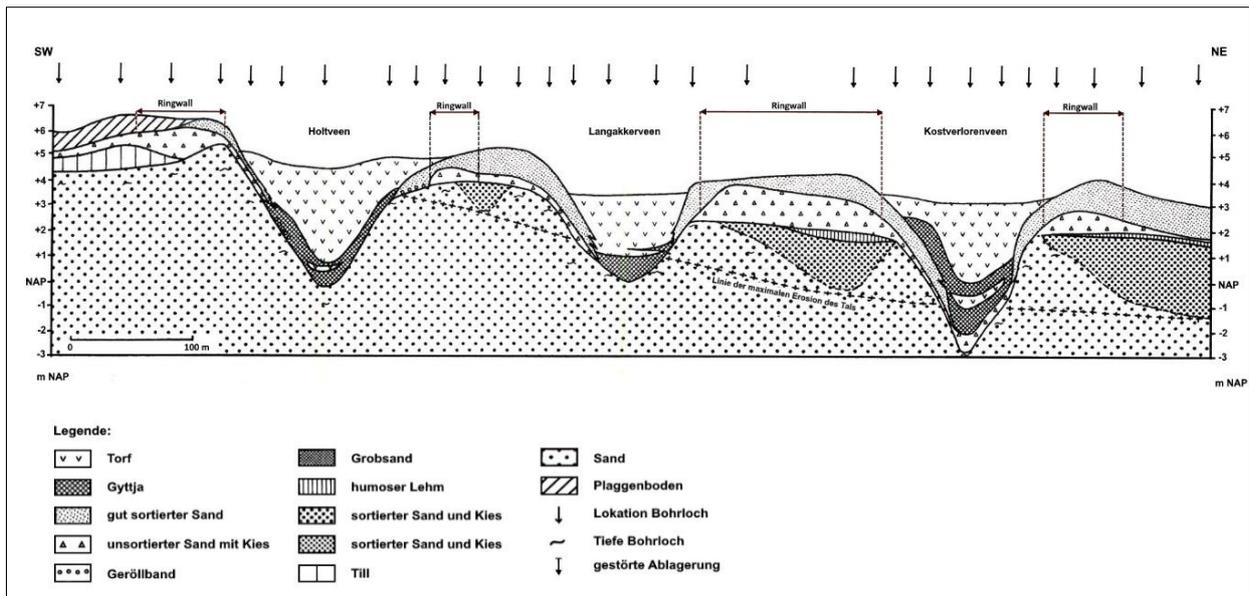


Abbildung 5-2. Geologischer Profilschnitt (SW-NE) Holveen, Langakerveen und Kostverlorenveen, verändert nach DE GANS (1982)

Die drei Paläopingos lagen oberstromig im östlichen Rand des ehemaligen Nebentals des Eelder Tiefs, das nach de Gans der nördliche Rand des weit verzweigten ehemaligen Entwässerungssystems im *Drentsche Aa* war (s. Abb. 5-2). Dieses Nebental wies eine leichte Hangneigung von  $< 0,5^\circ$  nach Osten auf und bildet somit für die Pingogenese die paläo-hydrologische Voraussetzung. Die drei Paläopingos sind im hydraulisch / offenen System mit diskontinuierlichem Permafrost entstanden (DAVIES et al. 2005).

Die Paläopingos Holveen, Langakerveen und Kostverlorenveen im Donderen Gebiet entstanden zwischen 25 000 – 19 000 B.P. des Oberen Pleniglazial während der Phase extremer Abkühlung. Der Zerfall begann zu Beginn des Bölling-Interstadials und war innerhalb dieser Warmphase abgeschlossen (DAVIES et al. 2005). Die Verfüllung mit Gytja und Torf begann erst nach vollständigem Schmelzen des Eiskernes (DE GANS 1982).

### 5.1.3 Papenvoort (DE GANS 1982)

Der Paläopingo Papenvoort (H: 5869787,56; R: 2546497,26) liegt ca. 1 km nordwestlich des Dorfes Papenvoort im oberstromigen Bereich des ehemaligen Nebentals des Andersche Tiefs, welches eine leichte Hangneigung von ( $< 0,5^\circ$ ) nach Westen aufwies. Der Paläopingo ist an der Westseite des „Hondsrug“ lokalisiert (s. Abb. 4-1).

Rezent ist Papenvoort eine wasserführende Hohlform (See mit umgebender Brachfläche) und topographisch als solche gut zu erkennen. Sie zeigt eine ovale Form und weist einen mittleren Durchmesser von 100 m mit einer mittleren Tiefe von 7 m auf. Der Paläopingo ist mit ca. 3 m mächtigen Torf und ca. 2 m mächtigen Gytja verfüllt, die eine insgesamt 5 m mächtige Schicht aus organogenen Ablagerungen bilden.

Die Basis des Paläopingos bildet eine ca. 1 m dicke Schicht aus unsortierten Sanden mit Kiesen. Eine ca. 2 m dicke Schicht aus unsortierten Ablagerungen ist oberflächennah ausgebildet, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit als anthropogene Auffüllungen zu interpretieren ist (s. Abb. 5-3). Ablagerungen aus unsortierten Sanden mit Kiesen umranden Papenvoort, die DE GANS (1982) als Ringwall mit wechselnder Höhe zwischen 1 und 1,4 m interpretierte. Ebenfalls ist der Ringwall mit einer Breite von ca. 75 m schmal ausgeprägt. Wie die drei Paläopingos Holveen, Langakerveen und Kostverlorenveen in der *Drentsche Aa* Niederung, bilden auch hier äolische Schichten aus gut sortierten Sanden im Bereich des Ringwalls die Deckschichten, in denen Kiesbänder eingelagert sind (s. Abb. 5-3). De Gans vermutet, dass diese Kiesbänder nach dem Schmelzen des Eiskerns während des Pingozerfalls entstanden und anschließend erodiert wurden. Die Wände sind mit ca. 75° steil ausgebildet und geben dem Paläopingo in seiner Geometrie eine trichterförmige Form.

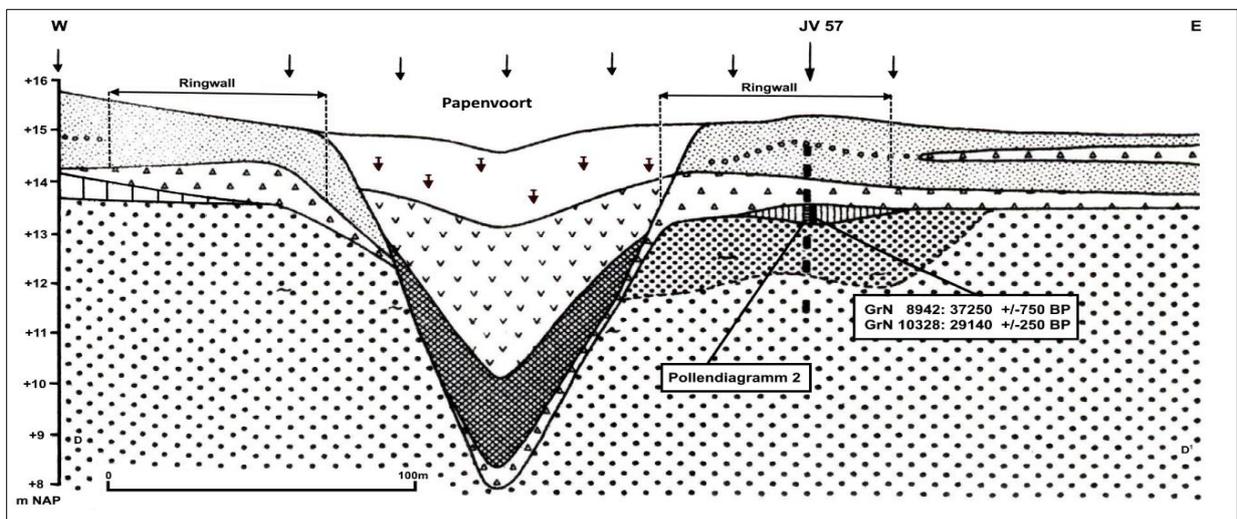


Abbildung 5-3. Geologischer Profilschnitt (W-E) Papenvoort, verändert nach DE GANS (1982), Legende wie in Abb. 5-2

Ebenso entstand Papenvoort, wie die Paläopingos Holveen, Langakerveen und Kostverlorenveen, zwischen 25 000 – 19 000 B.P. (Oberes Pleniglazial) im hydraulisch / offenen System mit diskontinuierlichem Permafrost (DAVIES et al. 2005). Der Zerfall von Papenvoort begann zum Anfang des Bölling–Interstadials und war innerhalb dieser Warmphase abgeschlossen (DAVIES et al. 2005). Die Verfüllung mit Gyttja und Torf setzte erst nach vollständigem Schmelzen des Eiskernes ein (DE GANS 1982).

In der Nachbarschaft befinden sich nach DE GANS (1982) weitere Paläopingos, welche in kleinen Gruppen (Cluster) angeordnet sind. Flugsanddepressionen in unmittelbarer Nähe sind jedoch nicht bekannt.

#### 5.1.4 Ekehaar (DE GANS 1982)

Der Paläopingo Ekehaar (H: 5868316,97; R: 2540012,19) liegt ca. 1 km südwestlich des Dorfes Ekehaar und ca. 6 km südlich der Stadt Assen, direkt im oberstromigen Bereich des ehemaligen Nebentals des Amer Tiefs. Dieses Nebental wies laut DE GANS (1982) ein ebenes Relief auf, welches jedoch für das Pingowachstum über ein ausreichendes Wasserdargebot verfügte und somit die paläo-hydrologische Voraussetzung bildete. Der Paläopingo Ekehaar befindet sich westlich des „Rolde-Rückens“ (s. Abb. 4-1).

Gegenwärtig ist Ekehaar als baumbewachsene Brachfläche ausgebildet und morphologisch nur schwer erkennbar. Die einstige ovale Form des Paläopingos ist jedoch gut zu sehen. Der Paläopingo wies einen mittleren Durchmesser von insgesamt 200 m auf, den de Gans mit 100 m für den Paläopingo und mit max. 100 m für den Ringwall an seiner Basis angab. Der Ringwall umrandet den Paläopingo Ekehaar und setzt sich aus unsortierten Sanden mit Kiesen zusammen. Die Höhe des Ringwalls von 1 m ist hoch ausgebildet (s. Abb. 5-4).

Zum Zeitpunkt der Untersuchung wies der Paläopingo eine mittlere Tiefe von 5 m auf und war nahezu vollständig mit etwa 3,5 m mächtigen Torfen und 1 m mächtigen Gyttja verfüllt, welche insgesamt eine 4,5 m mächtige Schicht aus organogenen Ablagerungen bildeten. Die Basis des Paläopingos besteht aus einer ca. 0,5 m mächtigen Schicht aus unsortierten Sanden mit Kiesen (s. Abb. 5-4).

Die Wände von Ekehaar sind mit einer Neigung von ca. 70° „steil“ ausgebildet und weisen somit einen trichterförmigen Formtyp auf.

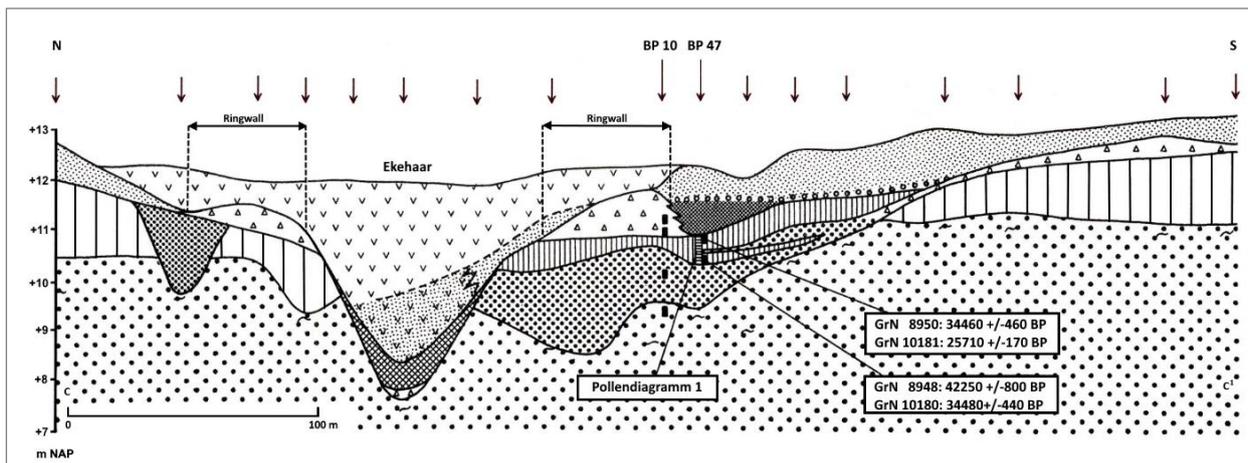


Abbildung 5-4. Geologischer Profilschnitt (N-S) Ekehaar, verändert nach DE GANS (1982), Legende wie in Abb. 5-2.

Das Wachstum des Paläopingos Ekehaar erfolgte, wie die Paläopingos in der *Drentsche Aa* Niederung, von 25 000 – 19 000 B.P. ins obere Pleniglazial zur Phase extremer Abkühlung. Ekehaar zerfiel zu Beginn des Bölling-Interstadials und war innerhalb dieser Warmphase abgeschlossen (DAVIES et al. 2005). Erst nach vollständigem Schmelzen des Eiskernes

war es möglich, dass Gyttja und Torf sedimentierten und den Paläopingo vollständig verfüllten. Wie die anderen Paläopingos, ist auch Ekehaar im hydraulisch / offenen System mit diskontinuierlichem Permafrost entstanden (DAVIES et al. 2005).

Ebenso sind nach DE GANS (1982) weitere Paläopingos in unmittelbarer Nähe lokalisiert und wie bei Papenvoort in kleinen Gruppen (Cluster) angeordnet. Flugsanddepressionen sind nicht in der Nachbarschaft bekannt.

### 5.1.5 Hohlformen A und B (DE GANS & SOHL 1981)

Die Paläopingos *Hohlform A* (H: 5875079,20; R: 2546998,65) und *Hohlform B* (H: 5875323,52; R: 2547104,21) liegen ca. 1 km bzw. 1,5 km nordöstlich des Dorfes Anderen. Beide Paläopingos befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft, wobei *Hohlform B* etwa 300 m nordöstlich von *Hohlform A* liegt. Ebenso liegen sie an der Westseite des „Hondsrug“ (s. Abb. 4-1).

Heute sind beide Paläopingos als Hohlformen morphologisch deutlich erkennbar, *Hohlform A* ist mit Wasser gefüllt während *Hohlform B* trocken und vermoort ist.

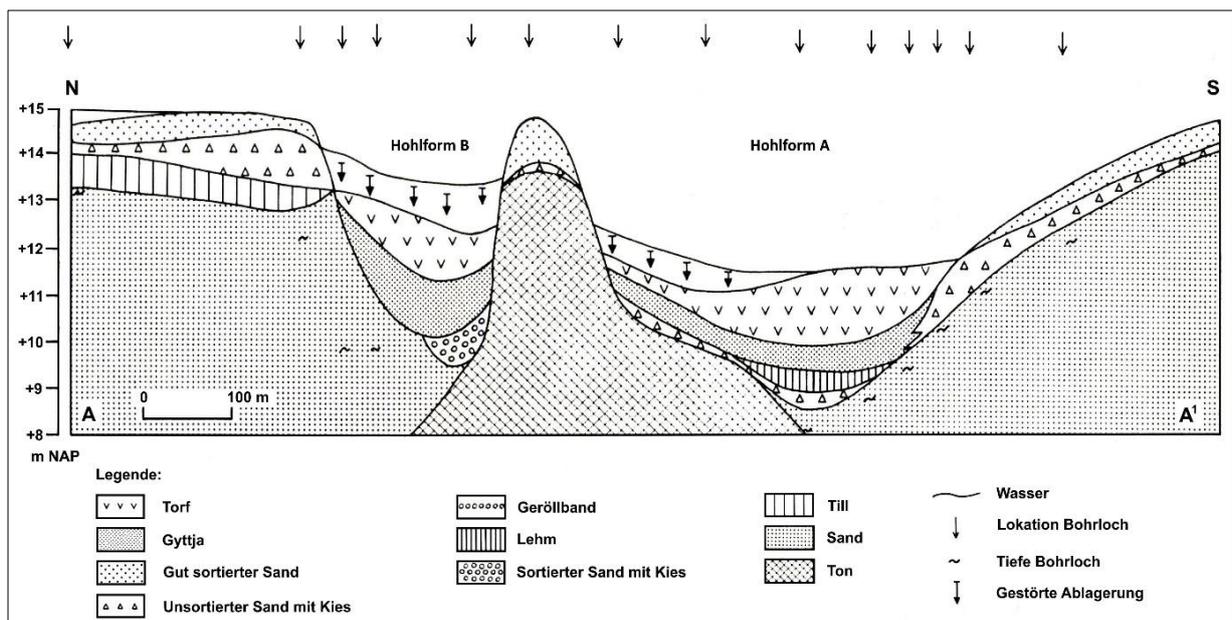


Abbildung 5-5. Geologischer Profilschnitt (N-S) *Hohlformen A* und *B*, verändert nach DE GANS & SOHL (1981)

*Hohlform A* weist eine nahezu ovale Form mit einem großen Durchmesser von 300 m auf und ist damit fast 3-mal so groß wie die benachbarte *Hohlform B* (s. Abb. 5-5). Mit seiner geringen Tiefe von ca. 3 m ist *Hohlform A* flach ausgebildet.

Die Basis der *Hohlform A* bilden 0,5 m mächtige unsortierte Sande mit Kies, die von ca. 0,5 m dicken Lehmen überlagert werden. Weiter im Hangenden schließen sich bis zur Oberfläche ca. 2 m mächtige organogene Ablagerungen aus Gyttja (0,5 m) und Torf (1,5 m) an. Diese Torfschichten werden im nördlichen Teil der Hohlform von geringmächtigen Schichten (ca. 0,5 – 1 m) aus gestörten Ablagerungen überlagert.

Die Wände sind mit ca. 60° Neigung „relativ steil“ und weisen auf einen trichterförmigen Formtyp des Paläopingos hin. Der Ringwall ist nur teilweise vorhanden und im geologischen Profil lediglich an der Südseite des Paläopingos zu erkennen; seine Breite wird mit ca. 50 m abgeleitet und ist schmal zur einstigen Größe des Pingos ausgebildet. Die Höhe des Ringwalls von ca. 1 m ist mit der benachbarten *Hohlform B* vergleichbar. Weiterhin wird der Ringwall aus unsortierten Sanden und Kiesen aufgebaut, welche de Gans & Sohl als umgelagerte Hangablagungen eines ehemaligen Nebentals interpretierten (s. Abb. 5-5).

Die *Hohlform B* zeigt eine runde Form und einen mittleren Durchmesser von 150 m mit einer geringen Tiefe von ca. 4 m. Der Paläopingo ist somit halb so groß wie die benachbarte *Hohlform A* und um einen Meter tiefer ausgebildet (s. Abb. 5-5). Die *Hohlform B* wird nahezu vollständig von einer etwa 2,5 m dicken organogenen Ablagerung aus Gytja (1,5 m) im unteren und Torf (1 m) im oberen Bereich verfüllt. Unterhalb dieser organischen Schichten wurden sortierte Sande mit Kies erbohrt, die de Gans & Sohl als Flussablagungen des ehemaligen Nebentals bewerteten. Oberflächennah bildet eine etwa 1 m dicke Ablagerung aus gestörtem Material die Deckschicht der *Hohlform*, welche womöglich als anthropogene Auffüllung zu bewerten ist.

Die Wände sind mit ca. 75° Neigung „steil“ ausgebildet und zeigen somit einen trichterförmigen Formtyp der *Hohlform B* an. Der Ringwall ist nur teilweise vorhanden und im geologischen Profil lediglich an der Nordseite zu sehen. Die Breite wird mit ca. 50 m und Höhe mit ca. 1 m abgeleitet, vergleichbar mit *Hohlform A*. Analog zur benachbarten *Hohlform A*, wird der Ringwall ebenfalls aus unsortierten Sanden mit Kiesen aufgebaut, die DE GANS & SOHL (1981) als umgelagerte Hangablagungen des ehemaligen Nebentals interpretierten. Äolische Ablagerungen aus gut sortierten Sanden überlagern den Ringwall (s. Abb. 5-5).

Die Paläopingos *Hohlform A* und *Hohlform B* lagen nach DE GANS & SOHL (1981) oberstromig eines weiträumigen Bereiches des ehemaligen Nebentals, welches bis zum Ende des Pleniglazials aktiv war und somit über ein ausreichendes Wasserdargebot verfügte. Dieses Nebental bildete die paläo-hydrologische Voraussetzung, um ein Pingowachstum im offenen System unter hydraulischen Verhältnissen, im diskontinuierlichen Permafrostboden zu ermöglichen. Das Wachstum der beiden Paläopingos datierten de Gans & Sohl auf 20 000 B.P. während der kältesten Phase der Weichsel-Kaltzeit. Die Verfüllung der beiden Paläopingos mit Gytja begann nach de Gans & Sohl bereits zum Ende dieser Phase oder im frühen Weichsel-Spätglazial. Die *Hohlform A* und *Hohlform B* sind, wie die Paläopingos Kostverlorenveen, Langakkerveen und Holveen, perlenschnurartig aufgereiht. Weitere Paläopingos sind benachbart, jedoch keine Flugsanddepressionen.

### 5.1.6 Mekelermeer (DE GANS & SOHL 1981)

Der Paläopingo Mekelermeer (H: 5848804,48; R: 2542406,79) befindet sich ca. 1,5 km westlich des Dorfes Nieuw Balinge und ca. 18 km westlich der Stadt Emmen. Der Paläopingo lag laut de Gans & Stohl, wie die beiden Paläopingos *Hohlform A* und *B*, im oberstromigen Bereich eines Nebentals mit einer Hangneigung von 7°, welches bis zum Ende des Pleniglazials aktiv war. Mekelermeer befindet sich westlich des „Rolde-Rückens“ (s. Abb. 4-1).

Gegenwärtig ist der Paläopingo Mekelermeer morphologisch gut als ovaler, abflussloser See mit einer umschließenden, ca. 30 – 100 m breiten, Verlandungszone zu erkennen. Eine sichelförmige schmale Insel ist entlang der westlichen Seeseite ausgebildet. Zum Zeitpunkt der Feldarbeiten wies der Paläopingo einen mittleren Durchmesser von 200 m und eine große Tiefe von 12 m auf, die Wassertiefe betrug ca. 6,5 m. Der Paläopingo war bis zur Basis der Hohlform mit einer max. 5,5 m mächtigen Schicht aus Gytja gefüllt, wobei de Gans & Sohl vermuteten, dass im zentralen Bereich des rezenten Sees keine Torfbildung stattfand. Mekelermeer wird von bis zu 5,5 m mächtigen Tillschichten des Saale-Komplex umgeben, welche von mächtigen Feinsanden des Saale-Komplex unterlagert werden (s. Abb. 5-6). An einigen Stellen sind diese mächtigen Tillschichten nur sehr dünn ausgebildet oder fehlen ganz und bilden „geologische Fenster“. Mekelermeer ist ebenfalls wie Hijkermeer an ein „geologisches Fenster“ lokalisiert, wo der Paläopingo tief in die Feinsande des Saale-Komplex hineinragt (s. Abb. 5-6). Nach DE GANS & SOHL (1981) entstanden diese Fehlstellen im Bereich der ehemaligen Nebentäler, die dafür sorgten, dass Paläopingos an diesen Fehlstellen über ein deutlich größeres Wasserdargebot während des Wachstums verfügten und möglicherweise merklich höher wuchsen.

Das Wachstum von Mekelermeer und Hijkermeer fand nach de Gans & Sohl während der kältesten Phase der Weichsel-Kaltzeit (20 000 B.P.) statt, wo diskontinuierlicher Permafrost gegeben war und ein offenes System unter hydraulischen Verhältnissen das Pingowachstum begünstigte.

Die Gytja-Schichten weisen nach HOEK (1997) ein weichsel-spätglaziales Alter (Zone Ia: 12 900 – 12 400 B.P.) auf, sodass der vollständige Zerfall von Mekelermeer innerhalb des Bölling-Interstadials einsetzte und abgeschlossen war (DAVIES et al. 2005).

Der Paläopingo Mekelermeer selbst ist mit einem ca. 100 m breitem Ringwall umrandet, der im geologischen Profil im Nordwesten und Südosten dargestellt ist (s. Abb. 5-6). Der Ringwall wird aus überwiegend unsortierten Sanden mit Kiesen und Tillfragmenten aufgebaut, die de Gans & Sohl als umgelagerte Hangablagerungen des ehemaligen Nebentals interpretieren. Überlagert werden diese Ablagerungen durch gutsortierte äolische Sande.

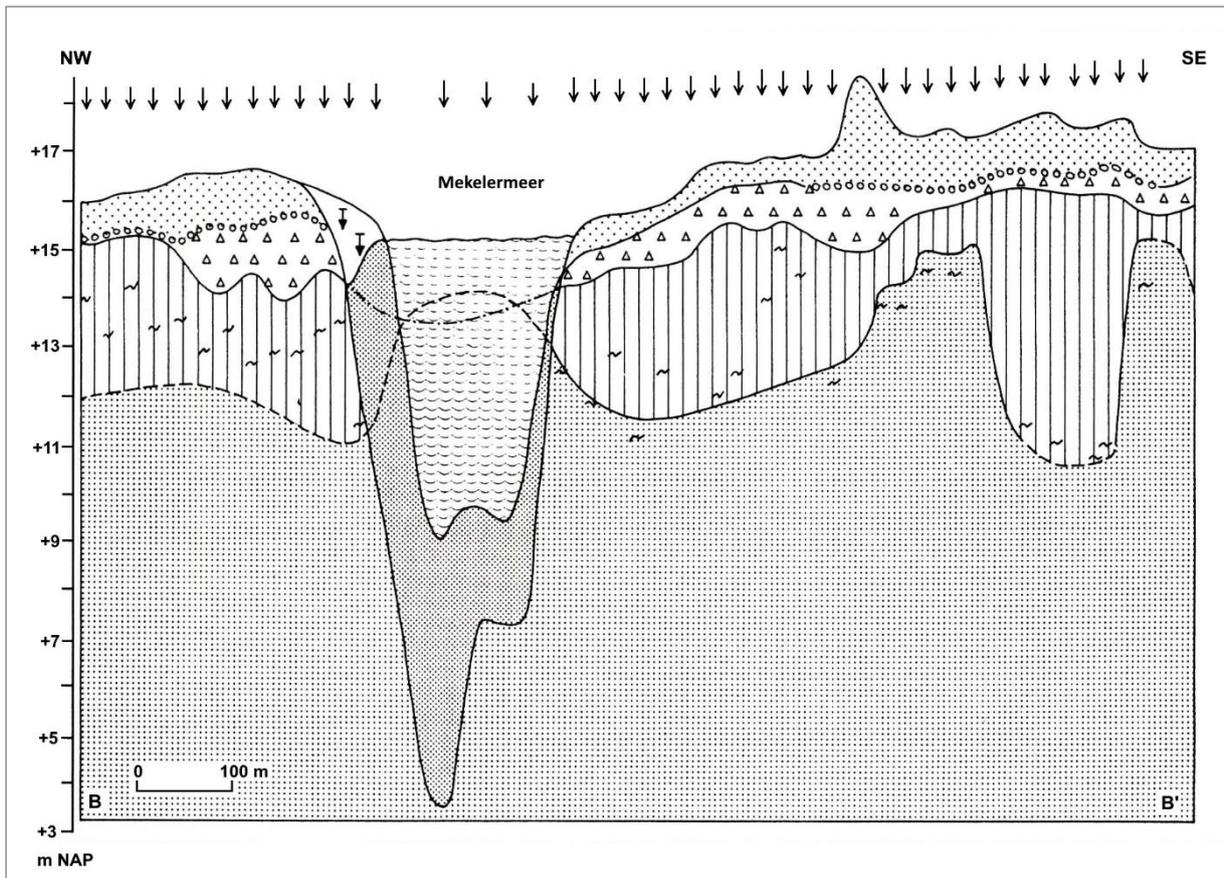


Abbildung 5-6. Geologischer Profilschnitt (NW-SE) Mekermeer, verändert nach DE GANS & SOHL (1981), Legende wie in Abb. 5-2.

Die Wände von Mekermeer sind mit ca. 80° Neigung „steil“ ausgebildet und weisen somit einen trichterförmigen Formtyp auf. Ebenfalls sind benachbarte Paläopingos, jedoch keine Flugsanddepressionen, bekannt (LANDSCHAFTSBEHEER DRENTH 2017).

### 5.1.7 Paläopingos im Ballooërveld (DE GANS & CLEVERINGA 1986)

Im Ballooërveld wurden drei Paläopingos in Nachbarschaft zu zehn Flugsanddepressionen nachgewiesen. Ein Paläopingo (H: 5876610,39; R: 2542669,66) mit runder Form und einem mittleren Durchmesser von ca. 100 m liegt nach de Gans & Cleveringa am Nordwestrand vom Ballooërveld direkt an der Ostflanke des Looner Tiefs. Ein zweiter Paläopingo (H: 5876442,11; R: 2543675,01) liegt im Norden, und ein dritter Paläopingo (H: 5874257,68; R: 2543874,22) mit einer ovalen Form und einem mittleren Durchmesser von ca. 175 m befindet sich an der südlichen Grenze des Ballooërvelds (DE GANS & CLEVERINGA 1986). Diese drei Paläopingos liegen nahe zusammen und bilden somit eine kleine Gruppe (Cluster). Lediglich für den Paläopingo (H: 5876442,11; R: 2543675,01) im Norden des Ballooërvelds und die ca. 70 m südwestlich gelegene Flugsanddepression (H: 5876356,97; R: 2543551,96) liegt ein Profilschnitt mit geologischer Beschreibung vor (s. Abb. 5-7). Die Flugsanddepression wird im nachfolgenden Kapitel 5.1.8 beschrieben.

**Paläopingo Ballooërveld** (H: 5876442,11; R: 2543675,01)

Der Paläopingo ist gegenwärtig als trockene abflusslose Hohlform ausgebildet und morphologisch als solche gut zu erkennen. Er zeigt eine ovale Form mit einem kleinen Durchmesser von ca. 70 m.

Der Paläopingo weist eine mittlere Tiefe von ca. 5,5 m auf und ist nahezu vollständig mit 4,5 m mächtigen organogenen Ablagerungen aus Torf (3,5 m) in den oberen Schichten und Gyttja (1 m) in den unteren Schichten, verfüllt. Unterlagert werden die Gyttja-Schichten von Sanden und Kiesen, die mit etwa 1 m Dicke die Basis des Paläopingos bilden (s. Abb. 5-7).

Ein Ringwall mit einer Breite von ca. 50 m umrandet den Paläopingo und ist im geologischen Profil an der Südwest- und Nordostseite zu erkennen. Seine Höhe liegt bei etwa 1 m. Sande und Kiese wurden im Bereich des Ringwalls erbohrt, welche von äolischen Sanden überlagert werden. Die Wände sind mit ca. 75° Neigung „steil“ ausgebildet und weisen somit einen trichterförmigen Formtyp auf (s. Abb. 5-7).

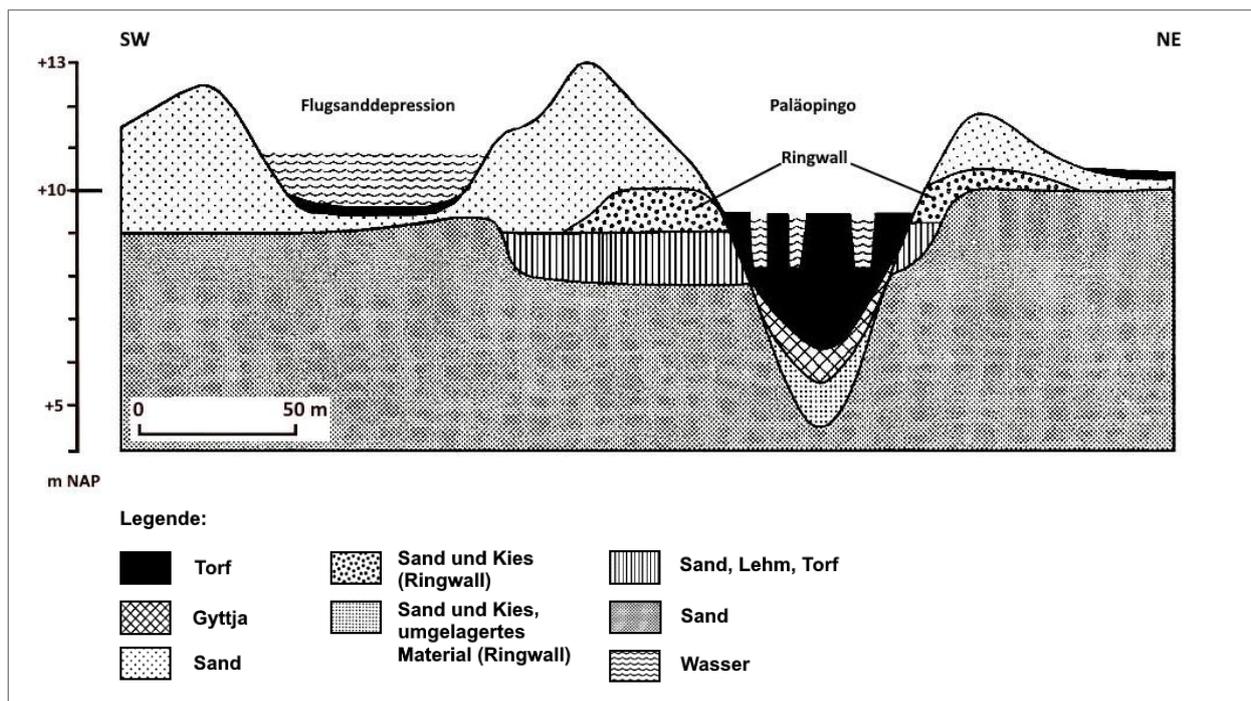


Abbildung 5-7. Geologischer Profilschnitt (SW-NE) Flugsanddepression und Paläopingos im Ballooërveld, verändert nach DE GANS & CLEVERINGA (1986)

**5.1.8 Flugsanddepression Ballooërveld (DE GANS & CLEVERINGA 1986)**

Die Flugsanddepression im Ballooërveld (H: 5876356,97; R: 2543551,96) hat eine ovale Form und wies einen kleinen Durchmesser von ca. 70 m sowie eine geringe Tiefe von 2 m auf. Damit ist sie deutlich flacher als der benachbarte Paläopingo ausgebildet. Gegenwärtig ist die Flugsanddepression nahezu vollständig mit Wasser gefüllt und gut morphologisch als Hohlform zu erkennen. Lediglich an der Basis befindet sich eine dünne, ca. 0,5 m dicke, Schicht aus Torfen.

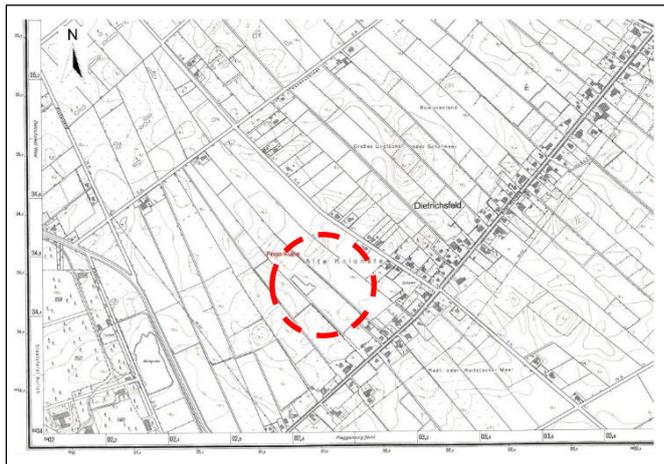
Die Wände der Flugsanddepression zeigen mit einer Neigung von weniger als 30° einen wannenförmigen Formtyp. Im geologischen Profilschnitt ist gut zu erkennen, dass diese Flugsanddepression wegen ihrer flachen Form und geringen Tiefe ausschließlich innerhalb der äolischen Flugsanddeckschichten gebildet wurde (s. Abb. 5-7).

## 5.2 Ausgewählte Beispiele für Ostfriesland

### 5.2.1 Dietrichsfeld (HEINZE et al. 2014)

Dietrichsfeld (H: 3402765; R: 5934600) liegt am südöstlichen Rand der namensgebenden Ortschaft Dietrichsfeld, ca. 8,5 km nördlich von Aurich am nördlichen Scheitel der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche. Gegenwärtig ist die Hohlform eine trockene Grasfläche, direkt am Nordostrand einer gewerblich genutzten Sandgrube.

Ein offener Aufschluss mit einer Länge von ca. 90 m in NW-SE wurde freigelegt, um den geologischen Aufbau zu erkunden (s. Abb. 5-9): Dietrichsfeld hat eine ovale bis runde Form und weist einen kleinen Durchmesser von ca. 60 m mit einer geringen Tiefe von ca. 3 m auf.



Legende:

 : Hohlform Dietrichsfeld

Abbildung 5-8. Lage von Dietrichsfeld, Maßstab: 1:5 000

Die Wände sind mit 20 – 30° flach ausgebildet und zeigen somit eine muldenförmige Struktur auf. Die Hohlform ist nahezu vollständig mit Mudde (2 m) und Torf (1 m) verfüllt.

Dietrichsfeld wird von schluffigen und gutsortierten Feinsanden umgeben. Ein schmales Band mit Kryoturbationen ist an der Basis von Dietrichsfeld ausgebildet. HEINZE et al. (2014) bewertet Dietrichsfeld (s. Abb. 5-8 u. 5-9) als ein weichsel-kaltzeitlich entstandener Paläopingo.

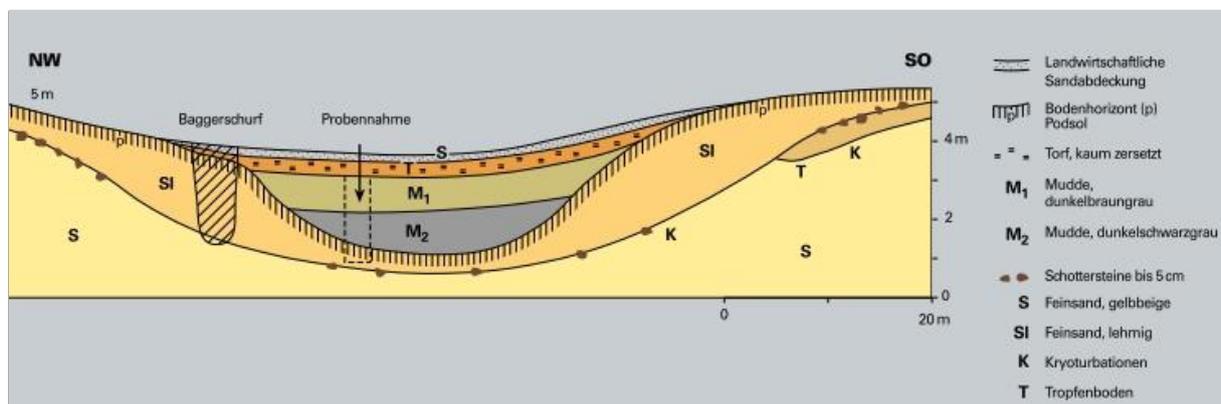


Abbildung 5-9. Geologischer Profilschnitt (NW-SE) Dietrichsfeld, nach HEINZE et al. (2014)

### 5.2.2 Doove-Meer (FREUND 1995)

Das Doove-Meer (H: 5925440,35; R: 2594987,81) liegt am Upstalsboom, ca. 3 km südwestlich von Aurich. FREUND (1995) beschrieb das Doove-Meer als eine trichterförmige, abflusslose Hohlform mit einer Höhenlage von 2,5 – 3,25 m NN, deren Wände, insbesondere die an der nördlichen Seite, steil (ca. 60 – 70°) abfallen. An der Südseite hingegen waren die Wände deutlich flacher ausgebildet (s. Abb. 5-11).

Morphologisch ist das Doove-Meer lediglich als flache Hohlform zu erkennen, deren Randbereiche leicht ansteigend sind und Höhen bis zu 4 m NN aufweisen. Das Doove-Meer zeigt eine ovale Form mit einer mittleren Tiefe von etwa 7 m und einem mittleren Durchmesser von 100 bzw. 120 m auf (s. Abb. 5-11 u. Tab. 8-2).



Profilstelle

Abbildung 5-10. Satellitenfoto vom Doove-Meer Profilstelle, Google Earth © 2014

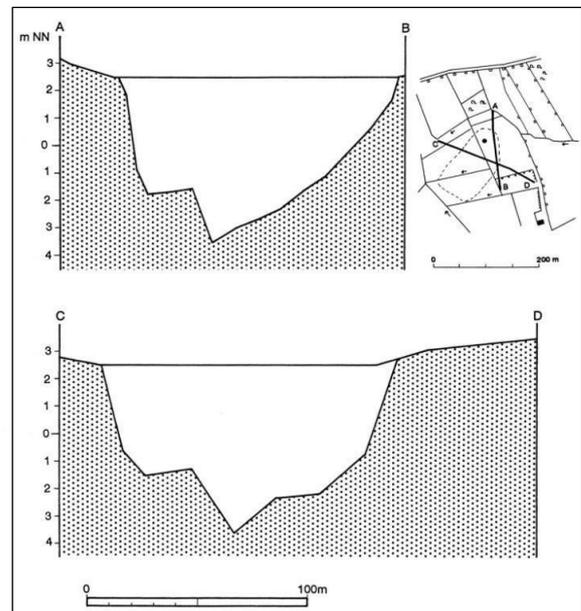


Abbildung 5-11. Profilschnitte (N-S, NW-SE) Doove-  
Meer, aus FREUND (1995)

Geologisch befindet sich das Doove-Meer an der Westseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche im direkten Übergangsbereich zum angrenzenden Moorgeestgebiet. Zudem ist das Doove-Meer innerhalb einer weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecke entstanden (s. Abb. 4-3).

Nach FREUND (1995) ergibt sich folgender geologischer Aufbau:

Die oberen 5 cm bestanden aus anthropogen aufgefüllten Sanden, die bis 1,04 m u. GOK von Hochmoortorf unterlagert wurden. Dieser Hochmoortorf ist in den oberen bis 40 cm stark zersetzt und weist teilweise Holzkohlepartikel auf. Hochmoortorf wurde bis 1,04 m erbohrt und ist nur noch schwach bis sehr schwach zersetzt. Zwischen 1,04 und 1,26 m Tiefe war ein Übergangstorf mit Schilfrhizomen ausgebildet, der im unteren Bereich ein größeres Eichen-Holzstück enthielt. Weiter

im Liegenden folgt unter dem Übergangstorf eine ca. 66 cm mächtige Grobdetritusmudde. Unterlagert wird diese von einer Feindetritusmudde bis 5,1 m Tiefe. Im oberen Bodenhorizont war die Feindetritusmudde bis 2,3 m stark schluffig ausgebildet und wies einen hohen Anteil nicht gerundeter Quarzkörner auf. Die Feindetritusmudde war in einer Tiefe von 2,3 – 5,1 m mit bandartigen Sandeinlagerungen durchzogen. Unterhalb der Feindetritusmudde folgte von 5,1 – 6 m eine Wechsellagerung aus unterschiedlich mächtigen Schluff- und Sandmudden, wobei die Schluffmudde im Liegenden zunehmend sandiger wurde. Die feinsandige Schluffmudde in 587,5-597,5 cm Tiefe wies ein Alter von 13 480 – 13 350 cal J.v.h. (Ältere Dryas) auf und die Schluffmudde in 576,5-577,5 cm Tiefe ein absolutes Alter von 10 935±275 B.P. (Präboreal) und zeigt das frühe Holozän an (s. Tab. 8-2). Bis 6,61 m u. GOK wurden Feinsande mit 5 cm mächtigen Schluffbändern und Grobsande mit Flinteinlagerungen erbohrt. Bis zum Geschiebemergel aus schluffigem und kalkhaltigem Sand in 7,46 m Tiefe erbohrte Freund eine Wechselfolge aus kalkigen, z. T. schluffigen Feinsand und kalkigen Grobsanden, die ab 6,95 m Tiefe in einen kalkigen Fein- bis Mittelsand mit größeren Steinen überging.

WILDVANG (1935) interpretierte das Doove-Meer als eine Ausblasungswanne (Flugsanddepression) aus locker gelagertem Flugsand. FREUND (1995) teilte die Hypothese von Wildvang zur Genese nicht und verwies darauf, dass das Doove-Meer mit 7 m Tiefe für eine Flugsanddepression viel zu tief sei. Er vermutete vielmehr, dass das Doove-Meer wegen seiner trichterförmigen Ausbildung und pleistozänen Sedimente in 6 m Tiefe ein weichsel-kaltzeitlicher Paläopingo darstellt (s. Abb. 4-3). Spuren eines Ringwalles (Flinte und Kiese) wurden im nördlichen Bereich des Doove-Meeres auskartiert, ein weiterer Hinweis für einen Paläopingo (H. FREUND, mdl. Mitteilung, 2014). Auch GARLEFF (1968) interpretierte das Doove-Meer als eine kryogene Kave. Bohrungen direkt am Upstalsboom führte Garleff allerdings nicht aus.

Ebenso hielt FREUND (1995) die Interpretation des Doove-Meers als ein Toteisloch (Soll) des Saale-Komplex für sehr unwahrscheinlich, weil eemzeitliche oder ältere Sedimente aus der Elster-Kaltzeit oder Holstein-Warmzeit in der Hohlform nicht erbohrt wurden (s. a. Kap. 7.4.5).

### **5.2.3 Frauenmeer (WILDVANG 1928, 1938, GARLEFF 1968, MEYER & MERKT 1995, unveröff.)**

Das Frauenmeer, ca. 12 km südöstlich von Aurich (H: 5916518,15; R: 3402471,36), weist hinsichtlich seiner Entstehung eine lange Historie von wissenschaftlichen Untersuchungen in den vergangenen 90 Jahren auf, die nachfolgend kurz beschrieben wird.

Erstmals beschrieb 1928 Wildvang das Frauenmeer hinsichtlich der Geologie und Entstehung in der Publikation „Der Boden Ostfrieslands“ (WILDVANG 1928). WILDVANG deutete das Frauenmeer als einen „Strudeltrichter“, weil es ein „Sölle mit einem Wall“ darstellt. Bereits 10 Jahre später revidierte WILDVANG seine These im Skriptum „Die Geologie Ostfrieslands“

(WILDVANG 1938). Hier bezeichnete Wildvang das Frauenmeer „als eigenartige Stellung unter den Diluvialseen der innerostfriesischen Moränenebenen“. Er deutete die Entstehung des Frauenmeers als Folge eines mächtigen Meteoriteneinschlages und verwies auf eine Sage, die „von einer plötzlichen Entstehung zu berichten weiß, bei der auch Menschenleben zu Grunde gingen“. „Eine durch Auslaugung des tieferen Untergrundes verursachter Bodensturz“ schloss Wildvang als mögliche Entstehungstheorie nicht gänzlich aus. Einen Zeitpunkt zur Entstehungstheorie eines Meteoriteneinschlages gab Wildvang jedoch nicht an.

40 Jahre später beschrieb GARLEFF (1968) das Frauenmeer als „runde“ Wanne mit einem Durchmesser von 150 m und einer Wassertiefe von 5 m. Garleff schloss in seinen Überlegungen eine Entstehung durch einen Meteoriteneinschlag in Sinne von WILDVANG (1938) aus. Er stufte das Frauenmeer vielmehr als „vermutlich kryogene Kave“ ein (GARLEFF 1968, S. 128) und weist erstmalig auf einen weichsel-kaltzeitlich entstandenen Paläopingo hin (s. a. Kap. 4.2.2 u. Abb. 4-3).

Ende der 1980er Jahren untersuchten MEYER & MERKT (1995) mit Unterstützung von Lehrern und Schülern des Gymnasiums Ulricianum Aurich das Frauenmeer erneut, um aufbauend auf den Theorien von Wildvang und Garleff konkrete Hinweise zur Entstehungsgeschichte des Frauenmeers – Meteoriteneinschlag oder Pingogenese – zu erhalten. Im Rahmen ihrer Forschungen brachten Merkt und Meyer in einer 1. Bohrkampagne insgesamt 18 Bohrungen bis max. 18 m u. GOK und in einer 2. Bohrkampagne insgesamt 30 Schlitzsondierungen bis max. 4 m u. GOK im Kreuzprofil nieder. An ausgewählten Bodenhorizonten wurden zusätzlich Sedimentproben entnommen und pollenanalytisch ausgewertet.

MEYER & MERKT (1995) bewerteten das Frauenmeer als „durch eingehende Untersuchungen nachgewiesenen Pingo in Niedersachsen“. Der Paläopingo selbst ist in eine ca. 10 m mächtige Grundmoräne des Saale-Komplex eingeschnitten und wird von weichsel-kaltzeitlichen Beckensanden aufgebaut. Überlagert werden diese Sande von bis zu 3,5 m mächtigen holozänen Muddeschichten. Ein ca. 1 m hoher Ringwall, aus ungeschichtetem und kiesigem Sand, ist nach Merkt & Meyer nur noch teilweise erhalten und umrandet halbkreisförmig die Hohlform. Im Profil ist dieser Ringwall an der Ostseite des Frauenmeers zu erkennen (s. Abb. 5-12).

MERKT & MEYER (1995) wiesen in ca. 7,5 m u. GOK eine wenige dm-mächtige Muddeschicht innerhalb der Beckensande (qw/s/b) nach, die auf ein Alter von ca. 12 000 Jahre (Allerød-Interstadial) datiert wurde. Eine zweite, ca. 50 cm dicke, Muddeschicht, haben sie in 2 – 3 m Tiefe um das Frauenmeer herum, auch direkt unterhalb des Ringwalls, erbohrt, dessen <sup>14</sup>C-Alter Merkt & Meyer auf ca. 20 000 Jahre datierten. Nach fernmündlicher Mitteilung von MEYER

(2006) ist das Frauenmeer im hydraulisch / offenem System (Ostgrönland-Typ) entstanden (s. Abb. 4-3).

Ergänzend ist zu erwähnen, dass anhand der topografischen Karte (DGK 5) und von Luftbildern sowie des geologischen Profilschnittes (s. Abb. 5-12) sich weitere Informationen ableiten lassen: Das Frauenmeer ist weiterhin wasserführend und weist eine ovale Form mit einem mittleren Durchmesser von 180 bzw. 150 m und einer großen Tiefe von rd. 14 m auf. An der Ostseite ist ein 100 m breiter und ca. 4 m tiefer See entstanden, der zum Westen hin von einer 40 – 60 m breiten vermoorten Brachfläche umgeben ist. Der Paläopingo liegt inmitten von landwirtschaftlich genutzter Acker- und Weidefläche und Grasland. In der topografischen Karte ist das Frauenmeer gut zu erkennen, jedoch ist ein Ringwall anhand der Höhenlinien nicht abzuleiten.

Geologisch gesehen liegt das Frauenmeer an der Westseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche (s. Abb. 4-3). Die Hohlform weist einen trichterförmigen Formtyp auf, dessen Wände mit einer Neigung von 75 – 80° „steil“ ausgebildet sind.

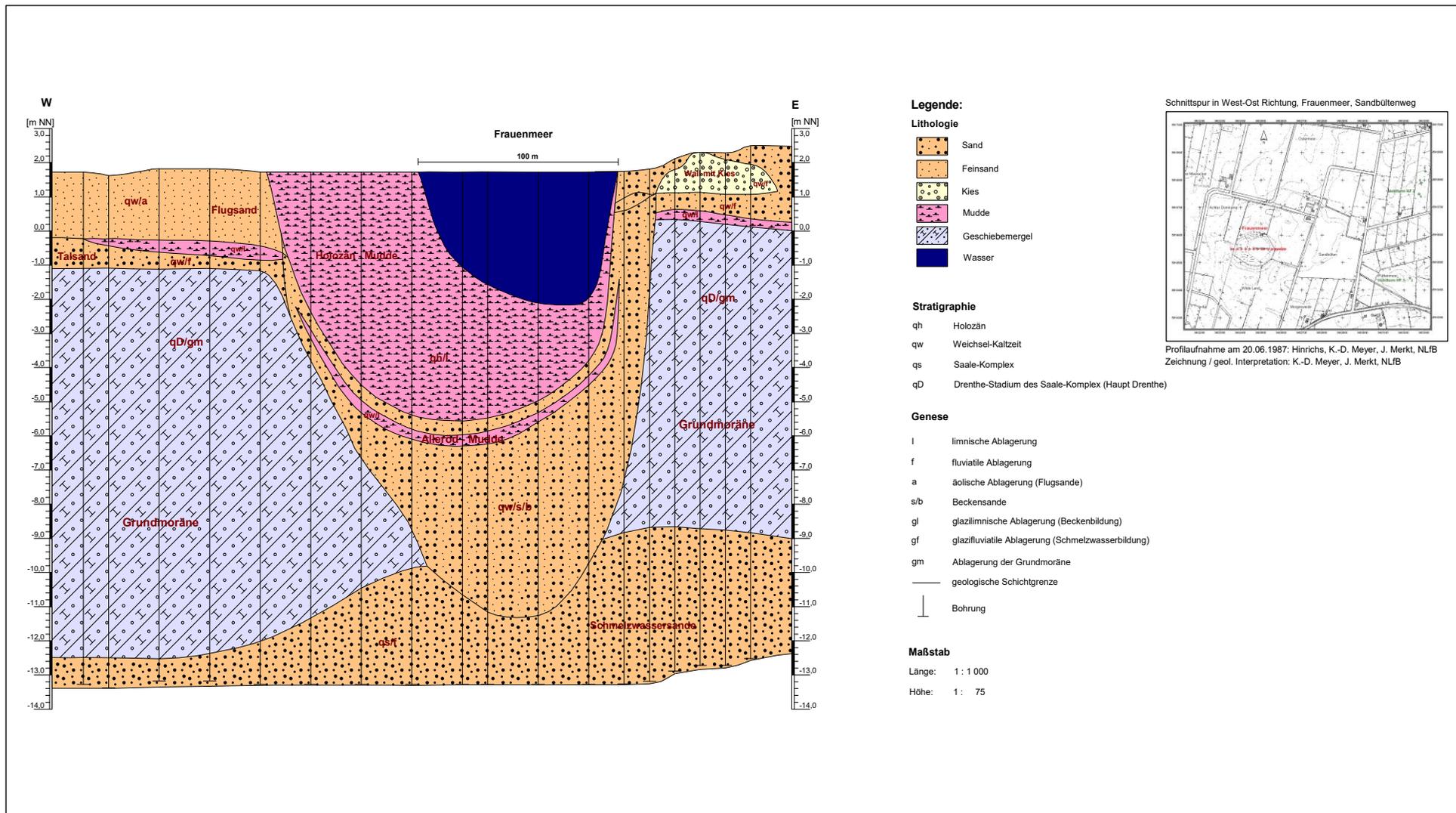


Abbildung 5-12. Geologischer Profilschnitt (W-E) Frauenmeer, modifiziert nach MEYER & MERKT (1995)

## 6 Eigenes Untersuchungsgebiet Timmelerfeld

### 6.1 Geographische Lage

Das Timmelerfeld befindet sich überregional gesehen im nordwestlichen Teil des niedersächsischen Tieflandes, nahe der deutsch – niederländischen Grenze (s. Abb. 6-1). Regional betrachtet, liegt das Timmelerfeld in Ostfriesland, ca. 20 km südlich der Stadt Aurich, nahe der Bundesstraße (B 72) in Richtung Hesel / Leer.

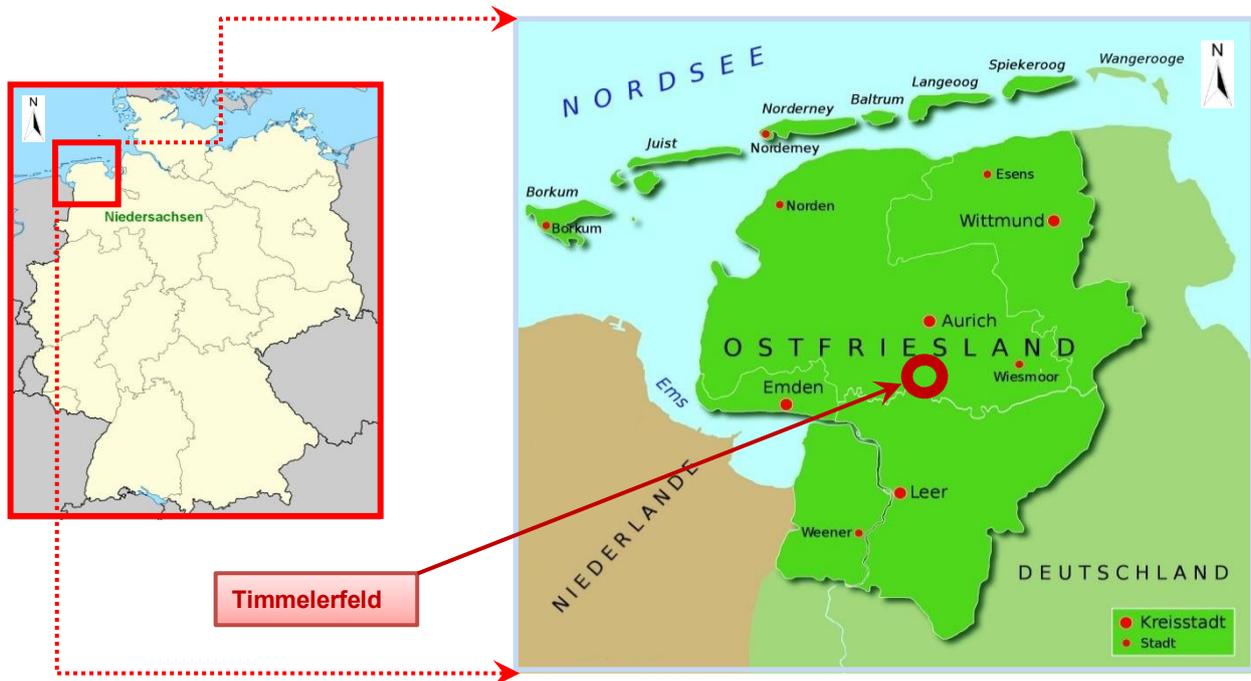


Abbildung 6-1. Übersicht- und Detailkarten zur geographischen Lage Timmelerfeld, ohne Maßstab.  
Quelle: Wikipedia

Das Timmelerfeld (H: 5917077,50; R: 3403275) selbst wird im

- Norden von den Fehndörfern Westgroßefehn und Mittegroßefehn,
- Südwesten von der Ortschaft Timmel,
- Osten vom Sauteler Kanal bzw. von der Auricher Landstraße (B 72),
- Süden von der Kreisstraße K 106 (Ulbarger Straße) nach Timmel

begrenzt (s. Abb. 6-2). Das Timmelerfeld ist morphologisch als Flachland mit nur geringen Höhenunterschieden bis max. 5,2 m NN ausgebildet. Die hier vorkommenden Hohlformen sind überwiegend vermoort und nur vereinzelt wasserführend. Als Folge der Flurbereinigung in den 1970er Jahren ist die überwiegende Anzahl der Hohlformen jedoch trockengefallen.

Kennzeichnend für das Timmelerfeld ist die anthropogene Überprägung, welche sich u. a. in der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung als Acker- und Anbaufläche mit einem ausgeprägten Entwässerungssystem und extensiv als Weideland darstellt. Wallhecken, auch Knicks genannt, dominieren im Timmelerfeld das Landschaftsbild. Die Wallhecken sind mit Bäumen (Hainbuchen,

Eschen und Eichen) und Sträuchern (Haselnuss) bewachsen und dienen als Grenzmarkierung und Einfriedung von Acker- und Weideflächen, so auch im Timmelfeld (SIEBELS 1954).

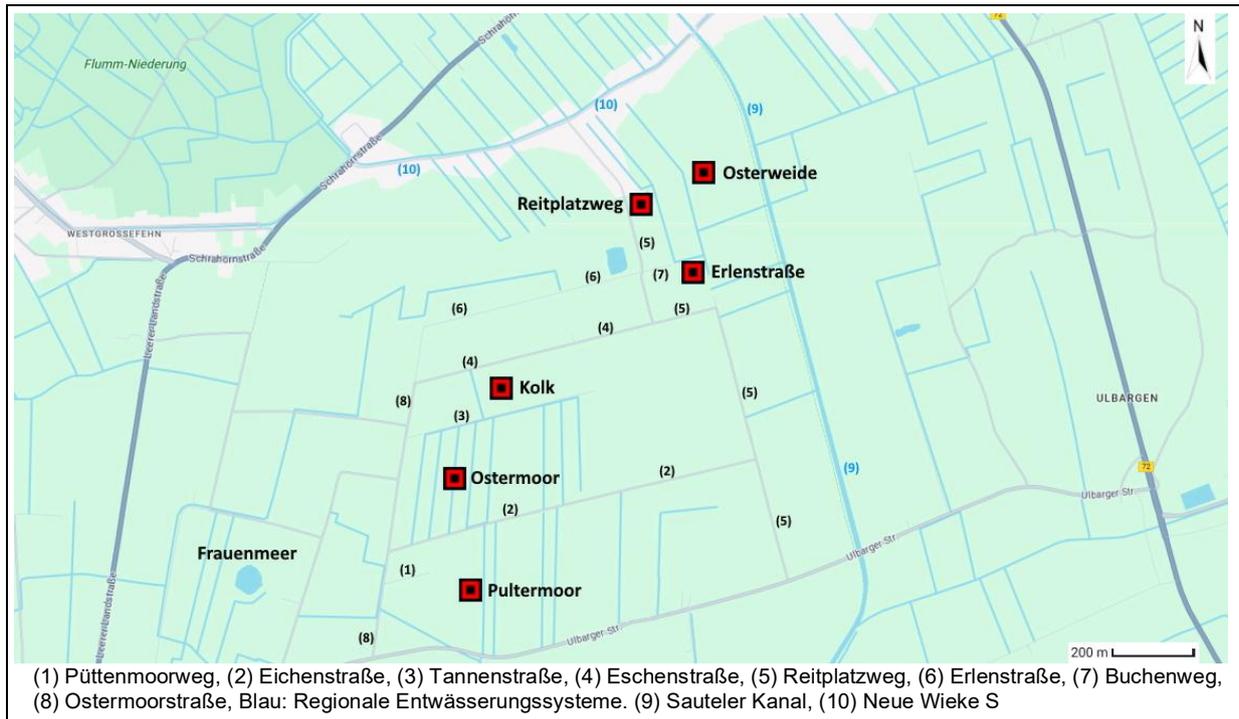


Abbildung 6-2. Timmelfeld mit untersuchten Hohlformen. Quelle: Kartenauszug ©2023 GeoBasis DE/BKG (©2009) in Google

Weiterhin liegt das Timmelfeld inmitten eines Gebietes, welches seit 1633 vom Torfabbau geprägt wird (TRAUERNICHT 2008). Eine der ersten Fehndörfer ist das heutige Westgroßfehn (Timmelerwieke), nordwestlich des Timmelfeldes (s. Abb. 4-5). Der Großfehn-Kanal nördlich des Timmelfeldes erreichte nach ca. 300 Jahren Abgrabens im Jahr 1933/34 seine heutige Länge von insgesamt 17 km. 1933/34 erfolgte nach TRAUERNICHT (2008) der Durchstich in den Nordgeorgsfehnkanal (s. Abb. 4-5).

Zum Timmelfeld gehören das am Westrand liegende Frauenmeer am Sandbültenweg und die untersuchten sechs Hohlformen (s. Abb. 6-2):

1. Pultermoor, Püttenmoorweg (H: 5916416,22; R: 3403328,11),
2. Ostermoor, Eichenstraße (H: 5916859,84; R: 3403286,55),
3. Kolk, Tannenstraße / Eschenstraße (H: 5917218,39; R: 3403381,46),
4. Erlenstraße, Ecke Erlenstraße / Buchenweg (H: 5917678,99; R: 3404196,83),
5. Osterweide, ca. 250 m westlich des Sauteler Kanals (H: 5917973,47; R: 3404181,52),
6. Reitplatzweg, am Reitplatzweg (H: 5917910; R: 3403958).

## 6.2 Rezente Ausbildung der Hohlformen

### 6.2.1 Pultermoor

Die Hohlform Pultermoor liegt im südlichen Teil des Timmelfeldes mit der Flurbezeichnung Püttenmoor. Morphologisch bildet Pultermoor eine abflusslose Hohlform mit einem sehr geringen Relief und ist im Gelände deshalb nur schwer topographisch als solche zu erkennen (s. Abb. 6-4). Derzeit führt die Hohlform kein Wasser, weist jedoch im Zentrum einen vermoorten und stark vernässten Bereich von ca. 30 x 20 m auf. In niederschlagsreichen Jahren steht Pultermoor unter Wasser.

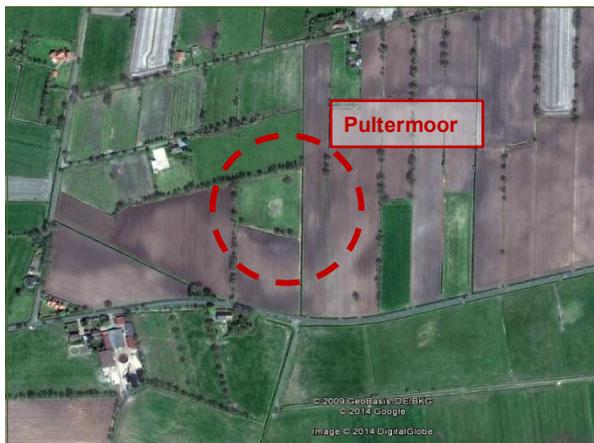


Abbildung 6-3. Satellitenfoto Pultermoor; Google Earth © 2009/2014



Abbildung 6-4. Blickrichtung SW auf Pultermoor (Pfeil). Im Hintergrund Kreisstraße K 106.

Die Luftbildauswertung ergab, dass Pultermoor seit Anfang der 1960er Jahre nachweislich intensiv über Gräben entwässert wird. Oberflächlich sind trotz dieser intensiven Entwässerung nasse und vermoorte Flächen, insbesondere in der morphologisch tiefsten Stelle der Hohlform, ausgebildet.

Die Hohlform wird seit den letzten 50 Jahren überwiegend landwirtschaftlich extensiv als Weidefläche bewirtschaftet. So wird gegenwärtig Pultermoor als Grünfläche genutzt, wie auf dem Satellitenfoto von 2009/2014 gut zu erkennen ist (s. Abb. 6-3). Das nahe Umfeld wird als Ackerland landwirtschaftlich intensiv bewirtschaftet. Ebenso ist Pultermoor von den künstlichen Entwässerungssystemen stark beeinflusst und wird von kleinen Gräben umgeben (s. Abb. 6-2).

### 6.2.2 Ostermoor

Die Hohlform Ostermoor liegt in der Eichenstraße des Timmelfeldes und grenzt mit der Nordseite direkt an die Tannenstraße, in unmittelbarer Nähe zur Hohlform Kolk. Etwa 250 m südlich von Ostermoor befindet sich die Hohlform Pultermoor (s. Abb. 6-2). Morphologisch ist Ostermoor aufgrund der starken anthropogenen Überprägung kaum noch als abflusslose Hohlform zu erkennen (s. Abb.en 6-5 u. 6-6).

Der zentrale Bereich der Hohlform ist gegenwärtig vermoort und weist derzeit eine Größe von ca. 50 x 45 m auf. In den niederschlagsreichen Monaten steht dieser vermoorte und sumpfige Bereich unter Wasser. Ostermoor wird bis auf den vermoorten und vernässten Bereich extensiv als Weideland genutzt. Wegen der Nutzung als Weideland ist Ostermoor vollständig mit Stacheldraht umzäunt. Das unmittelbare Umfeld ist Weide- und Ackerland (s. Abb. 6-5).



Abbildung 6-5. Satellitenfoto Ostermoor; Google Earth © 2009/2014



Abbildung 6-6. Blick von Tannenstraße nach S auf Ostermoor (Pfeil)

Die Luftauswertung ergab, dass Ostermoor seit Anfang der 1960er Jahre intensiv über Gräben entwässert wird und seitdem als trockene Fläche ausgebildet ist. Ebenso existieren trotz intensiver Entwässerung nasse und vermoorte Bereiche, welche gut als dunkle Verfärbungen in den vorliegenden Luftbildern abgebildet sind.

Die Hohlform wird seit den 1960er Jahren überwiegend landwirtschaftlich extensiv als Weidefläche bewirtschaftet; so auch aktuell (s. Abb. 6-5). Der nördliche Teil der Hohlform wurde hingegen bis 1995 als Ackerfläche genutzt. Auf dem Satellitenfoto von 2009/2014 (s. Abb. 6-5) ist der nasse und vermoorte Bereich als quadratische Fläche im Zentrum von Ostermoor gut zu erkennen und grenzt sich deutlich von den landwirtschaftlich betriebenen Flächen ab. Die Entwässerungsgräben sind sichtbar sowie mit Wasser gefüllt und fließen unmittelbar neben Ostermoor (s. Abb. 6-2).

### 6.2.3 Kolk

Die Hohlform Kolk liegt in direkter Nachbarschaft zum Ostermoor an und grenzt mit der Südseite an die Tannenstraße und mit der Nordseite an die Eschenstraße (s. Abb. 6-2). Die Hohlform ist von der Eschenstraße aus am besten zu begehen. Morphologisch ist sie im Gelände als flache, abflusslose und vermoorte Hohlform ausgebildet. Kolk ist jedoch nur schwer topographisch zu erkennen. Sie ist anthropogen stark beeinflusst.

Im Osten von Kolk hat sich an der tiefsten Stelle ein ca. 50 x 20 m großes Wasserloch (Kolk) mit geringer Tiefe ausgebildet, welcher von einem Schilfgürtel umgeben und Namensgeber für

die Hohlform ist. In dieser Zone steht in den niederschlagsreichen Monaten das Wasser (s. Abb.en 6-7 u. 6-8).



Abbildung 6-7. Satellitenfoto Kolk; Google Earth  
© 2009/2014



Abbildung 6-8. Blick von Eschenstraße nach S  
auf Kolk (Pfeil)

Wasserführende lokale Entwässerungsgräben durchziehen die Hohlform längs in Nord-Süd-Richtung (s. Abb. 6-2). Weitere Gräben verlaufen entlang der Eschen- und Tannenstraße. Laut Aussagen der Anwohner wurde Kolk Mitte der 1980er Jahre teilweise mit Sand von benachbartem Sandabbau und Baggergut aus dem nahe gelegenen Sauteler Kanal oder mit Bauschutt verfüllt.

Die Luftbildauswertung belegt, dass Kolk in den letzten 50 Jahren intensiv über Gräben entwässert wird. Die nassen und vermoorten Flächen sind, wie in den benachbarten Hohlformen, trotz intensiver Entwässerung vorhanden und deutlich als dunkle Verfärbungen in den vorliegenden Luftbildern erkennbar. Die Hohlform wird seit den 1960er Jahren überwiegend landwirtschaftlich extensiv als Weidefläche bewirtschaftet. Auf dem Satellitenfoto von 2009/2014 (s. Abb. 6-7) ist der nasse und vermoorte Bereich als hellbraune Fläche gut zu erkennen und grenzt sich deutlich von den landwirtschaftlich betriebenen Flächen ab. Das Wasserloch im östlichen Teil von Kolk ist weiterhin klar sichtbar. Die Entwässerungsgräben durchschneiden die Hohlform und führen ebenfalls Wasser. Gegenwärtig wird der überwiegende Teil der Hohlform als Weidefläche genutzt, der trockene westliche Teil als Ackerland (s. Abb.en 6-7 u. 6-8).

#### 6.2.4 Erlenstraße

Die Hohlform Erlenstraße liegt am Ende der Erlenstraße zum Buchenweg im Osten des Timmelfeldes. In 250 m Entfernung befindet sich der Sauteler Kanal als prägendes Entwässerungssystem. In etwa 100 m nördlicher Richtung liegen die Hohlformen Osterweide und Reitplatzweg (s. Abb. 6-2).

Wie Pultermoor, Ostermoor und Kolk, ist Erlenstraße kaum morphologisch als abflusslose Hohlform zu erkennen, ebenso wenig topographisch (s. Abb. 6-10). Erlenstraße ist flächende-

ckend vermoort und weist vereinzelt nasse Stellen auf. Hier wachsen überwiegend Seggen, Binsen, verschiedene Gräser und Torfmoose. Zum Zeitpunkt der Feldarbeiten im Herbst 2007 stand das Wasser in den tiefen Stellen der Hohlform oberflächennah an.



Abbildung 6-9. Satellitenfoto Erlenstraße; Google Earth © 2009/2014



Abbildung 6-10. Blick nach N auf Erlenstraße (Pfeil)

Erlenstraße wird wegen dieser nassen Bereiche als Grünland genutzt. Das angrenzende Umfeld der Hohlform wird intensiv landwirtschaftlich als Ackerland und Weidefläche bewirtschaftet (s. Abb.en 6-9 u. 6-10).

Die Luftbildauswertung belegt, dass Erlenstraße in den letzten 50 Jahren intensiv über künstlich angelegte Gräben entwässert wird (s. Abb. 6-2). Gegenwärtig sind diese Entwässerungsgräben tief ausgebaggert und führen bis zum Grabenrand Wasser. Trotz der intensiven lokalen Entwässerung sind feuchte und nasse Bereiche ausgebildet, welche als dunkle Verfärbungen auf dem aktuellen Luftbild (s. Abb. 6-9) gut zu erkennen sind. Ebenso wird Erlenstraße seit den 1960er Jahren landwirtschaftlich extensiv als Weideland und Brachfläche bewirtschaftet.

### 6.2.5 Osterweide

Die Hohlform Osterweide befindet sich ca. 250 m westlich des Sauteler Kanals und am nordöstlichen Rand des Timmelerfeldes. Wie die übrigen Hohlformen im Timmelerfeld, ist auch hier der mittlere Bereich von Osterweide vermoort. Innerhalb der Hohlform weisen die tiefsten Stellen Vernässungen auf. Auch diese Hohlform ist seit Anfang der 1970er Jahre als Folge der Flurbereinigung und intensiven Entwässerung nicht mehr wasserführend.

Im Gelände ist Osterweide morphologisch als flache, längliche, in nordsüdlich verlaufende, Senke ausgebildet. Topographisch ist sie jedoch schwer zu erkennen. Laut Aussagen der Anwohner wurde Osterweide, wie auch Kolk, Mitte der 1980er Jahre z. T. mit Sand von benachbartem Sandabbau, Baggergut (Aushubmaterial) aus dem nahe gelegenen Sauteler Kanal oder

mit Bauschutt verfüllt. Zurzeit ist die Hohlform Weidefläche und Grasland und wird somit landwirtschaftlich extensiv bewirtschaftet (s. Abb.en 6-11 u. 6-12).



Abbildung 6-11. Satellitenfoto Osterweide; Google Earth © 2009/2014



Abbildung 6-12. Blick nach N auf Osterweide (Pfeil)

Die Luftbilder der letzten 50 Jahre belegen, dass Osterweide seit den 1960er Jahren landwirtschaftlich extensiv, als Weidefläche bewirtschaftet wird. Ebenso erfolgt eine intensive Entwässerung der Fläche und der nahen Umgebung über künstlich angelegte Gräben sowie den Sauteler Kanal als großes Entwässerungssystem in 250 m Entfernung (s. Abb.en 6-2 u. 6-11). Nasse und vermoorte Flächen haben sich im Bereich von Osterweide trotz dieser intensiven Entwässerung ausgebildet. Sie sind deutlich als dunkel gefärbte Strukturen auf den Luftbildern gut sichtbar. Die Entwässerungsgräben flankieren die Hohlform und führen teilweise Wasser. Der Sauteler Kanal ist als prägendes regionales Entwässerungssystem (s. Abb. 6-2) weiterhin auf dem aktuellen Luftbild gut zu erkennen (s. Abb. 6-11).

### 6.2.6 Reitplatzweg

Die Hohlform Reitplatzweg liegt an der Wegkreuzung Grenzweg zum Reitplatzweg am Nordoststrand des Timmelfeldes in direkter Nachbarschaft zur Hohlform Osterweide (s. Abb. 6-2). Ende der 1980er Jahre befand sich hier ein Bolzplatz, in dessen Bereich 1989 die Bohrungen 10 und 11 abgeteuft wurden. Nach mehr als 20 Jahren ist die Fläche im Bereich der Hohlform mit Laub- und Nadelbäumen dicht bewachsen und der Bolzplatz verschwunden (s. Abb. 6-14). Im östlichen Teil der Hohlform befindet sich jetzt ein künstlich angelegter Teich von ca. 50 m Länge auf privater Fläche (s. Abb. 6-13). Nach Aussagen der Anlieger wurde der Teich vor ca. 30 Jahren angelegt. Gegenwärtig umschließen von drei Seiten breite, tiefe und mit Wasser gefüllte Entwässerungsgräben die Hohlform Reitplatzweg.

Nach Auskünften der Anwohner ist die Hohlform mit Aushubmaterial aus dem westlich benachbarten Tischteich ca. 30 cm aufgefüllt worden (s. Abb. 6-13). Ebenso wurde in den 1980er

Jahren das Unterholz vollständig zurückgeschnitten, sodass eine freie Fläche entstand. Seitdem ist nach Aussagen der Anlieger keine Rodung der Fläche mehr erfolgt.

Die älteren Luftbilder zeigen, dass der Reitplatzweg lediglich bis Mitte der 1980er Jahre als Brachfläche bewirtschaftet wurde. Seitdem hat sich eine Brachfläche mit dichtem Bewuchs aus Bäumen und Sträuchern ausgebildet, die auf dem Satellitenfoto von 2009/2014 weiterhin gut zu erkennen ist (s. Abb. 6-13).



Abbildung 6-13. Satellitenfoto Reitplatzweg; Google Earth © 2009/2014



Abbildung 6-14. Blick nach SE auf Reitplatzweg (Pfeil)

So ist die Hohlform Reitplatzweg aufgrund des dichten Bewuchses entlang der Straße „Reitplatzweg“ nicht sichtbar und zudem nur schwer zugänglich (s. Abb. 6-14). Die Morphologie ist lediglich anhand der Reliefkarte, NIBIS®Kartenserver abzuleiten.

## 7 Ergebnisse

### 7.1 Vorstellung des innovativen Leitfadens

Als Ergebnis der umfangreichen Literaturstudie (s. Literaturverzeichnis) wurde ein innovativer Leitfaden zur eindeutigen Bestimmung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen erarbeitet. In diesem Leitfaden werden erstmalig die Voraussetzungen, die charakteristischen Kriterien und die Methodik für deren Bestimmung formuliert. Auch eine Differenzierung wird möglich sein.

#### 7.1.1 Gliederung des Leitfadens

Der Leitfaden gliedert sich in insgesamt drei Kategorien, beginnend mit den „Voraussetzungen“ als Kategorie 1, benennt in der Kategorie 2 die „Kriterien“ und endet mit der Kategorie 3 der „Methodik“. Die Kategorie 1 untergliedert sich weiter in das Kriterium 1. Paläoklimatische und –hydrologische Voraussetzungen, Kategorie 2 in die Kriterien: 2. Genese, 3. Auftreten, 4. Geometrie, 5. Datierung und 6. Rezente Ausbildung. Die Kategorie 3 enthält die

Kriterien 7. Geologische Einstufung mit Aussage als schutzwürdiges Geotop sowie 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme (s. Tab. 7-1).

KATEGORIE 1 „VORAUSSETZUNGEN“:

Kriterium 1. „*Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen*“ mit den Unterkriterien periglaziales Gebiet nach FRENCH (1996, 2007), Paläo–Geomorphologie und Paläo–Hydrologie nach DE GANS (1981, 1982) und FRENCH (1996, 2007).

Unter dem Kriterium „Periglaziales Gebiet“ sind die eisfreien Gebiete während des Saale-Komplex oder der Weichsel-Kaltzeit, weit außerhalb der Vergletscherungen, zu verstehen, deren klimatischen Bedingungen in der Tabelle 7-1 detailliert aufgelistet werden.

Das Kriterium Paläo–Geomorphologie erfüllen die morphologisch markante Grundmoränen-Höhenrücken des Saale-Komplex. So repräsentieren in den Niederlanden das Drenthe-Plateau (s. Abb. 4-1) und in Ostfriesland die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche (s. Abb. 4-3) diese morphologischen Plateaus bzw. Höhenrücken. Die Paläo–Hydrologie repräsentieren Entwässerungssysteme des Saale-Komplex mit stetigem Sicker- und Grundwasser. So sorgten beispielsweise Entwässerungsrinnen der Geestrücken (Ostfriesland) oder weiträumig verzweigte Entwässerungssystem des Drentsche Aa mit seinen aktiven ehemaligen Nebentälern mit leichter Hangneigung von  $<0,5^\circ$  bis  $1^\circ$  (Drenthe-Plateau) für ein ausreichendes Wasserdargebot.

Die weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddepressionen sind nicht an die Paläo-Geomorphologie oder Paläo-Hydrologie gebunden. Sie bildeten sich durch rein äolische Prozesse im Weichsel-Spätglazial innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Deckschichten aus Flugsanden (DE GANS 1982, DE GANS & CLEVERINGA 1986).

KATEGORIE 2 „KRITERIEN“:

Kriterium 2. „*Genese*“ von *Paläopingos und Flugsanddepressionen*, mit den Unterkriterien Geomorphologische Prozesse, Genese-Typ jeweils nach GARLEFF (1968) bzw. MACKAY (1988, 1998)

Die geomorphologischen Prozesse sind ein weiteres Kriterium für die Bestimmung von Paläopingos und Flugsanddepressionen. Kryogene Prozesse lassen Paläopingos und äolische Prozesse Flugsanddepressionen als Oberflächenformen entstehen. Gemäß der Definition von MACKAY (1988, 1998) entstehen die Paläopingos im hydrologisch / offenen System (Ostgrönland-Typ). Basierend auf den Bewertungskriterien von GARLEFF (1968) entsprechen die Paläopingos den kryogenen Kaven und die Flugsanddepressionen den äolischen Kaven.

Kriterium 3. „*Auftreten*“ von *Paläopingos und Flugsanddepressionen*, mit den Unterkriterien Vorkommen und Lage nach EHLERS (1994, 2011, 2020) bzw. GARLEFF (1968), DE GANS (1981)

sowie Anordnung Paläopingos/Flugsanddepressionen nach DE GANS (1982) und FRENCH (1996).

So sind für Paläopingos die saale- oder weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiete als das Unterkriterium „Vorkommen“ zu verstehen und für die Flugsanddepressionen ausschließlich die weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiete. Das Kriterium „Lage“ sagt aus, wo die Paläopingos und Flugsanddepressionen auf den Geesthochflächen des Saale-Komplex bzw. Plateaus lokalisiert sind. So liegen die Paläopingos an den Seiten bzw. Loben der Geesthochflächen im Bereich der Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex. Beispiele sind das Drenthe-Plateau mit dem Hondsrug System und die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche.

Die Flugsanddepressionen hingegen liegen ausschließlich innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken der Geesthochflächen, die diese flächendeckend überlagern.

Das Unterkriterium „Anordnung nach DE GANS (1982) und FRENCH (1996)“ berücksichtigt, dass Paläopingos in kleinen Gruppen (Clustern) auftreten oder in direkter Nachbarschaft von Flugsanddepressionen sich befinden. Des Weiteren ist eine perlenschnurartige Aufreihung der Paläopingos ausgebildet, besonders entlang der damaligen Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex.

Kriterium 4. „Geometrie“ von Paläopingos und Flugsanddepressionen mit den Unterkriterien Form nach FRENCH (1996), Durchmesser nach MACKAY (1987) und Tiefe sowie Wandneigung, Formtyp nach GARLEFF (1968), wie trichter- oder wannenförmig anhand der Wandneigung, Existenz Ringwall und Höhe bzw. Breite Ringwall nach DE GANS & CLEVERINGA (1981), FRENCH (1996).

Die von GARLEFF (1968) entwickelte Merkmale zur Geometrie für Paläopingos und Flugsanddepressionen wird übernommen, ebenso Grundriss, Hangwinkel und Formtyp.

Die Form ist eine typische Eigenschaft von Paläopingos und Flugsanddepressionen, sodass sie als geeignetes Unterkriterium für die Bestimmung von Paläopingos und Flugsanddepressionen in den Leitfaden aufgenommen und mit „rund oder oval“ angegeben wird (s. Tab. 7-1).

Empirische Untersuchungen haben für die Niederlande gezeigt, dass für Paläopingos ein deutliches Maximum beim Durchmesser von 140 m liegt und nur geringe Häufigkeiten bei Durchmessern von  $\leq 25$  m (DE GANS 1982). Jedoch wird nicht erwähnt, ob sie ebenfalls für die Paläopingos in Ostfriesland durchgeführt wurden, um festzustellen, bei welchen Durchmessern sie ein deutliches Maximum aufzeigen. So bleibt diese Frage unbeantwortet. MACKAY (1987) gliederte die rezenten Pingos anhand der Durchmesser in drei Klassen (klein:  $< 100$  m, mittlerer:  $100 - 200$  m; groß:  $> 200$  m). Weiterhin sind empirisch Durchmesser von  $> 300$  bis  $600$  m von rezenten Pingos belegt (JONES 2012), sodass ergänzend die Begriffe „mega“ für Durchmesser

von >300 – 400 m und „giga“ für solche von >400 m eingeführt werden. Diese Gliederung ist für die Paläopingos und Flugsanddepressionen ebenfalls anzuwenden.

Die Tiefe dient als ein geeignetes und gut anwendbares Kriterium, um die Paläopingos von Flugsanddepressionen zu unterscheiden (DE GANS & SOHL 1981). So sind Paläopingos mit  $\geq 2$  m deutlich tiefer als Flugsanddepressionen, welche nicht tiefer als 2 m sind. Nur vereinzelt wurden bei Flugsanddepressionen Tiefen bis 3,8 m nachgewiesen. Befinden sich Paläopingos hingegen an „geologische Fenster“, sind Tiefen von mehr als 10 m möglich (DE GANS & SOHL 1981). Im Leitfaden wird für die Paläopingos eine Tiefe von  $\geq 2$  m, bzw. an „geologischen Fenstern“ von >10 m und für Flugsanddepressionen von  $\leq 2$  m angegeben. Ebenso wird eine Gliederung der Tiefen in drei Gruppen mit gering (<5 m), mittlere (5 – 10 m) und groß (>10 m) eingeführt (s. Tab. 7-1).

Der von GARLEFF (1968) eingeführte Begriff „Hangwinkel“ wird als Unterkriterium für die Einstufung von Paläopingos und Flugsanddepressionen übernommen und nunmehr als Wandneigung bezeichnet. Die Wandneigung wird anhand dessen Winkel in drei Ausbildungen unterschieden, wobei ein Winkel von  $<30^\circ$  als „flach“, ein Winkel zwischen  $30$  und  $60^\circ$  als „relativ steil“ und letztlich ein Winkel von  $>60^\circ$  als „steil“ definiert wird. Die Paläopingos haben mit  $40 - 80^\circ$  gemäß eben genannter Definition „relativ steil bis steil“ ausgebildete Wandneigung. Die Flugsanddepressionen sind deutlich flacher und haben mit  $20 - 40^\circ$  eine „flache“ bis „relativ steile“ Wandneigung.

Ebenso wird der Begriff „Formtyp“ von GARLEFF (1968) als Unterkriterium übernommen und direkt mittels der eben definierten Wandneigung beschrieben. So ist der Formtyp trichterförmig, wenn die Neigung der Wände zwischen  $40$  und  $80^\circ$  liegt. Bei einem wannenförmigen Formtyp beträgt die Wandneigung von  $20$  bis  $40^\circ$ . Die Paläopingos weisen somit einen trichterförmigen und die Flugsanddepressionen hingegen einen wannenförmigen Formtyp auf.

Das Unterkriterium „Ringwall“ berücksichtigt, dass die Existenz eines Randwalls ein eindeutiges Merkmal für einen Paläopingo ist und zudem einen markanten Unterschied zu den Flugsanddepressionen darstellt (GARLEFF 1968, DE GANS & CLEVERINGA 1981). Zur weiteren Beschreibung des Ringwalls ist aufzuzeigen, ob dieser vollständig, teilweise oder nur in Spuren, vorhanden ist. Ebenso ist anzugeben, aus welchem Sediment der Ringwall aufgebaut ist.

Des Weiteren werden die Höhe und Breite des Ringwalls aus dem geologischen Profilschnitt abgeleitet. Bei den untersuchten Paläopingos lagen die ermittelten Höhen der Ringwalle zwischen  $0,5 - 1,5$  m und die Breiten von  $50 - 100$  m. Diese Werte werden so in den Leitfaden übernommen. Für die Bewertung der Flugsanddepressionen spielen die Merkmale „Existenz Ringwall“ sowie „Höhe/Breite Ringwall“ keine Rolle. Jedoch ist die Existenz eines Ringwalls

neben der Tiefe ein weiteres Kriterium, um Paläopingos von Flugsanddepressionen zu unterscheiden.

Kriterium 5. „Datierung“ von Paläopingos und Flugsanddepressionen mit den Unterkriterien Relative Altersabfolge, absolute Altersdatierung und zeitliche Zuordnung, Wachstum und Zerfall Paläopingo nach (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) sowie Entstehung der Flugsanddepression nach (DE GANS & CLEVERINGA 1986).

Die Datierung der Paläopingos und Flugsanddepressionen soll mittels einer  $^{14}\text{C}$ -Methode oder Pollenanalyse mit zeitlicher Zuordnung nach FIRBAS (1949/54) durchgeführt werden. Die zeitliche Zuordnung berücksichtigt u. a. die Stufengliederung, Klimaperioden und Lithologie sowie Jahre/Alter und sollte gemäß den Vorgaben des LBEG in der aktuellen Fassung erfolgen.

Das Wachstum der Paläopingos erfolgte allem Anschein nach in der Oberen Mittel-Weichsel (Pleniglazial) zum Zeitpunkt der Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.) und wird in diese Klimaperiode datiert. Der Pingozerfall wird ins Weichsel-Spätglazial datiert, der anscheinend in der ersten Interstadialen Phase des Weichsel-Spätglazials, das Meiendorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.), begann, sich im Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.) fortsetzte und im Allerød-Interstadial (13 350 bis 12 700 cal J.v.h.) vollständig abgeschlossen wurde. Ebenso ist mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass der Pingozerfall in den Kaltphasen immer wieder unterbrochen wurde. Ob in diesen Warmphasen das Pingo-Wachstum begünstigt wurde, ist in der Literatur nicht belegt.

Die Flugsanddepressionen hingegen sind deutlich jünger. Ihre Entstehung wird zeitlich ins Weichsel-Spätglazial (14 500 – 11 560 cal J.v.h.) datiert, wobei die Entwicklung wahrscheinlich unabhängig vom Wechsel der Warm- und Kaltphasen des Spätglazials erfolgt ist.

Kriterium 6. „Rezente Ausbildung“ von Paläopingos und Flugsanddepressionen mit den Unterkriterien Morphologische Ausbildung, gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung), Verfüllung Hohlform mit organogenen Sedimenten und Mächtigkeit Verfüllung.

Gegenwärtig sind die Paläopingos und Flugsanddepressionen morphologisch als abflusslose Hohlformen ausgebildet, trocken oder wasserführend (See oder Kolk/Dobbe mit Angabe der Wassertiefe). Sie sind Teilflächen von Grün- oder Waldflächen oder vermoorte Brachflächen mit z. T. dichtem Bewuchs. In Einzelfällen wird die Fläche als Parkanlage genutzt, sodass die Hohlform morphologisch kaum noch als solche zu erkennen ist.

In der Regel dominiert die Nutzung der Flächen als Weideflächen und / oder Ackerland, sodass die extensive bzw. intensive Landwirtschaft die prägende Nutzungsform darstellt und Hinweise auf eine anthropogene Überprägung gibt. Diese anthropogene Überprägung ist in den

Niederlanden und auch in Ostfriesland bei allen Paläopingos und Flugsanddepressionen zu beobachten und charakterisiert beide Regionen. Die Überprägung wird prinzipiell nicht als ein für die Einstufung zu berücksichtigendes Kriterium verstanden; sie ist vielmehr als einen Hinweis zu bewerten, ob die Hohlformen wegen der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung morphologisch im Gelände zu erkennen ist.

Die Paläopingos und Flugsanddepressionen sind heute mit Torf und Mudde oder Faulschlamm (Gyttja) nahezu vollständig verfüllt. Besteht die Verfüllung aus Torfen und Mudden oder Faulschlamm (Gyttja), wird deren Schichtabfolge und -dicke entsprechend angegeben. Die Mächtigkeit bezieht sich auf die gesamte Verfüllung, die bei einem Paläopingo bei  $\geq 2$  m und bei einer Flugsanddepression bei  $\leq 2$  m liegt.

KATEGORIE 3 „METHODIK“:

Kriterium 7. „*Geologische Einstufung*“ mit den Unterkriterien

Kriterien für Paläopingo oder Flugsanddepression werden erfüllt oder nicht erfüllt, geologische Einstufung, Bewertung nach Ad-hoc-AG Geotopschutz (1996).

Die geologische Einstufung wird der Methodik zugeordnet und erfolgt als letzter Schritt in der Bewertung. Hier wird berücksichtigt, ob die jeweiligen Kriterien für Paläopingos und Flugsanddepressionen gemäß dem neuen Leitfaden erfüllt werden. Paläopingos und Flugsanddepressionen sind erdgeschichtliche Bildungen der unbelebten Natur, sodass sie gemäß Definition der Ad-hoc-AG Geotopschutz von 1996 als schutzwürdige Geotope zu bewerten sind.

Kriterium 8. „*Feldarbeiten und geologische Aufnahme*“ mit den Unterkriterien

Bohransatzpunkte innerhalb der Schnittlinie, Endtiefe der Bohrungen, Entnahme von Sedimentproben, Vermessung der Bohransatzpunkte, geologische Aufnahme mittels geologischem Symbolschlüssel LBEG und die geologische Darstellung als Kreuzprofil in zwei Schnitten.

Die Feldarbeiten und geologische Aufnahme stellen ein weiteres Kriterium in der Methodik dar und legen fest, wie die Arbeiten draußen im Gelände durchzuführen und deren Ergebnisse grafisch darzustellen sind. Dieses Kriterium ist zudem als einen ersten Arbeitsschritt für die geologische Erfassung der Hohlformen zu betrachten. Es stellt auch ein praktisches Hilfsmittel für die Feldarbeiten dar, wobei die Unterkriterien hier ihre erste Anwendung finden. Diese Herangehensweise lässt es zu, eine erste geologische Einstufung in einen Paläopingo oder eine Flugsanddepression direkt im Gelände vorzunehmen.

Es ist grundsätzlich zu beachten, dass die geologischen Kriterien zur Bestimmung von Paläopingos und Flugsanddepressionen sicher erfasst werden. So sollten die Bohransatzpunkte innerhalb einer Schnittlinie in einem Abstand von mindestens 50 m gesetzt werden, der je nach

Fragestellung verkleinert oder vergrößert wird. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass die Endtiefen der Bohrungen bis zum Geschiebemergel bzw. –lehm der Haupt Drenthe abzuteufen sind. Bei Hinweis auf tiefe Paläopingos an einem „geologischen Fenster“ ist bis zu einer maximalen Endtiefe von 20 m u.GOK zu bohren.

Für die Altersbestimmung sind die Sedimentproben aus den organischen bzw. organogenen Schichten der morphologisch tiefsten Bohrung zu entnehmen. Bei Proben für die Pollenanalyse ist zu beachten, dass das Probenintervall in Torfschichten 5 cm und in Muddeschichten 10 cm beträgt. Die Lagerung der Proben erfolgt kühl bei 4°C. Die Ergebnisse der Pollenanalyse werden zeichnerisch in Pollendiagrammen dargestellt.

Weiterhin werden die Bohransatzpunkte der Höhe nach nivelliert und ihre Lage als Gauß-Krüger-Koordinaten aus der georeferenzierten DGK 5 ermittelt. Für die geologische Aufnahme ist der geologische Symbolschlüssel nach LBEG Hannover in der aktuellen Fassung zu verwenden. Die geologische Darstellung erfolgt in einem Kreuzprofil mit zwei aussagefähigen Schnittlinien, welche anhand der DGK 5 als Vorbereitung der Feldarbeiten festgelegt werden. Der Kreuzpunkt der beiden Profile ist die morphologisch tiefste Bohrung.

Die nachfolgende Tabelle 7-1 fasst den erarbeiteten Leitfaden zur Bestimmung von Paläopingos und Flugsanddepressionen tabellarisch zusammen. Gelten Unterkriterien sowohl für Paläopingos als auch für Flugsanddepressionen, werden diese nicht getrennt aufgeführt.

Tabelle 7-1. Innovativer Leitfaden zur Bestimmung von Paläopingos und Flugsanddepressionen

<b>KATEGORIE 1 VORAUSSETZUNGEN</b>		
<b>Kriterium 1. Paläoklimatische und –geohydrogische Voraussetzungen</b>		
<b>Unterkriterien</b>	<b>Paläopingo</b>	<b>Flugsanddepression</b>
Periglaziales Gebiet (FRENCH 1996, 2007):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen des Saale-Komplex oder in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima mit Tundravegetation, ggf. vegetationslos und jahreszeitlichen Temperaturunterschieden</li> <li>– Temperaturen nahe 0°C, damit eine dauerhafte Wasserquelle für Genese Paläopingo gegeben ist</li> <li>– Mächtigkeit der Auftauschicht („Active Layer“) ist max. 2 m</li> <li>– Permafrost (Dauerfrostboden): geringmächtig und diskontinuierlich (lückenhaft)</li> <li>– Periglaziale Prozesse</li> </ul>	– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit
Paläo–Geomorphologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	– Morphologisch markanter Grundmoränen-Höhenrücken/ Plateaus mit topografischem Gradienten für ein hydraulisch / offenes System	--

Unterkriterien	Paläopingo	Flugsanddepression
Paläo-Hydrologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entwässerungssysteme des Saale-Komplex mit stetigem Wasserdargebot (Sicker- und Grundwasser), z. B.               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Entwässerungsrinnen der Geestrücken oder</li> <li>2. weiträumig verzweigte Entwässerungssysteme, aktiven ehemaligen Nebentälern mit leichter Hangneigung von &lt;math&gt;&lt;0,5^\circ&lt;/math&gt; bis &lt;math&gt;1^\circ&lt;/math&gt;</li> <li>3. Kleines Wasservolumen</li> </ol> </li> </ul>	--
<b>KATEGORIE 2 KRITERIEN</b>		
<b>Kriterium 2. Genese</b>		
Unterkriterien	Paläopingo	Flugsanddepression
Geomorphologische Prozesse (GARLEFF 1968):	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)	Äolisch (Oberflächenform: Flugsanddepression)
Genese-Typ (GARLEFF 1968):	Kryogene Kave	Äolische Kave
Genese-Typ (MACKAY 1988, 1998):	Hydraulisch / offenes System (Ostgrönland-Typ)	--
<b>Kriterium 3. Auftreten</b>		
Unterkriterien	Paläopingo	Flugsanddepression
Vorkommen (EHLERS 1994, 2011):	– saale- oder weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	– weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet
Lage (GARLEFF 1968, DE GANS 1981):	– Grundmoränen-Höhenrücken/ Plateaus des Saale-Komplex (z. B. Drenthe-Plateau mit Hondsrug System, Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche an Seiten/Loben im Bereich Entwässerungsrinnen	– Innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken auf den Geesthochflächen
Anordnung Paläopingo / Flugsanddepression (DE GANS 1982, FRENCH 1996):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– In kleinen Gruppen (Clustern)</li> <li>– Aufreihung als Perlenschnur, in Ostfriesland entlang der Entwässerungsrinnen</li> <li>– Nachbarschaft von Flugsanddepressionen</li> </ul>	– In Nachbarschaft von Paläopingos
<b>Kriterium 4. Geometrie</b>		
Unterkriterien	Paläopingo	Flugsanddepression
Form (FRENCH 1996):	Rund oder oval	Rund oder oval
Durchmesser (MACKAY 1987) (kleiner: <math><100\text{ m}</math>; mittlerer: <math>100 - 200\text{ m}</math>; großer: <math>>200 - 300\text{ m}</math>, mega: <math>>300 - 400\text{ m}</math>, giga: <math>>400\text{ m}</math>):	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\geq 100\text{ m}</math></li> <li>&gt;300 m (Mega-Paläopingo)</li> <li>&gt;400 m (Giga-Paläopingo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\geq 50\text{ m}</math></li> <li>&gt;300 m (Mega-Flugsanddepression)</li> <li>&gt;400 m (Giga-Flugsanddepression)</li> </ul>
Tiefe (geringe: <math><5\text{ m}</math>; mittlere: <math>5 - 10\text{ m}</math>; große: <math>>10\text{ m}</math>, geändert nach DE GANS & SOHL (1981):	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\geq 2\text{ m}</math></li> <li>&gt;10 m („geologisches Fenster“)</li> </ul>	$\leq 2\text{ m}$
Wandneigung („flach“: <math><30^\circ</math>; „relativ steil“: <math>30 - 60^\circ</math>; „steil“: <math>>60^\circ</math>):	„relativ steil“: <math>30 - 60^\circ</math> bis „steil“: <math>>60^\circ</math>	flach: <math><30^\circ</math>
Formtyp (GARLEFF 1968):	Trichterförmig: <math>40 - 80^\circ</math> („relativ steil“ bis „steil“)	Wannenförmig: <math>20 - 40^\circ</math> („flach“ bis „relativ steil“)
Existenz Ringwall (GARLEFF 1968, DE GANS & CLEVERINGA 1981):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vollständig, teilweise oder in Spuren vorhanden</li> <li>– Angabe erbohrten Sediments</li> </ul>	--
Höhe / Breite Ringwall:	0,5 bis 1,5 m / 50 – 100 m	--

<b>Kriterium 5. Datierung</b>		
<b>Unterkriterien</b>	<b>Paläopingo</b>	<b>Flugsanddepression</b>
Relative Altersabfolge:	Pollenanalyse mit zeitlicher Zuordnung nach FIRBAS (1949/54)	
Absolute Altersdatierung:	<sup>14</sup> C-Methode (Radiokarbon-Methode) mit zeitlicher Zuordnung nach LBEG, aktuelle Fassung	
Zeitliche Zuordnung:	Stufengliederung, Klimaperioden, Lithologie, Jahre/Alter etc. nach LBEG, aktuelle Fassung	
Wachstum Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial: Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.))	--
Zerfall Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	Warmphasen des Weichsel-Spätglazials: Meiendorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.), Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.), Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.), vollständig	--
Entstehung Flugsanddepression (DE GANS & CLEVERINGA 1986) (zeitliche Angabe nach LBEG):	--	Weichsel-Spätglazial: (14 500 – 11 560 cal J.v.h.)
<b>Kriterium 6. Rezente Ausbildung</b>		
<b>Unterkriterien</b>	<b>Paläopingo</b>	<b>Flugsanddepression</b>
Morphologische Ausbildung:	– Hohlform (trocken / vernässt / wasserführend: Wassertiefe)	
Gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung):	– Grün- oder Waldfläche, Forst, Parkanlage – See oder Kolk/Dobbe (Wasserstelle) – Landwirtschaftliche Nutzfläche: Weidefläche und/oder Ackerland – Brachfläche, vermoort oder mit dichtem Bewuchs	
Verfüllung Hohlform mit organogenen Sedimenten:	Torf, Mudde oder Faulschlamm (Gyttja)	Torf, Mudde oder Faulschlamm (Gyttja)
Mächtigkeit Verfüllung:	≥2 m	≤2 m
<b>KATEGORIE 3 METHODIK</b>		
<b>Kriterium 7. Geologische Einstufung</b>		
<b>Unterkriterien:</b>		
Kriterien für Paläopingo:	Erfüllt / nicht erfüllt	
Kriterien für Flugsanddepression:	Erfüllt / nicht erfüllt	
Geologische Einstufung:	Paläopingo oder Flugsanddepression	
Bewertung nach Ad-hoc-AG Geotopschutz (1996):	Schutzwürdiges Geotop	
<b>Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme</b>		
<b>Unterkriterien:</b>		
Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie:	Abstand von mind. 50 m	
Endtiefe der Bohrungen:	Endtiefe Bohrung bis in den Geschiebelehm- bzw. -mergel des Saale-Komplex, bzw. max. 20 m u.GOK für tiefe Paläopingos („geol. Fenster“)	
Entnahme von Sedimentproben:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proben aus organischen bzw. organogenen Schichten für absolute Altersdatierung und/oder Pollenanalyse</li> <li>– Pollenanalyse: Probenintervall: Torf: 5 cm; Mudde: 10 cm</li> <li>– Lagerung der Proben bei 4°C</li> <li>– zeichnerische Darstellung der pollenanalytischen Auswertung in Pollendiagrammen</li> </ul>	
Vermessung der Bohransatzpunkte:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nivellieren BAP nach Höhe</li> <li>– Lage Bohrpunkte als Gauß-Krüger-Koordinaten, aus georeferenzierter DGK 5</li> </ul>	

Unterkriterien:	
Geologische Aufnahme:	Geologischer Symbolschlüssel gemäß LBEG, aktuelle Fassung
Geologische Darstellung:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kreuzprofil in zwei aussagefähigen Profilschnitten,</li> <li>– Kreuzpunkt beider Profile: die morphologisch tiefste Bohrung</li> </ul>

### 7.1.2 Konkrete Beispiele – Paläopingo vs. Flugsanddepression

Es wurden insgesamt drei konkrete Beispiele ausgewählt, die einerseits Ostfriesland (1) und das Drenthe-Plateau (2) gut repräsentieren und andererseits sich der Leitfaden gut demonstrieren lässt. Es sind die aus der Literaturstudie bekannten Paläopingos Frauenmeer im Timmelfeld und Mekelermeer sowie die Flugsanddepression im Ballooërveld (s. Tab. 7-2).

Tabelle 7-2. Konkrete Beispiele – Paläopingo vs. Flugsanddepression

Hohlformen	Frauenmeer (FM)	Mekelermeer	FD Ballooërveld
<b>Gauß-Krüger Koordinaten</b>	H: 5916518,15 R: 3402471,36	H: 5848804,48 R: 2542406,79	H: 5876356,97 R: 2543551,96
<b>KATEGORIE 1 VORAUSSETZUNGEN</b>			
<b>Kriterium 1. Paläoklimatische und –geohydrogische Voraussetzungen</b>			
Periglaziales Gebiet (FRENCH 1996, 2007):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Temperaturen sind nahe 0°C</li> <li>– Dauerhafte Wasserquelle für Genese Paläopingo ist gegeben</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Temperaturen nahe 0°C</li> <li>– Dauerhafte Wasserquelle für Genese Paläopingo ist gegeben</li> <li>– Auftauschicht („Active Layer“): max. 2 m mächtig</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Temperaturen nahe 0°C</li> <li>– Auftauschicht („Active Layer“): max. 2 m mächtig</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> </ul>
Paläo-Geomorphologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche	Drenthe-Plateau	--
Paläo-Hydrologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex vom Geestrücken mit stetigem Wasserdargebot	Weiträumig verzweigte Gewässersysteme im ehem. Nebental mit Hangneigung von 7°, aktiv bis Ende Pleniglazial	--
<b>KATEGORIE 2 KRITERIEN</b>			
<b>Kriterium 2. Genese</b>			
Geomorphologische Prozesse (GARLEFF 1968):	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)	Äolisch (Oberflächenform: Flugsanddepression)
Genese-Typ (GARLEFF 1968):	Kryogene Kave	Kryogene Kave	Äolische Kave
Genese-Typ (MACKAY 1988, 1998):	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)	--
<b>Kriterium 3. Auftreten</b>			
Vorkommen (EHLERS 1994, 2011):	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet
Lage (GARLEFF 1968, DE GANS 1981):	Westseite Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche	Drenthe-Plateau	Hondsrug-System, westlich "Rolde-Rücken"

Hohlformen	Frauenmeer (FM)	Mekelermeer	FD Ballooërveld
Anordnung Paläopingo / Flugsanddepression (DE GANS 1982, FRENCH 1996):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Paläopingos Ostermoor, Kolk benachbart</li> <li>– Aufreihung Perlenschnur (Ostermoor, Kolk, Frauenmeer)</li> <li>– Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide, Reitplatzweg benachbart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weitere Paläopingos benachbart</li> <li>– Keine Flugsanddepressionen benachbart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 3 Paläopingos (Cluster) benachbart</li> <li>– 9 Flugsanddepressionen benachbart</li> </ul>
<b>Kriterium 4. Geometrie</b>			
Form (FRENCH 1996):	Oval	Oval	Oval
Durchmesser (MACKAY 1987) (kleiner: <100 m; mittlerer: 100 – 200 m; großer: >200 – 300 m, mega: >300 – 400 m, giga: >400 m):	Ca. 180/150 m (mittel)	200 m (mittel)	Ca. 70 m (klein)
Tiefe (geringe: <5 m; mittlere: 5 – 10 m; große: >10 m), geändert nach DE GANS & SOHL (1981):	14 m (groß, im Bereich von „geologischem Fenster“)	12 m (groß, im Bereich von „geologischem Fenster“)	2 m (gering)
Wandneigung („flach“: <30°; „relativ steil“: 30 – 60°; „steil“: >60°):	Steil (ca. 75 – 80°)	„Steil“ (ca. 80°)	„Flach“ (<30°)
Formtyp (GARLEFF 1968):	Trichterförmig	Trichterförmig	Wannenförmig
Existenz Ringwall (GARLEFF 1968, DE GANS & CLEVERINGA 1981):	Teilweise vorhanden, halbkreisförmig aus ungeschichteten kiesigen Sanden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vollständig vorhanden</li> <li>– Umgelagerte Hangablagerungen des ehem. Nebentals: unsortierte Sande mit Kiesen und Tillfragmenten</li> </ul>	--
Höhe / Breite Ringwall:	1 m / 100 m	Ca. 1 – 1,5 m / 100 m	--
<b>Kriterium 5. Datierung</b>			
Relative Altersabfolge (Pollenanalyse):	Mudde in ca. 750 – 800 cm Tiefe: ca. 12 000 J.v.h. (Jüngere Dryas)	Gyttja-Schicht: Zone Ia: 12 900 – 12 400 B.P. (Weichsel-Spätglazial)	--
Absolute Altersdatierung:	Mudde in ca. 2 – 3 m Tiefe, FM umrandend u. unterh. Rw: 20 000 B.P. (Oberes Mittel-Weichsel: Phase extremer Abkühlung (22 000–18 000 B.P.))	Gyttja-Schicht: 12 380 B.P. (Weichsel-Spätglazial)	--
Wachstum Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	Vmtl. Oberes Mittel-Weichsel: Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.)	20 000 B.P. (Oberes Pleistozän: Phase extremer Abkühlung)	--
Zerfall Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982), (zeitliche Angabe nach LBEG):	Vmtl. Beginn Meiendorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.), vmtl. vollständig Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.)	Innerhalb des Bölling-Interstadials	--
Entstehung Flugsanddepression (DE GANS & CLEVERINGA 1986) (zeitliche Angabe nach LBEG):	--	--	13 000 – 9 000 B.P. (Weichsel-Spätglazial – Boreal/Atlantikum)
<b>Kriterium 6. Rezente Ausbildung</b>			
Morphologische Ausbildung:	Hohlform, wasserführend (Wassertiefe: 4 m)	Hohlform, wasserführend, Wassertiefe: max. 6,5 m	Hohlform, wasserführend, Wassertiefe: 1,5 m
Gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung):	Ostseite: 100 m breiter See, Westseite: vermoorte Brachfläche	See mit 30 – 100 m Verlandungszone	Heidefläche
Verfüllung Hohlform mit organogenen Sedimenten:	Mudde: max. 3,5 m	Gyttja: max. 5,5 m	Torf: 0,5 m
Mächtigkeit Verfüllung:	Max. 3,5 m	Max. 5,5 m	0,5 m
<b>KATEGORIE 3 METHODIK</b>			
<b>Kriterium 7. Geologische Einstufung</b>			
Kriterien für Paläopingo:	Erfüllt	Erfüllt	Nicht erfüllt
Kriterien für Flugsanddepression:	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Erfüllt

Hohlformen	Frauenmeer (FM)	Mekelermeer	FD Ballooërveld
Geologische Einstufung:	Paläopingo	Paläopingo	Flugsanddepression
Bewertung nach Ad-hoc-AG Geotop-schutz (1996):	Schutzwürdiges Geotop	Geotop	Geotop
Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme			
Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie:	Erfolgt	Erfolgt	--
Endtiefe der Bohrungen:	2. Bohrkampagne: 30 Bohrungen bis max. 4 m Tiefe 1. Bohrkampagne: 18 Bohrungen bis max. 16 m Tiefe (E-W-Profil)	40 Bohrungen bis max. 12 m Tiefe	Bohrungen bis max. 2 m Tiefe
Entnahme von Sedimentproben:	Erfolgt	--	--
Vermessung der Bohransatzpunkte:	--	--	--
Geologische Aufnahme:	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt
Geologische Darstellung:	Kreuzprofil als Profilschnitt in Nord-Süd-Richtung und Ost-West-Richtung	Profilschnitt Nordwest- Südost	Profilschnitt Südwest- Nordost

Die drei Beispiele zeigen anschaulich, dass der neue Leitfaden sehr gut funktioniert und dass man ein hervorragendes Werkzeug bzw. Instrumentarium für die eindeutige Bestimmung in Händen hält. Der Leitfaden ermöglicht es auch zwischen Paläopingos und Flugsanddepressionen zu differenzieren. So sind die Tiefe und die Existenz von Ringwällen ein wichtiges Unterscheidungskriterium.

Der Leitfaden wird erstmals für die Bestimmung der sechs Hohlformen im eigenen Untersuchungsgebiet Timmelfeld als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos und Flugsanddepressionen angewendet (s. Kap. 8.1) sowie an Beispielen in Ostfriesland demonstriert (s. Kap. 8.2 u. Anh. C.1). Ebenso wird der Leitfaden an den bekannten Literaturbeispielen auf dem Drenthe-Plateau demonstriert (s. Kap. 8.3 u. Anh. C.2).

Des Weiteren ist es mit dem Leitfaden möglich, Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede, zwischen den weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau und der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche in Ostfriesland aufzuzeigen (s. Tab. 8-3 u. 8-4).

## 7.2 Eigene Untersuchungen im Timmelfeld

### 7.2.1 Feldarbeiten und geologische Aufnahme

Die Feldarbeiten im Timmelfeld wurden 2006 und 2007 Ende Oktober bis Anfang November sowie Ende März bis Anfang April 2007 durchgeführt (s. Tab. 7-3). Um den geologischen Schichtenaufbau sicher zu erfassen, wurden alle fünf Hohlformen im Kreuzprofil abgeteuft. (s. Abb.en. 7-15 bis 7-19 u. Tab.en. 7-3 u. 7-4). Die Endtiefen der einzelnen Bohrungen variierten, abhängig, wann der Geschiebelehm oder Geschiebemergel des Saale-Komplex erbohrt wurde. Die Anzahl der für jede Hohlform entnommenen Sedimentproben wurden ebenfalls dokumentiert (s. Tab. 7-3).

Der Schnittverlauf der Kreuzprofile für die einzelnen Hohlformen sowie ihre Kreuzpunkte an der morphologisch tiefsten Bohrung sind in der Tabelle 7-4 zusammengefasst.

In den Bohrungen HF4-B5, HF4-B5a und HF4-B8 wurde in 2 und 2,5 m Tiefe Schwemmsand angetroffen, welcher zudem das Bohrgut in der Bohrung HF4-B5 aus der Nut trieb. Dieser Schwemmsand erschwerte das Bohren in diesen Horizonten und die Bohrstangen waren nur schwer zu ziehen. Die Bohrung HF4-B5 wurde wegen der Schwemmsande in 3 m u. GOK abgebrochen und um ca. 5 m zur B5 (HF4-B5a) umgesetzt. Auch diese Bohrung musste wegen der Schwemmsande in 5 m u. GOK abgebrochen werden. Ebenso erfolgte in der Bohrung HF4-B8 der Bohrabbruch in 5 m u. GOK. Der Geschiebelehm des Saale-Komplex in der Bohrung HF4-B10 war schwer zu durchteufen und wurde deshalb im 5. Bohrmeter in 4,3 m Tiefe abgebrochen.

In den Bohrungen HF5-B5 und HF5-B6 wurden eemzeitliche, zum Teil stark zersetzte, Niedermoortorfe in Tiefe von 5 bzw. 6,7 m u. GOK erbohrt, welche wegen ihrer dichten Lagerung mit dem Bohrgerät nicht zu durchteufen waren. Beide Bohrungen wurden in Tiefen von 7,45 bzw. 8 m u. GOK abgebrochen.

Tabelle 7-3. Zusammenfassung Feldarbeiten und geologische Aufnahme

Hohlformen	Bohrdatum	Anzahl Bohrungen	max. Endtiefe Bohrung	Sedimentproben
Pultermoor	27.03. bis 29.03.2007	10 Bohrungen (HF1-B1 bis HF1-B10)	7 m u. GOK (HF1-B4 u. HF1-B7)	76
	13.09.2008	2 Bohrungen (HF1-B1a u. HF1-B7a)	3 m u. GOK	
Ostermoor	26.10. bis 01.11.2007	15 Bohrungen (HF2-B1 bis HF2-B15)	9,5 m u. GOK (HF2-B11)	269
Kolk	30.03. bis 05.04.2007	15 Bohrungen (HF3-B1 bis HF3-B15)	9 – 9,7 m u. GOK (HF3-B4 u. HF3-B2)	305
	12.09.2008	HF3-B2a u. HF3-B2b	10,7 u. 11 m u. GOK	
Buchenweg	23.10. bis 25.10.2007	10 Bohrungen (HF4-B1 bis HF4-B10)	8 m u. GOK (HF4-B3)	59
Osterweide	17.10. bis 22.10.2006 und 13.09.2008	9 Bohrungen (HF5-B1 bis HF5-B9)	10 m u. GOK (HF5-B3)	214

Ergänzend zu den Bohrungen im Frühjahr und Herbst 2007, wurden am 12.09. und 13.09.2008 weitere Bohrungen innerhalb der Hohlformen Pultermoor in Höhe der Bohrungen HF1-B1 und HF1-B7 (HF1-B1a und HF1-B7a) und Kolk in Höhe der Bohrung HF3-B2 (HF3-B2a u. HF3-B2b) niedergeteuft. Ebenso wurden für die Pollenanalyse Proben gezielt aus den Muddehorizonten alle 5 cm entnommen. Die Proben HF3-B2a.1 (7,05 – 7,1 m) bis HF3-B2a.16 (7,9 – 7,95 m) sind fehlerbehaftet, da die Bohrung von der Geländeoberkante (GOK) bis 8 m Tiefe durchgängig gebohrt wurde, ohne sie meterweise zu ziehen und die Proben aus den jeweiligen Horizonten zu entnehmen. Diese

Proben wurden daher nicht in die Bewertung genommen. Die vollständige Liste mit den entnommenen Proben aus den Torf- und Muddeschichten ist im Anhang B-1 aufgeführt.

Tabelle 7-4. Schnittverlauf der Kreuzprofile für die Hohlformen im Timmelfeld

Hohlformen	Profilschnitte mit Bohrungen	Schnittpunkt /Kreuzpunkt beider Profilschnitt	Tiefenbereiche Profilschnitt
Pultermoor	A/A' in Ost-West-Richtung: HF1-B10 (E), HF1-B8, HF1-B4, HF1-B1, HF1-B2 u. HF1-B3 (W)  B/B' in Nord-Süd-Richtung: HF1-B5 (N), HF1-B6, HF1-B1, HF1-B7 u. HF1-B9 (S)	Bohrung HF1-B1	+1,7 bis -6 m NN  +1,7 bis -5,9 m NN
Ostermoor	C/C' in Ost-West-Richtung: HF2-B15 (E), HF2-B14, HF2-B13, HF2-B12, HF2-B1, HF2-B5, HF2-B6 u. HF2-B7 (W)  D/D' in Nord-Süd-Richtung: HF2-B11 (N), HF2-B10, HF2-B9, HF2-B8, HF2-B1, HF2-B2, HF2-B3 u. HF2-B4 (S)	Bohrung HF2-B1	+2,5 bis -7,8 m NN  +2,6 bis -7,8 m NN
Kolk	E/E' in Ost-West-Richtung: HF3-B10 (E), HF3-B9, HF3-B8, HF3-B2a, HF3-B2, HF3-B4, HF3-B5, HF3-B6 u. HF3-B7 (W)  F/F' in Nord-Süd-Richtung: HF3-B3 (N), HF3-B15, HF3-B1, HF3-B2a (proj.), HF3-B2b (proj.), HF3- B11, HF3-B12, HF3-B13 u. HF3- B14 (S)	zwischen Bohrung HF3-B2 u. HF3-B8	+3,2 bis -9,5 m NN  +2,8 bis -9,5 m NN
Erlenstraße	G/G' in Ost-West-Richtung: HF4-B8 (E), HF4-B7, HF4-B4 (proj.), HF4-B1, HF4-B9 u. HF4-B10 (W)  H/H' in Nord-Süd-Richtung: HF4-B6 (N), HF4-B5a, HF4-B1, HF4-B2 u. HF4-B3 (S)	Bohrung HF4-B1	+4,3 bis -4,3 m NN  +3,7 bis -4,3 m NN
Osterweide	I/I' in Ost-West-Richtung: HF5-B8 (E), HF5-B1+B1D, HF5-B2, HF5-B3, HF5-B4 u. HF5-B9 (W)  J/J' in Nord-Süd-Richtung: HF5-B1+B1D (N), HF5-B7, HF5-B5 u. HF5-B6 (S)	Bohrung HF5-B1+B1D	+3,3 bis -7,8 m NN  +3,1 bis -6,6 m NN
Reitplatzweg	Nord-Süd-Richtung: B10 u. B11	--	+2,5 bis -3 m NN

Die nachfolgenden Abbildungen 7-1 bis 7-5 stellen die Kreuzprofile der Hohlformen Pultermoor, Ostermoor, Kolk, Erlenstraße und Osterweide im Timmelfeld zeichnerisch dar.

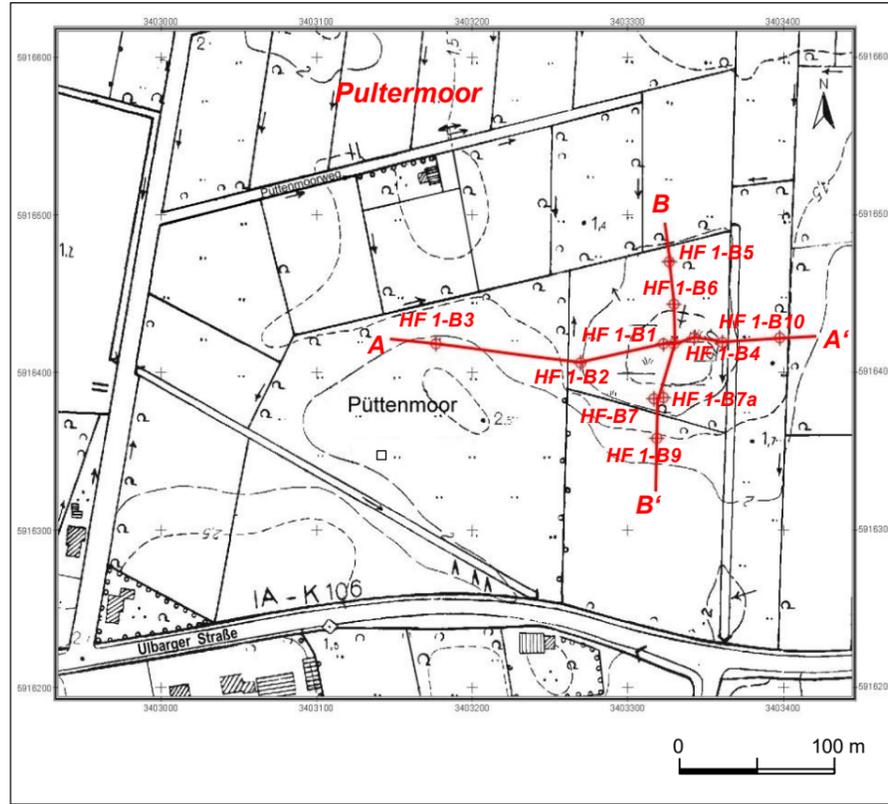


Abbildung 7-1. Kreuzprofil Pultermoor mit abgeteufte Bohrungen HF1-B1/B1a bis HF1-B10 und HF1-B7a, Blatt 2611/08 Westgroßefehn

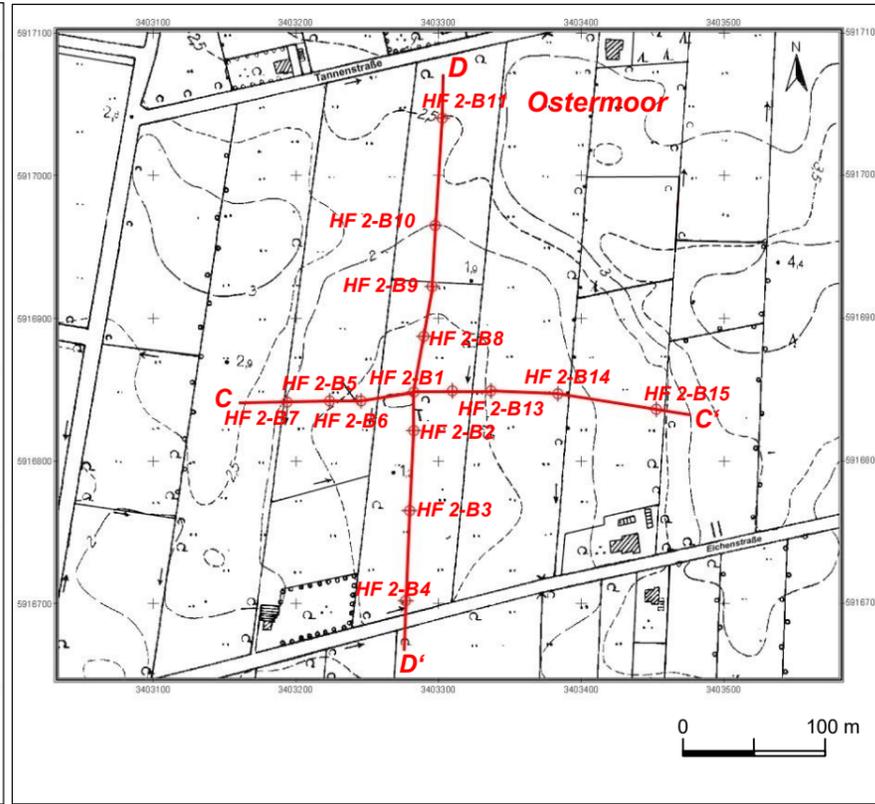


Abbildung 7-2. Kreuzprofil Ostermoor mit abgeteufte Bohrungen HF2-B1 bis HF2-B15, Blatt 2611/08 Westgroßefehn

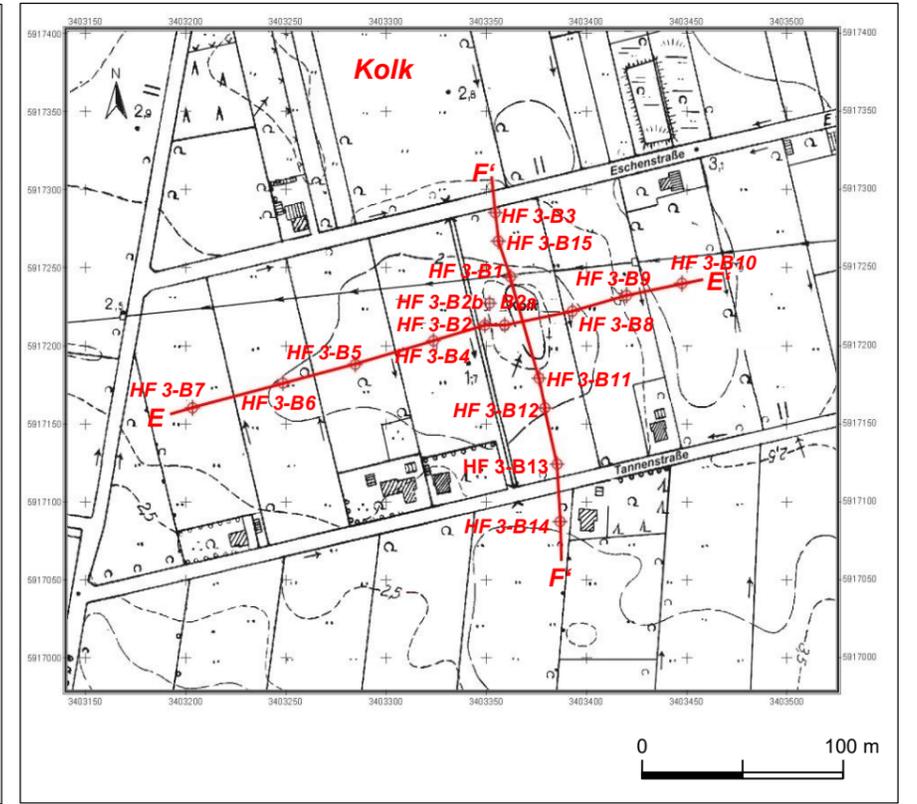


Abbildung 7-3. Kreuzprofil Kolk mit abgeteufte Bohrungen HF3-B1 bis HF3-B15, Blatt 2611/08 Westgroßefehn

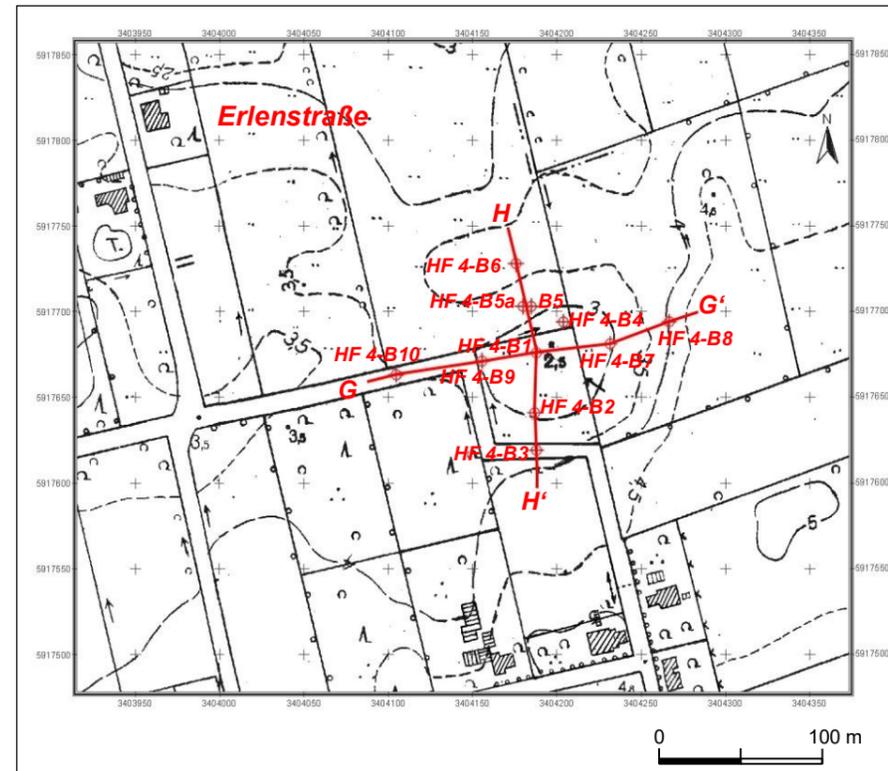


Abbildung 7-4. Kreuzprofil Erlenstraße mit abgeteufte Bohrungen HF4-B1 bis HF4-B10, Blätter 2611/03 Mittelefehn u. 2611/09 Ulbargen

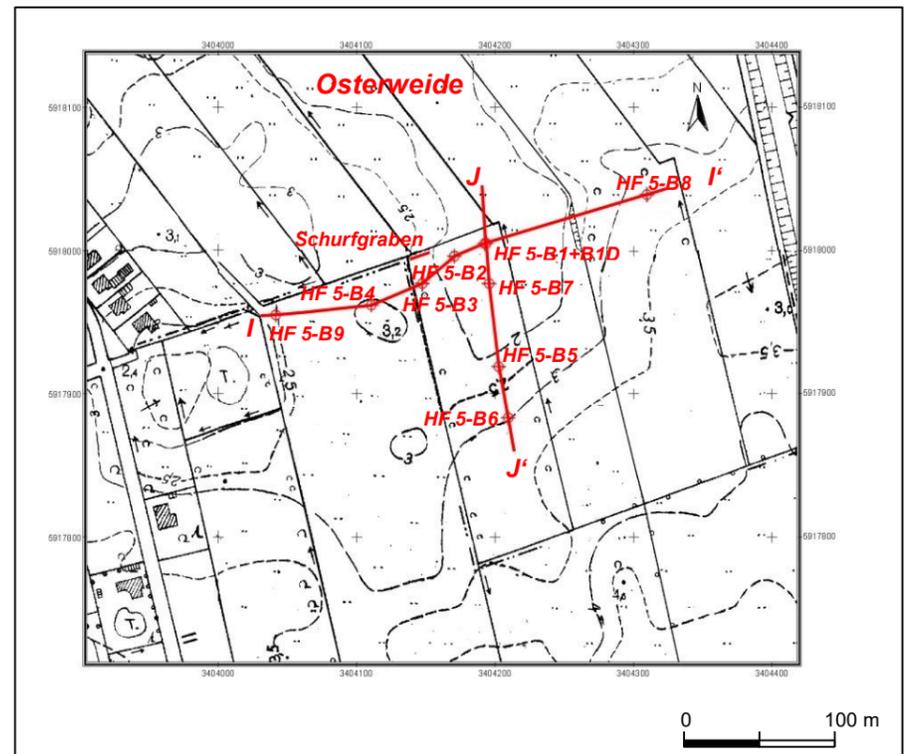


Abbildung 7-5. Kreuzprofil Osterweide mit abgeteufte Bohrungen HF5-B1 bis HF5-B9 und Schurfgraben, Blatt 2611/09 Ulbargen

## 7.2.2 Schurfgraben an NW-Seite von Osterweide

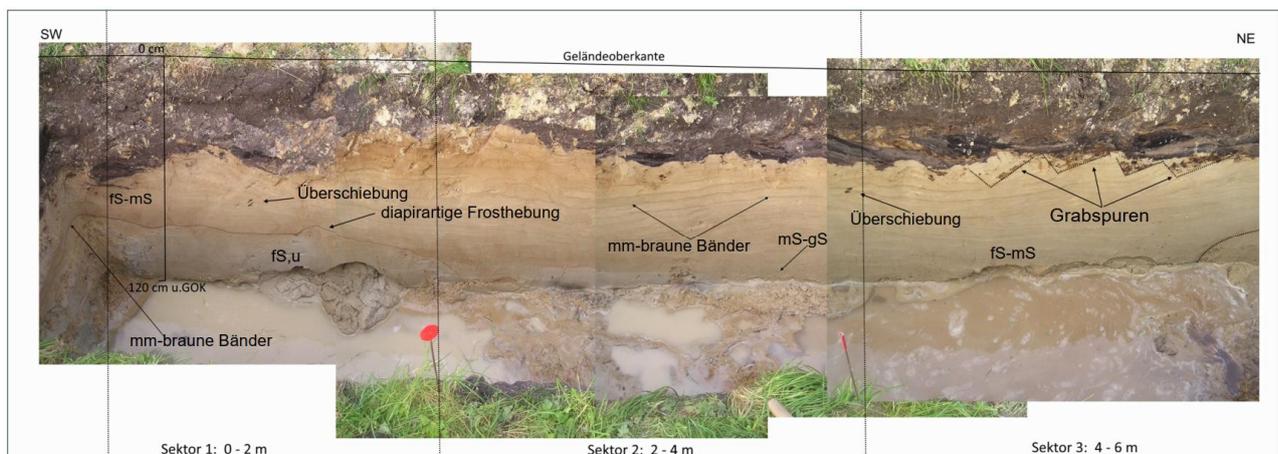
Im Oktober 2006 wurde an der Nordwestseite von Osterweide in Höhe der Bohrung HF5-B3 temporär ein Schurfgraben angelegt (s. Abb.en. 7-5, 7-6 u. 7-7). Ziel war es Hinweise zu finden, ob das Timmelfeld während der Weichsel-Kaltzeit im periglazialen Bereich lag, ein wichtiges Kriterium für den Leitfaden zur Bestimmung von Paläopingos und Flugsanddepressionen (s. Kap. 7.1).

Der Schurfgraben wies eine Länge von 10 m und eine Breite von 2 m auf, deren beiden Längsseiten für eine genaue Profilaufnahme in eine Nordwand und Südwand unterschieden wurde. Im Vorfeld wurden Eisenstäbe im Bereich des geplanten Schurfgrabens ein in einem Abstand von 2 m positioniert, sodass insgesamt fünf Sektoren im Bereich des Schurfgrabens entstanden:

Sektor 1: 0 – 2 m    Sektor 2: 2 – 4    Sektor 3: 4 – 6 m  
Sektor 4: 6 – 8 m    Sektor 5: 8 – 10 m.

Die Tiefe des Schurfgrabens variierte zwischen 120 cm u.GOK an der SW-Seite (s. Abb. 7-6) und 80 cm u.GOK an der NE-Seite (s. Abb. 7-7). Die Längsachse des Schurfgrabens verlief in NE-SW-Richtung. Nach Aufnahme und Fotodokumentation wurde der Schurfgraben zugeschüttet und mit der ursprünglichen Grasnarbe als Deckschicht wieder geschlossen.

Im Schurfgraben war gut zu erkennen, dass die aufgeschlossene weichsel-kaltzeitliche Flugsanddecke von ca. 50 cm dicken dunkelbraunen Podsolboden als Prozess der postglazialen Bodenbildung überlagert wurde. Der A-Horizont war mit ca. 30 cm Pflughorizont (Ap), der Ah-Horizont mit ca. 5 cm und der Ae Horizont mit ca. 1 cm ausgebildet, ebenso der B-Horizont – Podsol (russische Asche) / Anreicherung (s. Abb.en. 7-6 u. 7-7).

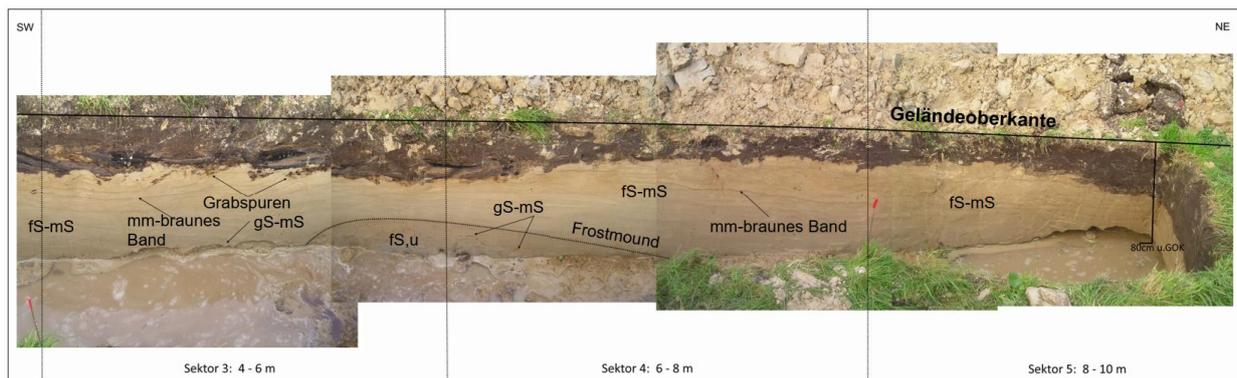


Legende:

fS – mS: Fein- bis Mittelsand;    mS – gS: Mittel- bis Grobsand;    fS,u: schluffiger Feinsand

Bildaufnahme: 23.10.2006

Abbildung 7-6. Nordwand Schurfgraben: Sektor 1 bis Sektor 3 (0 – 6 m).



Legende:

fS – mS: Fein- bis Mittelsand; mS – gS: Mittel- bis Grobsand fS,u: schluffiger Feinsand

Bilddaufnahme: 23.10.2006

Abbildung 7-7. Nordwand Schurfgraben: Sektor 3 bis Sektor 5 (6 – 10 m)

Direkt unterhalb des Podsol-Horizontes waren in regelmäßigen Abständen anthropogene Grabspuren von bis zu 23 cm Länge sichtbar (s. Abb. 7-6). Weiter im Liegenden waren die Flugsande aus gut sortierten Fein- bis Mittelsande mit rostbraunen mm-Bändern bis zum Grundwasseranschnitt in 120 cm Endtiefe aufgeschlossen. Innerhalb dieser Flugsande waren kryogene Strukturen und Sedimenttextur ausgebildet, charakteristisch für periglaziale Gebiete, und zudem gut durch die mm-mächtigen Farbbänder zu erkennen (s. Abb.en. 7-6 u. 7-7).

An der Westseite der Nordwand waren im Sektor 1 (0 – 2 m) diapirartige Forsthebung durch Eisbewegung (Kryoturvation) in den Flugsanden ausgebildet; gut sichtbar das rostbraune Band, welches an dieser Stelle leicht nach oben gewölbt war. Im anschließenden Sektor 2 (2 – 4 m) war direkt unterhalb des Podsolbodens eine Überschiebung durch Frosthebung erkennbar (s. Abb. 7-6). Im Sektor 3 (4 – 6 m) der Nordwand war ein Frostmound (Eisbeule) als Sedimenttextur deutlich sichtbar. Mittel- bis Grobsande bildeten das grobkörnige Material im oberen Bereich des Frostmounds und schluffige Feinsande waren im unteren Bereich als fein-körniges Material abgelagert (s. Abb. 7-7).

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass an der Südwand des Schurfgrabens die kryogenen Strukturen und Sedimenttexturen nicht gut zu sehen waren und deshalb nicht näher beschrieben werden.

#### Fazit:

Der Schurfgraben schließt die Flugsanddecke mit kryogenen Strukturen oberflächennah bis 120 cm u.GOK auf und veranschaulicht deutlich, dass das Timmelfeld während der Weichsel-Kaltzeit im periglazialen Bereich lag. Hinweise auf in der Jüngeren Drenthe des Saale-Komplex entstandene kryogene Strukturen wurden nicht freigelegt. Vielmehr lassen sich die hydro-geologischen Voraussetzungen für die Entstehung von Paläopingos und Flugsanddepressionen ableiten (s. Kap. 3.4 u. 3.5). Ebenso wurde aufgezeigt, dass die Voraussetzungen für die Bildung von Tot-eislöchern während der Weichsel-Kaltzeit im Timmelfeld nicht gegeben waren (s. Kap. 7.4.5).

### 7.2.3 Pollenanalyse der Hohlformen

#### 7.2.3.1 Probenauswahl und Grundsumme Baumpollen

Für die Pollenanalyse wurden Proben aus den Torf- bzw. Muddeschichten der tiefsten Bohrung der fünf Hohlformen ausgewählt (s. Tab. 7-5). Die Auswahl der Proben erfolgte zunächst in einem Raster von 20 cm, um eine fachlich verlässliche Datengrundlage zu erhalten. Vereinzelt betrug das Intervall 10 oder 15 cm, um keine zu großen Intervalle der Probenentnahme zu erhalten. Aus der Hohlform Osterweide wurden Proben aus dem Tiefenbereich von 510 – 740 cm ausgesucht, weil die Torfschichten vermutlich im Eem-Interglazial entstanden sind. Ebenso wurden mindestens 300 Baumpollenkörner (BPK) pro Probe gezählt, um eine repräsentative Datengrundlage für die Zonierung zu bekommen (s. Tab. 7-5).

Tabelle 7-5. Probenauswahl und Grundsumme Baumpollenkörner für Pollenanalyse

Hohlform	Bohrung	Probenauswahl Sedimentschicht	Tiefenbereich in cm	Proben- anzahl	Grundsumme BPK
Pultermoor	B1	Schluffmudde Torf	50 – 140	5	94 – 362
	B1a		170 – 235	6	
Ostermoor	B2	Schluffmudde Torf	35 – 585	24	30 – 488
Kolk	B2	Schluffmudde Torf	60 – 680	25	324 – 407
Erlenstraße	B1	Schluffmudde Torf	155 – 295	8	317 – 414
Osterweide	B1D	Kiesiges Sediment Schluffmudde Torf	45 – 305	20	35 – 526
	B5		510 – 740	23	304 – 412

#### 7.2.3.2 Baumpollendiagramme Hohlformen

##### **Baumpollendiagramm Pultermoor**

Insgesamt beschreiben 11 Proben das Baumpollendiagramm (s. Tab. 7-5). Die Summe der Baumpollen beträgt minimal 312 PK (Probe B1a/11: 230 – 235 cm) und maximal 362 PK (Probe B1/1: 50 – 55 cm). Alle Proben weisen, bis auf die Probe B1a/11: 230 – 235 cm, eine ausreichend hohe Dichte an Baumpollen auf. In Probe B1a/11 wurden lediglich 94 Pollenkörner gezählt. Hier ist die Dichte an Pollenkörnern ist zu gering, um eine gesicherte und repräsentative Datengrundlage für die Zonierung zu erhalten (s. Tab. 7-5 u. Anh. B.2.1).

Das Baumpollendiagramm schließt ein Bereich von insgesamt 185 cm auf, welcher oberflächennah in 50 cm beginnt und in 235 cm Tiefe endet (s. Abb. 7-8). Die oberen 50 cm sind anthropogene Auffüllungen, die pollenanalytisch nicht untersucht wurden und somit auch nicht im

Pollendiagramm dargestellt sind. In Anlehnung an FIRBAS (1949, 1954) gliedert sich das Diagramm in insgesamt vier Zonen und weist zwei Hiaten auf:

- Zone IX/X, Subatlantikum (*Nachwärmezeit*) (50 – 130 cm),
- Hiatus: Zone VIII, Subboreal (*Späte Wärmezeit*)
- Zone VI/VII, Atlantikum (*Mittlere Wärmezeit*) (130 – 170 cm),
- Hiatus: Zone V, Boreal (*Frühe Wärmezeit*)
- Zone IV, Präboreal (*Vorwärmezeit*) (170 – 230 cm),
- Zone III, Jüngere Dryas (*Jüngere Tundrenzeit*) (230 – 235 cm).

*Zone IX/X, Subatlantikum (Nachwärmezeit), 50 – 130 cm:*

Die Kurven von Birke und Kiefer verlaufen mit leichten Schwankungen bei Werten zwischen 20 und 40%. Die Erlenkurve steigt stetig an und erreicht zum Ende des Abschnittes Werte von 35 bis 40%. Die EMW-Arten treten in geschlossenen Kurven auf, deren Anteile deutlich unter 5% liegen. *Fraxinus* und *Acer* erreichen mit prozentualen Anteilen von 1% ihre Höchstwerte.

Grenze IX/X: sekundärer *Pinus*-Anstieg und gleichzeitiger Anstieg der Siedlungszeiger in 130 cm u. GOK

Der sekundäre Anstieg der *Pinus*-Kurve mit Werten von 40 auf 45% ist im Pollendiagramm (s. Abb. 7-8) gut sichtbar, während die Kurve der Siedlungszeiger weniger klar ausgebildet ist. Denn die Werte von *Secale* und *Cheopodiaceae* steigen in dieser Tiefe lediglich von 1 auf 2%.

Das Holozän ist, bis auf das Boreal und Subboreal, nahezu vollständig aufgeschlossen und erfasst das Subatlantikum, Atlantikum und Präboreal. Das Holozän beginnt in 230 cm u. GOK mit dem Präboreal und endet in 50 cm Tiefe mit dem Subatlantikum. Die Jüngere Dryas beginnt ab 230 cm u. GOK und dokumentiert das Weichsel-Spätglazial. Diese Pollenzone ist aber wegen der zu geringen Dichte an gezählten Pollenkörnern (94 Baumpollenkörner) nicht eindeutig belegt. Die Grenze Weichsel-Kaltzeit (qw) und Holozän (qh) liegt in 230 cm Tiefe (s. Tab. 7-5).

*Zone VIII, Subboreal (Späte Wärmezeit):*

Hiatus.

*Zone VI/VII, Atlantikum (Mittlere Wärmezeit), 130 – 170 cm:*

Die Erlenkurve steigt stetig von 5 auf 15% an, während die Birkenkurve in diesem Abschnitt kontinuierlich von 65 auf 55% fällt. Die Kiefer verbleibt bei Werten von 30%. *Quercus*, *Ulmus*, *Fagus* und *Acer* treten innerhalb dieser Zone in einer geschlossenen Pollenkurve auf. Ihre prozentualen Werte liegen bei ca. 1%.

Grenze VI/VII: Anstieg der *Alnus*-Kurve und *Quercus*-Kurve in 170 cm u. GOK.

Die untere Grenze zum Atlantikum ist klar im Pollendiagramm zu erkennen. Zudem befindet sich in gleicher Tiefe ein Fazieswechsel von Mudde in Torf. Ein Anstieg anderer EMW-Arten ist kaum zu sehen und ist lediglich mit einem leichten Anstieg der *Quercus*-Kurve von 1 auf 3% belegt (s. Abb. 7-8).

*Zone V, Boreal (Frühe Wärmezeit):*

Hiatus.

*Zone IV, Präboreal (Vorwärmezeit), 170 – 230 cm:*

Die Birke dominiert im gesamten Abschnitt mit hohen Werten zwischen 55 und 65%, während die Anteile der Kiefer mit Werten zwischen 30 und 35% deutlich niedriger liegen. Die Kiefernkurve fällt lediglich zu Beginn der Zone und verläuft dann nahezu bei konstanten Werten. *Picea*, *Salix*, *Alnus* und *Quercus* kommen in einer geschlossenen Kurve vor, wobei ihre Werte um die 3% liegen. Die Ulme zeigt zu Beginn des Abschnitts einen Anstieg der Kurve von 5 auf 10%, fällt aber zum Ende der Pollenzone wieder auf weniger als 1% ab. Die Kurve der NBP fallen zu Beginn der Zone, insbesondere die der Wild-*Gramineae*, deren prozentuale Werte von 100 auf 80 sinken. Im Lauf der Zone gehen die Werte der Wild-*Gramineae* weiter auf 10% zurück und verbleiben dann auf diesem Niveau.

Grenze IV: deutlicher Rückgang der NBP, leichter Anstieg der *Betula*-Kurve

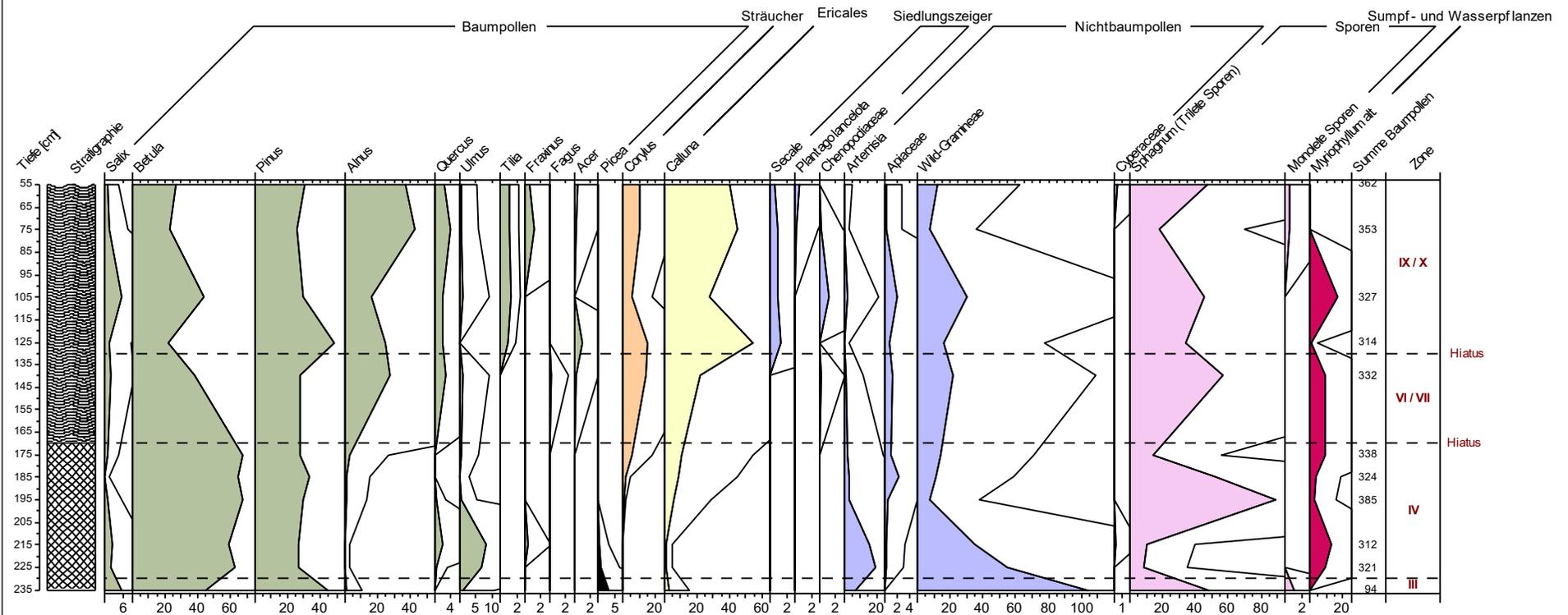
Die Grenze III / IV wird in 230 cm Tiefe gelegt, weil der Rückgang der NBP sehr gut zu erkennen ist (s. Abb. 7-8). Ebenso ist der Anstieg der Birkenkurve gut zu sehen, jedoch steigen die prozentualen Anteile der Birke weniger stark (von 55 auf 65%). Die Ulme erreicht in diesem Abschnitt Höchstwerte von 10%. Ein Ulmenabfall ist zwar in ca. 210 cm u. GOK dokumentiert, welcher aber als wenig plausibel interpretiert wird. Denn die Ulme tritt in den nachfolgenden, jüngeren Zonen nur noch in einer geschlossenen Kurve mit Werten von  $\leq 1\%$  auf. Der Ulmenabfall deutet in Anlehnung an FIRBAS (1949, 1954) zwar auf einen Beginn des Subboreals hin, aber eine Ausbreitung der *Fagus* ist in keinsten Weise zu erkennen. Zudem wird der Ulmenabfall in dieser Tiefe nur mit zwei Proben beschrieben (s. Abb. 7-8). Trotz der eben genannten Widersprüche ist die Grenze in 230 cm u. GOK zu ziehen und als plausibel zu bewerten.

*Zone III, Jüngere Dryas (Jüngere Tundrenzeit), 230 – 235 cm:*

Die Birke und Kiefer dominieren mit Werten von 45 – 55% (*Betula*) und 35 – 55% (*Pinus*). Die Fichte weist Werte von bis zu 4% auf, welche bis zur Grenze Zone III /IV auf 1% abnehmen. Der Beginn der Jüngeren Dryas ist im Diagramm nicht sicher erfasst. Ebenso lässt sich die Grenze zum Präboreal anhand einer Probe nicht eindeutig festlegen. In einer Tiefe von 230 cm u. GOK ist jedoch ein Rückgang der NBP und ein Anstieg von *Betula* zu verzeichnen, die als Grenze Jüngere Dryas / Präboreal zu interpretieren ist (s. u.).

**PULTERMOOR**

(H: 5916416,22; R: 3403328,11)  
 Bohrung: HF1-B1 u. B1a; Höhe: 0,89 m NN  
 Tiefenbereich: 50 – 235 cm



Analyse: G. Riedel 2008 - 2009

Abbildung 7-8. Baumpollendiagramm Pultermoor

Stratigraphisch sind Schluffmudden in einer Tiefe von 235 – 170 cm mit einer Mächtigkeit von 65 cm aufgeschlossen. Bis zur Geländeoberfläche folgen von 170 – 50 cm, in der Summe 120 cm mächtige, stark zersetzte Torfe. Subatlantikum (Zone IX/X) und Atlantikum (Zone VI/VII) liegen in diesem stark zersetzten Torf. Direkt an der Faziesgrenze von Mude zu Torf sind in 170 cm Tiefe ein Hiatus (Zone V, Boreal) und ein zweiter Hiatus (Zone VIII, Subboreal) in 155 cm ausgebildet. Präboreal (Zone IV) und Jüngere Dryas (Zone III) wurden im Bereich der Schluffmude bestimmt und belegen, dass die Grenze zwischen Weichsel-Kaltzeit (qw) und Holozän (qh) in einer Tiefe von 230 cm zu ziehen ist (s. Abb. 7-8).

### **Baumpollendiagramm Ostermoor**

Im Ganzen beschreiben 24 Proben das Baumpollendiagramm (s. Tab. 7-5). Die Summe der Baumpollen beträgt minimal 30 Pollenkörner in der Probe B2/67 (575 – 585 cm) und maximal 488 PK in der Probe B2/30 (245 – 250 cm). Die Probe B2/67 weist eine zu geringe Anzahl von Baumpollenkörnern auf und gibt somit keine verlässliche Datengrundlage wieder (s. Tab. 7-5 u. Anh. B.2.2).

Das Pollendiagramm schließt einen Bereich von 555 cm auf, beginnend in 35 cm u. GOK und endet in einer Tiefe von 590 cm (s. Abb. 7-9). Die oberen 35 cm sind nicht mit einer Probe belegt. Das Baumpollendiagramm zeigt nach FIRBAS (1949, 1954) fünf Zonen. Die Zone IX/X (Subatlantikum) ist im Diagramm nicht beschrieben und wäre vermutlich in den oberen 35 cm erfasst worden.

- Zone VIII, Subboreal (*Späte Wärmezeit*) (35 – 70 cm),
- Zone VI/VII, Atlantikum (*Mittlere Wärmezeit*) (70 – 250 cm),
- Zone V, Boreal (*Frühe Wärmezeit*) (250 – 500 cm),
- Zone IV, Präboreal (*Vorwärmezeit*) (500 – 570 cm),
- Zone III, Jüngere Dryas (*Jüngere Tundrenzeit*) (570 – 590 cm).

#### **Zone VIII, Subboreal (*Späte Wärmezeit*), 35 – 70 cm:**

Die Erle prägt die Pollenzone mit Werten bei 60%. Ebenso die Haselnuss, deren Kurve bei Werten zwischen 30 und 40% verläuft. *Quercus*, *Ulmus* und *Tilia* sowie *Fraxinus*, *Acer* und *Picea* verbleiben ebenso deutlich unter 5%. Erstmals tritt *Carpinus* in einer geschlossenen Kurve (<1%) auf.

Grenze VIII: leichter *Ulmus*-Abfall und Ausbreitung *Fagus* in 70 cm u. GOK.

Im Diagramm ist der *Ulmus*-Rückgang in 70 cm Tiefe gut zu erkennen, denn die Kurve fällt hier sichtbar von 10 auf <5%. Die Ausbreitung der *Fagus* ist dagegen nicht im Pollendiagramm angezeigt (s. Abb. 7-9).

#### **Zone VI/VII, Atlantikum (*Mittlere Wärmezeit*), 70 – 250 cm:**

Die Erle dominiert die gesamte Pollenzone mit hohen Werten bei 60% (s. Abb. 7-9). Kiefer und Birke sind hingegen deutlich zurückgegangen und weisen nur noch Werte um 20% (*Betula*)

und durchschnittlich zwischen 15 und 30% (*Pinus*) auf. Die Arten des Eichenmischwaldes, wie von *Quercus*, *Ulmus* und *Tilia*, treten mit prozentualen Werten zwischen 5 und 10%. *Fraxinus* und *Acer* kommen in einer geschlossenen Kurve vor, ihre Werte liegen merklich unter 1%.

Grenze VI/VII: Anstieg der *Alnus*-Kurve und  
Anstieg anderer Arten des Eichenmischwaldes in 250 cm u. GOK.

Die untere Grenze des Atlantikums ist klar ausgebildet und wird mit einem steilen Anstieg der *Alnus*-Kurve angezeigt, die prozentualen Anteile nehmen sprunghaft von 5 auf 60% zu. Die Zunahme von *Quercus*, *Ulmus* und *Tilia* ist ebenfalls gut sichtbar, wobei der Anstieg ihrer Kurven weniger steil ausgebildet ist. Die Werte von *Quercus*, *Ulmus* und *Tilia* steigen in dieser Tiefe lediglich von 1 auf 5%.

#### Zone V, Boreal (Frühe Wärmezeit), 500 – 250 cm:

Die Birke und Kiefer dominieren diesen Abschnitt, wobei die Birkenkurve mit Werten von 40 bis 75% über denen der Kiefer mit Werten von 25 bis 45% liegt. Die *Pinus*-Kurve steigt zum Ende des Abschnittes deutlich 80% an. Ebenso prägt die *Corylus* diese Pollenzone mit Höchstwerten von 40%.

Grenze V: leichter Anstieg der *Pinus* und späterer steiler *Corylus*-Anstieg.

Im Pollendiagramm ist diese Grenze gut ausgebildet und beginnt in einer Tiefe von 500 cm u. GOK. Die prozentualen Werte der Birken steigen hier von 50 auf 60%, die *Corylus*-Kurve steigt sprunghaft von anfänglich 10 auf 40%. Zudem befindet sich in gleicher Tiefe stratigraphisch ein Fazieswechsel von Schluffmudde zu Torf.

#### Zone IV, Präboreal (Vorwärmezeit), 570 – 500 cm:

Die Birke prägt die Zone mit Werten von 40 bis 85%, die zu Beginn der Zone die Höchstwerte von 85% zeigen und bis zum Ende stetig auf 40% sinken. Die Kieferkurve hingegen steigt kontinuierlich an (von 5 auf 55%) und erreicht zum Ende des Abschnittes die Höchstwerte. *Salix*, *Alnus*, *Quercus* und *Ulmus* treten in einer geschlossenen Kurve auf, ihre Werte liegen aber deutlich unter 5%. Die Wild-*Gramineae* weisen Werte von bis zu 25% auf.

Grenze IV: Rückgang der NBP; leichter Anstieg der Birkenkurve in 570 cm u. GOK.

Die Grenze des Präboreals ist durch einen leichten Anstieg der *Betula*-Kurve von 80 auf 90% erkennbar. Ebenso ist der Rückgang der Nichtbaumpollen gut zu sehen und wird durch den Kurvenabfall der Wild-*Gramineae* (von 25 auf 10%) und *Artemisia* (von 6 auf 3%) beschrieben (s. Abb. 7-9).

#### Zone III, Jüngere Dryas (Jüngere Tundrenzeit), 570 – 590 cm:

In dieser Pollenzone wurden lediglich 30 Baumpollenkörner in einer einzigen Probe (B2/67: 575 – 585 cm) gezählt. Diese Dichte an Pollenkörnern ist zu gering, um eine gesicherte und repräsentative Datengrundlage zu erhalten. Die gezählten Pollenkörner lassen vermuten, dass die 20 cm mächtigen Schluffmudden die Jüngere Dryas aufschließen.

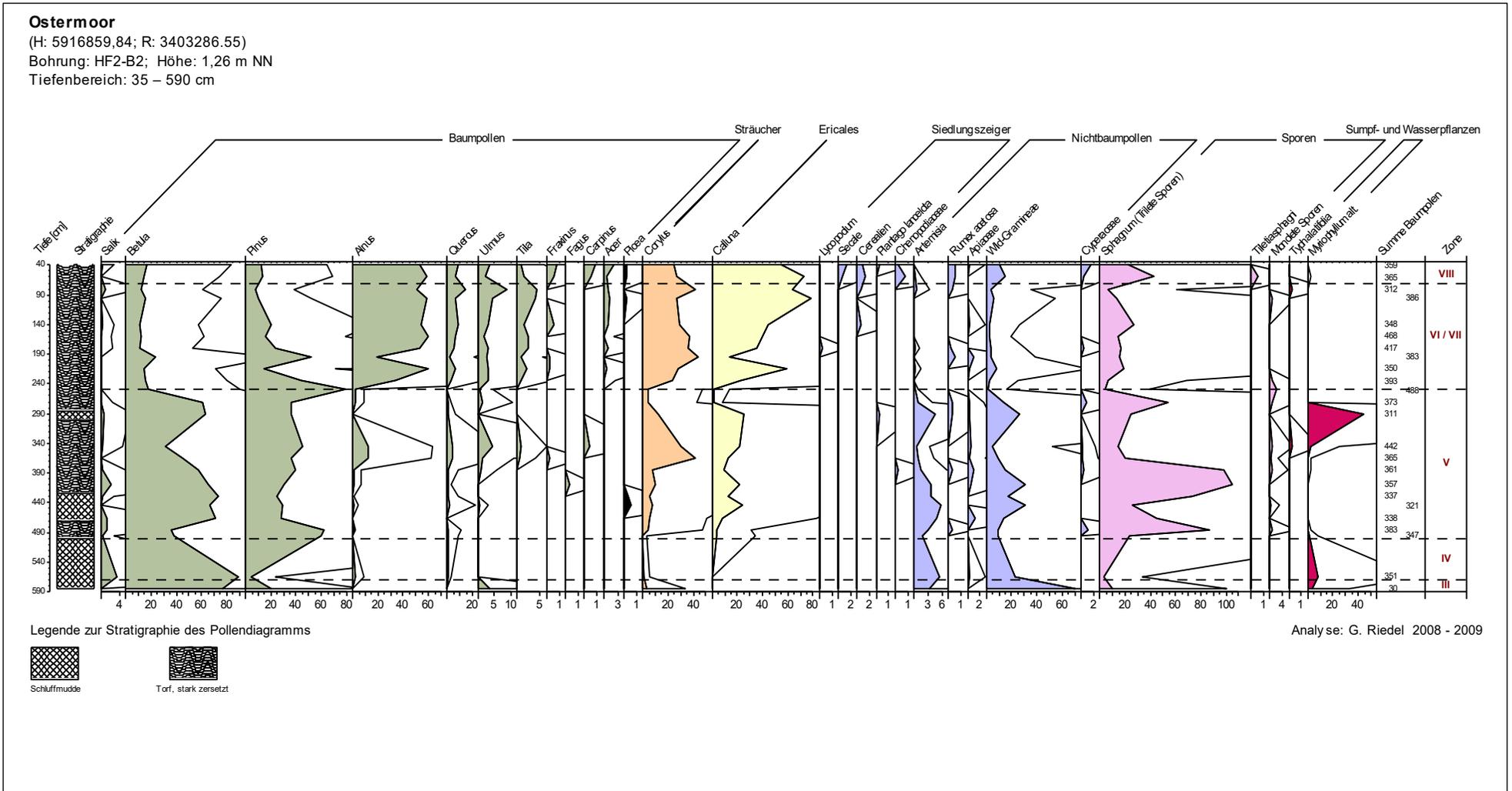


Abbildung 7-9. Baumpollendiagramm Ostermoor

Das Holozän ist fast vollständig aufgeschlossen und erfasst die Zonen VIII (Subboreal), VI/VII (Atlantikum), V (Boreal), IV (Präboreal). Das Holozän beginnt im Baumpollendiagramm mit dem Präboreal in einer Tiefe von 570 cm und endet oberflächennah mit dem Subboreal in 35 cm u. GOK (s. Abb. 7-9 u. Tab. 7-5).

Das ausklingende Weichsel-Spätglazial wird in einer Tiefe von 590 bis 570 cm angetroffen und erfasst die Jüngere Dryas (Zone III), die wegen der zu geringen Dichte an gezählten Pollenkörnern (30 Baumpollenkörner) nicht eindeutig belegt ist. Die Grenze zwischen der Weichsel-Kaltzeit (qw) und dem Holozän (qh) wird in 570 cm Tiefe gezogen und ist im Baumpollendiagramm in der Schluffmudde dokumentiert (s. Abb. 7-9 u. Tab. 7-5).

Stratigraphisch sind von 590 – 500 cm Tiefe Schluffmudden ausgebildet. Bis in die oberen Bereiche folgen von 500 – 35 cm stark zersetzte Torfe, in denen 40 bzw. 15 cm dicke Schichten aus Schluffmudden in Tiefen von 470 – 430 cm bzw. von 300 – 285 cm eingeschaltet sind (s. Abb. 7-9). Die oberen 35 cm sind mit keiner Probe belegt, da in diesem Tiefenbereich wegen Kernverlust keine Probeentnahme für die Pollenbestimmung möglich war.

Die Zonen Subboreal und Atlantikum sind im Baumpollendiagramm als stark zersetzte Torfe ausgebildet. Das Boreal ist in den stark zersetzten Torfen mit den eingeschalteten 40 und 15 mächtigen Schichten aus Schluffmudde ausgebildet. Direkt an der Zonengrenze zwischen Präboreal und Boreal liegt die Faziesgrenze Schluffmudde und Torf, sodass die Schluffmudde und der Torf ins Holozän einzustufen sind. Die Zonen Präboreal und Jüngere Dryas wurden als Schluffmudde auskartiert und dokumentieren, dass an der Grenze zwischen Holozän und Weichsel-Kaltzeit kein Fazieswechsel ausgebildet ist.

### **Baumpollendiagramm Kolk**

25 Proben beschreiben das Baumpollendiagramm (s. Tab. 7-5). Die Summe der gezählten Baumpollen beträgt im Pollendiagramm minimal 324 PK in den Proben B2/1 (60 – 65 cm) und B2/53 (490 – 495 cm) und maximal 407 PK in der Probe B2/38 (355 – 360 cm). Alle Proben haben für die Pollenbestimmung eine ausreichend hohe Dichte an Baumpollen (s. Tab. 7-6 u. Anh. B.2.3).

Das Baumpollendiagramm schließt ein Bereich von insgesamt 620 cm auf, welcher oberflächennah in 60 cm beginnt und in 680 cm Tiefe endet (s. Abb. 7-10). Die oberen 60 cm sind anthropogene Auffüllungen, die pollenanalytisch nicht untersucht wurden und deshalb nicht im Pollendiagramm dargestellt werden. In Anlehnung an FIRBAS (1949, 1954) gliedert sich das Diagramm in insgesamt vier Zonen und weist einen Hiatus auf (s. Abb. 7-10):

- Zone IX/X, Subatlantikum (*Nachwärmezeit*) (60 – 80 cm),
- Zone VIII, Subboreal (*Späte Wärmezeit*) (80 – 390 cm),
- Zone VI/VII, Atlantikum (*Mittlere Wärmezeit*) (390 – 640 cm),

- Hiatus: Zone V, Boreal (*Frühe Wärmezeit*)
- Zone IV, Präboreal (*Vorwärmezeit*) (640 – 680 cm).

*Zone IX/X, Subatlantikum (Nachwärmezeit), 60 – 80 cm:*

Die *Alnus* dominiert weiterhin mit hohen Werten um 50%. Die Birkenkurve fällt von 25 auf 10%, während die *Pinus*-Kurve bei Werten um die 10% läuft. Die Siedlungszeiger *Secale* und *Plantago lanceolata* treten erstmals in einer geschlossenen Kurve (<1%) auf. Die prozentualen Anteile der *Chenopodiaceae* liegen mit Werten von 2% wenig höher. Die Arten der EMW sind weiterhin mit Werten von bis zu 10% vertreten.

Grenze IX/X: *Pinus*-Anstieg und gleichzeitiger Anstieg der Siedlungszeiger in 80 cm u. GOK.

Der Anstieg der *Pinus*-Kurve ist im Pollendiagramm klar zu sehen, denn die prozentualen Anteile nehmen von 15 auf 25% zu. Ebenso ist die Zunahme der Siedlungszeiger *Secale*, *Plantago lanceolata* und *Chenopodiaceae* gut im Diagramm zu erkennen. Insbesondere steigt die *Secale*-Kurve in dieser Tiefe von 5 auf über 20% (s. Abb. 7-10).

*Zone VIII, Subboreal (Späte Wärmezeit), 80 – 390 cm:*

Die Erle verbleibt in dieser Pollenzone auf hohem Niveau, die Kurve verläuft zwischen 40 und 60%. Zum Ende der Zone fällt die *Alnus*-Kurve zwar leicht ab (von 50 auf 40%), dominiert aber weiterhin diesen Abschnitt. Die prozentualen Anteile von Birke und Kiefer verbleiben, wie im Atlantikum, bei 15% und nehmen zum Ende auf rund 20% zu. Die Anteile von *Fagus* steigen von 5 auf 10% und schwanken dann in der gesamten Zone zwischen 10 und 15%. Die Kurve von *Quercus* läuft konstant bei Werten zwischen 10 und 20%. Die Kurven von *Ulmus*, *Tilia* und *Fraxinus* laufen wie in der Zone zuvor bei Werten von 2%. Die *Salix*-Kurve ist wie in der Zone zuvor geschlossen (<1%), die *Picea*-Kurve hingegen ist erst zum Ende der Zone wieder geschlossen.

Grenze VIII: leichter *Ulmus*-Abfall und Ausbreitung *Fagus* in 390 cm u. GOK.

In 390 cm Tiefe fällt die *Ulmus*-Kurve von 3 auf 1%, die *Fagus*-Kurve steigt von 5 auf 10% und verläuft dann bei Werten von rd. 15%. Dieser Rückgang ist im Diagramm gut zu sehen, ebenso die Ausbreitung der *Fagus* (s. Abb. 7-10).

*Zone VI/VII, Atlantikum (Mittlere Wärmezeit), 390 – 640 cm:*

Die Erle weist in diesem Abschnitt hohe Werte zwischen 50 und 60% auf. *Betula* ist deutlich zurückgegangen, die Kurve verläuft nun nahezu konstant bei Werten von 10%. Die *Pinus*-Anteile sind ebenfalls gefallen, die Kurve verläuft zwischen Werten von 10 und 15%. *Quercus* weist wie *Betula* und *Pinus*-Anteile von bis zu 10% auf. *Salix*, *Ulmus*, *Tilia*, *Fraxinus* und *Fagus* treten in einer geschlossenen Kurve mit Werten bei 1% auf. Zum Ende des Abschnitts beginnen die geschlossenen Kurven von *Acer* und *Carpinus* (<1%). *Picea* tritt erstmalig als geschlossene Kurve (<1%) zum Ende der Zone auf.

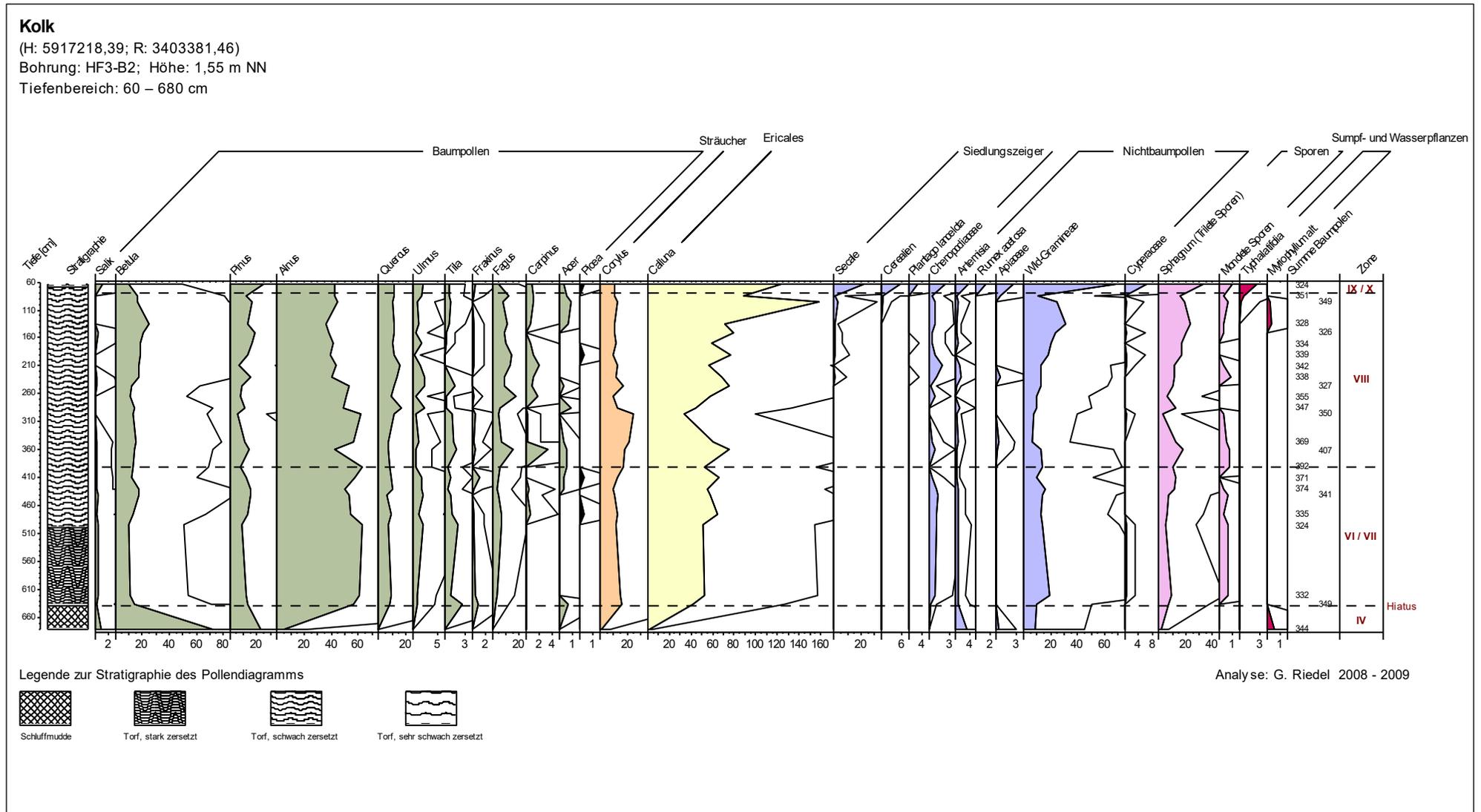


Abbildung 7-10. Baumpollendiagramm Kolk

Grenze VI/VII: steiler Anstieg der *Alnus*-Kurve und Anstieg anderer Arten des Eichenmischwaldes in 640 cm u. GOK.

Das Atlantikum beginnt mit einem steilen Anstieg der *Alnus*-Kurve (von 10 auf 60%), welche klar im Baumpollendiagramm zu sehen ist. Ebenso ist der Anstieg von *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia* und *Fraxinus* zu erkennen, wobei die Zunahme dieser Kurven ist im Vergleich zur *Alnus* nur schwach ausgebildet ist. Die *Quercus*-Kurve steigt in 640 cm mit Werten von 5 auf 10% und zeigt im Vergleich zu den anderen Arten des EMW einen gut erkennbaren Anstieg (s. Abb. 7-10).

*Zone V, Boreal (Frühe Wärmezeit):*

Hiatus.

*Zone IV, Präboreal (Vorwärmezeit), 640 – 680 cm:*

Die Birke und Erle prägen diesen Abschnitt mit Werten zwischen 20 und 60%, die Kiefer weist deutlich niedrigere Werte zwischen 15 und 20% auf. Die *Quercus*-Kurve verläuft zwischen 5 und 10%. *Salix*, *Ulmus*, *Tilia*, *Fraxinus*, *Fagus* und *Acer* treten in einer geschlossenen Kurve auf, ihre Werte verbleiben aber deutlich unter 5%.

Die untere Grenze des Präboreals wird nicht im Diagramm dargestellt. Lediglich die Grenze zum Atlantikum ist gut mit einem steilen Anstieg der *Alnus*-Kurve zu erkennen (s. Abb. 7-10).

Das Holozän ist fast vollständig aufgeschlossen und erfasst die Pollenzonen IX/X (Subatlantikum), VIII (Subboreal), VI/VII (Atlantikum) und IV (Präboreal). Direkt an der Faziesgrenze von Mude zu Torf ist in 640 cm Tiefe ein Hiatus (Zone V, Boreal) ausgebildet (s. Abb. 7-10 u. Tab. 7-6).

Stratigraphisch sind Schluffmudden von 680 – 640 cm aufgeschlossen, die von einer 140 cm dicken Schicht aus stark zersetzten Torfen (640 – 500 cm Tiefe) überlagert werden. Es folgen von 500 – 60 cm schwach zersetzte Torfe, deren oberen 5 cm (65 – 60 cm) aus sehr schwach zersetzten Torfen bestehen (s. Abb. 7-10).

Das Subatlantikum und Subboreal sind im Baumpollendiagramm als schwach zersetzte Torfe ausgebildet, wobei das Subatlantikum zudem in einer Tiefe von 60 – 65 cm eine geringmächtige Lage aus sehr schwach zersetztem Torf aufweist. Das Atlantikum beginnt mit einem stark zersetzten Torf und geht in 500 cm Tiefe in einem schwach zersetzten Torf über. Das Präboreal wurde als Schluffmudde auskartiert. Somit sind die organogenen Sedimente ausschließlich holozänes Alter.

### **Baumpollendiagramm Erlenstraße**

Insgesamt beschreiben acht Proben das Baumpollendiagramm (s. Tab. 7-5). Die Summe der gezählten Baumpollen liegt 317 PK in der Probe B1/29 (290 – 295 cm) und 414 PK in der Probe

B1/19 (210 – 220 cm). So haben alle Proben für die Pollenbestimmung eine ausreichend hohe Dichte an Baumpollen (s. Tab. 7-5 u. Anh. B.2.4).

Im Baumpollendiagramm ist ein Tiefenbereich von insgesamt 140 cm aufgeschlossen. Das Pollendiagramm beginnt oberflächennah in 155 cm und endet in einer Tiefe von 295 cm (s. Abb. 7-11). Die Proben aus den oberen 155 cm wurden pollenanalytisch nicht untersucht und werden deshalb nicht im Pollendiagramm dargestellt. Das Baumpollendiagramm gliedert sich im Sinne von FIRBAS (1949, 1954) in drei Zonen:

- Zone V, Boreal (*Frühe Wärmezeit*) (160 – 180 cm)
- Zone IV, Präboreal (*Vorwärmezeit*) (180 – 280 cm),
- Zone III, Jüngere Dryas (*Jüngere Tundrenzeit*) (280 – 295 cm).

*Zone V, Boreal (Frühe Wärmezeit), 160 – 180 cm:*

Die Kiefer weist weiterhin hohe prozentuale Anteile mit meist >70% auf, die Birke liegt mit Werten bei 30% deutlich niedriger. Die *Alnus*-Kurve fällt von 15 auf 5%, während die Haselnusskurve allmählich auf 15% ansteigt. *Quercus*, *Tilia*, *Fraxinus* und *Acer* treten in dieser Zone als geschlossene Kurve mit Werten bei 1% auf.

Grenze V: Anstieg der *Pinus*-Kurve, später Anstieg der *Corylus*-Kurve in 180 cm u. GOK.

Im Pollendiagramm ist der Anstieg der *Pinus*-Kurve in dieser Tiefe gut zu sehen, denn die prozentualen Anteile der Kiefer nehmen von 50 auf 70% zu (s. Abb. 7-11). Ebenso ist bei *Corylus* die Zunahme sichtbar ausgebildet, denn die Kurve steigt von 10 auf 15%.

*Zone IV, Präboreal (Vorwärmezeit), 180 – 280 cm:*

Die Kiefer dominiert die Zone mit Werten von durchschnittlich 50%. Die *Betula*-Kurve verläuft ähnlich wie die *Pinus*-Kurve, jedoch liegen die prozentualen Anteile der Birke deutlich niedriger (zwischen 20 und 30%). Die *Alnus*-Kurve verläuft bei Werten um 5% und steigt zum Ende des Abschnittes sprunghaft von 5 auf 20% an. *Salix*, *Quercus* und *Ulmus* treten als geschlossene Kurven, ihre Anteile liegen unter 1%. *Fraxinus* tritt lediglich zu Beginn mit Werten von <1%, während *Tilia*, *Acer* und *Picea* zum Ende der Zone IV eine geschlossene Kurve mit Werten von <1% aufweisen. *Fagus* weist eine geschlossene Kurve zu Beginn und am Ende des Abschnittes auf. Die Kurve der NBP ist zu Beginn des Abschnittes gefallen, besonders die der Wild-*Gramineae* (von 50 auf 10%), s. Abb. 7-11.

Grenze IV: deutlicher Rückgang der NBP in 280 cm u. GOK.

Der Rückgang der NBP ist besonders gut am Kurvenverlauf der Wild-*Gramineae* zu erkennen, denn die prozentualen Anteile fallen sprunghaft von 50 auf 10%. Bei *Artemisia* und *Cyperaceae* ist die Abnahme wenig gut ausgebildet.

Eigene Untersuchungen im Timmelfeld

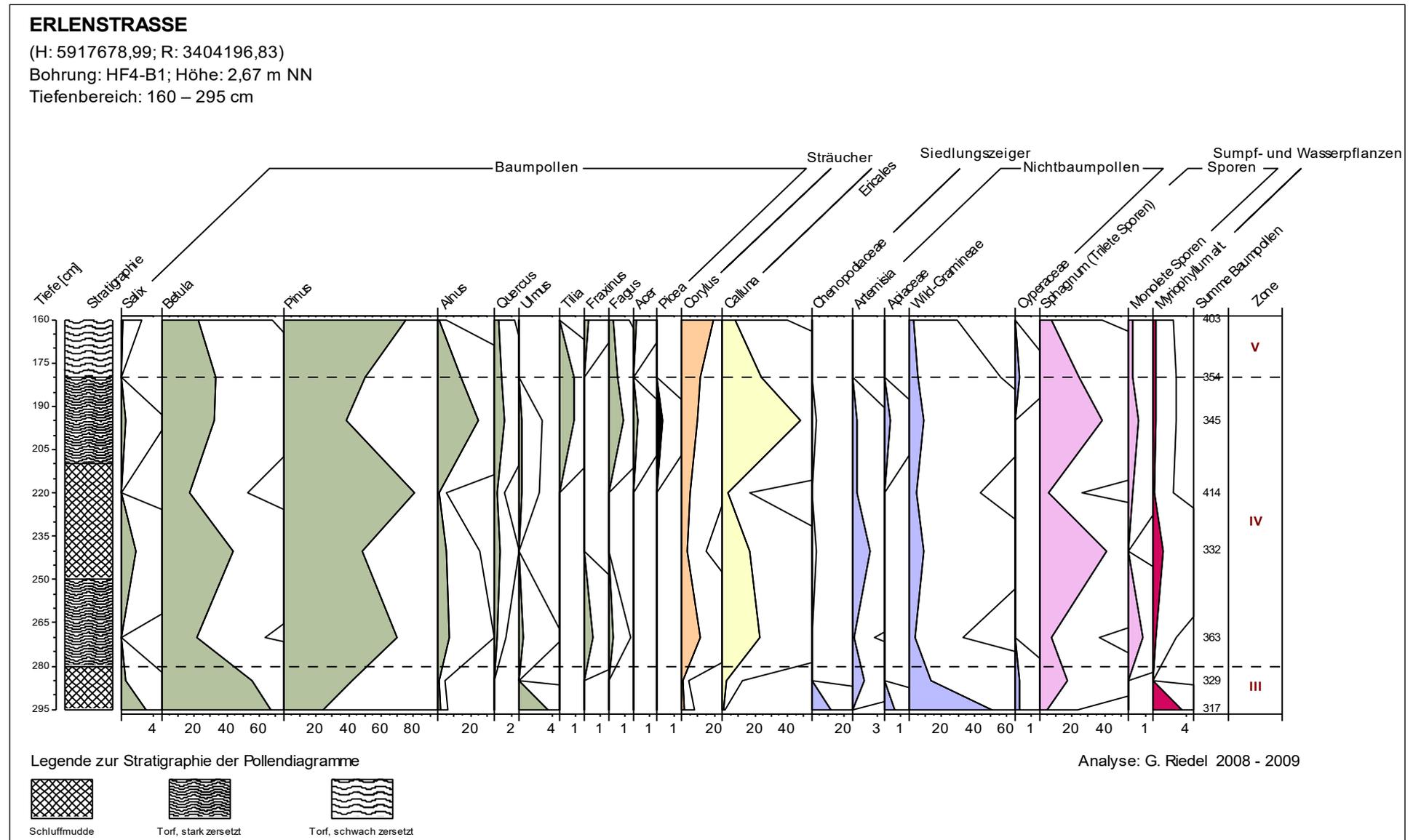


Abbildung 7-11. Baumpollendiagramm Erlenstraße

**Zone III, Jüngere Dryas (Jüngere Tundrenzeit), 280 – 295 cm:**

Die Birke dominiert im gesamten Abschnitt mit Anteilen von meist über 50%, die *Pinus*-Kurve steigt hingegen deutlich von 25 auf 50% an. Die prozentualen Anteile der *Salix* und *Ulmus* fallen von 4 auf 1%. *Fraxinus* und *Fagus* treten als geschlossene Kurve erst zum Ende des Abschnittes auf (>1%), die *Alnus* im gesamten Abschnitt mit Werten von  $\leq 1\%$ . Der Beginn der Jüngere Dryas ist nicht im Diagramm dargestellt (s. Abb. 7-11).

Stratigraphisch ist über den gesamten Tiefenbereich von 295 bis 155 cm eine Wechselfolge aus Schluffmudde und stark zersetzten Torfen zu erkennen, die von schwach zersetzten Torfen überlagert werden.

So ist von 295 – 280 cm Tiefe ein 15 cm mächtiger Horizont aus Schluffmudden aufgeschlossen, der bis 250 cm Tiefe von einer 30 cm dicke Schicht aus stark zersetzten Torfen überlagert wird. Es folgen erneut 40 cm mächtige Schluffmudden von 250 – 210 cm. In den anschließenden Tiefen sind bis 180 cm ein 30 cm dicker Horizont aus zersetzten Torfen aufgeschlossen, gefolgt von schwach zersetzten Torfe von 180 – 155 cm Tiefe, welche den oberen Abschnitt des Pollendiagrammes darstellen (s. Abb. 7-11).

Das Holozän wird im Baumpollendiagramm von den Zonen V (Boreal) und IV (Präboreal) beschrieben. Die Zonen IX/X (Subatlantikum, Nachwärmezeit), VIII (Subboreal, Späte Wärmezeit) und VI/VII (Atlantikum, Mittlere Wärmezeit) sind hingegen nicht dargestellt und werden in den oberen 155 cm vermutet. Das Boreal ist als schwach zersetzter Torf aufgeschlossen, während Präboreal überwiegend als stark zersetzter Torf ausgebildet ist. In einer Tiefe von 210 – 250 cm geht das Präboreal in eine Schluffmudde über (s. Abb. 7-11 u. Tab. 7-5). Die Jüngere Dryas (Zone III) dokumentiert das endende Weichsel-Spätglazial an der direkten Grenze zum Holozän und wurde vollständig als Schluffmudde auskartiert. Die Grenze zwischen Weichsel-Kaltzeit (qw) und Holozän (qh) liegt demnach in 280 cm Tiefe und dokumentiert auch den Fazieswechsel von Schluffmudde zu stark zersetztem Torf (s. Abb. Tab. 7-5 u. Tab. 7-6).

**Baumpollendiagramm Osterweide**

Insgesamt beschreiben 20 Proben das Baumpollendiagramm (s. Tab. 7-5). Die Summe der gezählten Baumpollen beträgt min. 35 PK in der Probe B1/D54 (300 – 305 cm) und max. 526 PK in der Probe B1/D16 (110 – 115 cm). Alle Proben weisen, bis auf die Probe B1/D54, eine ausreichend hohe Dichte an Baumpollen auf. In Probe B1/D54 wurden lediglich 35 Pollenkörner gezählt (s. Tab. 7-5 u. Anh. B.2.5). Hier ist die Dichte an Pollenkörnern zu gering, um eine gesicherte und repräsentative Datengrundlage für die Zonierung zu erhalten und dient lediglich als Orientierung.

Das Baumpollendiagramm schließt ein Bereich von insgesamt 260 cm auf, welcher oberflächennah in 45 cm beginnt und in 305 cm Tiefe endet (s. Abb. 7-12). Die oberen 45 cm sind anthropogene Auffüllungen, die pollenanalytisch nicht untersucht wurden und nicht im Pollendiagramm dargestellt sind. In Anlehnung an FIRBAS (1949, 1954) gliedert sich das Diagramm in insgesamt sechs Zonen:

- Zone IX/X, Subatlantikum (*Nachwärmezeit*) (45 – 80 cm),
- Zone VIII, Subboreal (*Späte Wärmezeit*) (80 – 115 cm),
- Zone VI/VII, Atlantikum (*Mittlere Wärmezeit*) (115 – 145 cm),
- Zone V, Boreal (*Frühe Wärmezeit*) (145 – 195 cm),
- Zone IV, Präboreal (*Vorwärmezeit*) (195 – 285 cm),
- Zone III, Jüngere Dryas (*Jüngere Tundrenzeit*) (285 – 305 cm).

*Zone IX/X, Subatlantikum (Nachwärmezeit), 45 – 80 cm:*

Die *Alnus*-Kurve steigt zu Beginn der Zone auf 45% und erreicht ihre Höchstwerte, die *Betula*-Kurve sinkt hingegen von 60 auf 40%. *Alnus* und *Betula* dominieren weiterhin diesen Abschnitt. Die prozentualen Anteile der Kiefer bleiben weiterhin auf niedrigem Niveau, die Kurve steigt leicht von <1 auf 5%. *Salix*, *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Fraxinus*, *Fagus* und *Carpinus* treten in geschlossenen Kurven auf, wobei ihre prozentualen Werte in diesem Abschnitt tendenziell leicht ansteigen. Ebenso treten erstmals die Siedlungszeiger in geschlossenen Kurven auf, ihre prozentualen Anteile bleiben aber mit <1% niedrig (s. Abb. 7-12).

Grenze IX/X: Anstieg der *Pinus*-Kurve mit gleichzeitigem Anstieg der Siedlungszeiger in 80 cm u. GOK nach FIRBAS (1949, 1954).

Im Pollendiagramm ist die Grenze des Subatlantikums bei 80 cm u. GOK ausgebildet. Die Siedlungszeiger *Secale* und *Chenopodiaceae* steigen in dieser Tiefe von 1 auf 2% an. Ebenso ist nur ein geringer Anstieg der Kiefernkurve zu erkennen, die Werte steigen von 1 auf 5% an.

*Zone VIII, Subboreal (Späte Wärmezeit), 80 – 115 cm:*

*Betula* und *Alnus* dominieren weiterhin den Abschnitt mit hohen Werten, wobei die prozentualen Anteile der Birke (55 und 65%) deutlich über denen der Erle (30 bis 35%) liegen. Im Gegensatz zu Birke und Erle tritt die Kiefer nur noch als geschlossene Kurve mit Werten von merklich <5% auf, ebenso *Salix*. *Quercus*, *Ulmus* und *Tilia* treten weiter als geschlossene Kurven, deren Werte jetzt unter 1% liegen. Am Ende des Abschnittes Beginn einer geschlossenen Kurve von *Fraxinus*, *Fagus* und *Carpinus*. Die *Corylus*-Kurve verläuft weiterhin bei Werten zwischen 5 und 10% (s. Abb. 7-12).

Grenze VIII: *Ulmus*-Abfall und gleichzeitige Ausbreitung von *Fagus* in 115 cm u. GOK nach FIRBAS (1949, 1954).

Die Grenze des Subboreals ist im Baumpollendiagramm mit einem *Ulmus*-Abfall zwar zu erkennen, dieser ist aber nur schwach ausgebildet. Die Ulmenkurve fällt hier lediglich von 3 auf 2% (s. Abb. 7-12). Ebenso ist die Ausbreitung der Hainbuche nicht besonders gut zu erkennen. Die *Fagus*-Kurve verläuft nur bei Werten von  $\leq 1\%$  und steigt erst zum Ende des Abschnittes etwas an (2%). Den Anfang der Zone VIII (Subboreal) in 115 cm Tiefe zu ziehen, ist unter Berücksichtigung der gegebenen Punkte plausibel.

#### Zone VI/VII, Atlantikum (Mittlere Wärmezeit), 115 – 145 cm:

In dieser Zone prägen *Betula* und *Alnus* mit prozentualen Anteilen bei durchschnittlich 65% (Birke) und bei 40% (Erle), wobei beide Kurven zu Beginn der Zone sprunghaft ansteigen. Die *Pinus*-Kurve hingegen fällt zu Beginn des Abschnittes auf Werte von weit unter 10% und verläuft dann nahezu konstant bei Werten um die 5%. *Salix*, *Quercus*, *Ulmus* und *Tilia* treten weiter als geschlossene Kurven mit Werten von deutlich  $< 6\%$  auf. Die Kurve der *Corylus* verläuft bei Werten zwischen 5 und 10%.

Grenze VI/VII: Anstieg der *Alnus*-Kurve und Anstieg der anderen EMW-Arten in 145 cm u. GOK nach FIRBAS (1949, 1954).

Der Anstieg der *Alnus*-Kurve ist besonders gut im Pollendiagramm zu erkennen, denn die prozentualen Anteile steigen in dieser Tiefe sprunghaft von 5 auf 35%. Der Anstieg der anderen EMW-Arten ist weniger markant im Diagramm ausgebildet, aber eine leichte Zunahme der prozentualen Anteile von 1 auf 2% ist bei *Quercus* und *Ulmus* dennoch zu sehen (s. Abb. 7-12).

#### Zone V, Boreal (Frühe Wärmezeit), 145 – 195 cm:

Die *Pinus* dominiert in diesem Abschnitt, die Kurve verläuft bei Werten von 40% zu Beginn und steigt stetig bis auf 75% zum Ende der Zone V. Die *Betula*-Kurve fällt sprunghaft von 70 auf 30% und steigt wieder leicht zum Ende der Zone an (von 20 auf 40%). So liegen die Birkenanteile im Vergleich zur Kiefer deutlich niedriger. Die *Corylus*-Kurve steigt stetig und erreicht mit 20% ihren Höchstwert im oberen Teil der Zone. *Salix* und *Alnus* treten wieder in geschlossener Kurve auf, wobei die *Alnus*-Kurve zum Ende des Abschnittes sprunghaft ansteigt (von 1 auf 20%). *Quercus*, *Ulmus* und *Tilia* treten als geschlossene Kurve zum Ende des Abschnittes mit Werten von  $< 5\%$  auf.

Grenze V: Anstieg der *Pinus*-Kurve und späterer *Corylus*-Anstieg in 195 cm u. GOK.

Der Anstieg der Kiefern- und Haselnussskurven sind im Pollendiagramm klar erkennbar. So steigen die prozentualen Anteile der Kiefer in dieser Tiefe sprunghaft von 40 auf 60% und die der *Corylus* von 1 auf 20% (s. Abb. 7-12).

#### Zone IV, Präboreal (Vorwärmezeit), 195 – 285 cm:

Die *Betula* prägt diese Zone mit Werten meist zwischen 50 und 65%. Die *Pinus*-Kurve steigt von 20% zu Beginn des Abschnittes auf 45% im oberen Teil. *Salix* und *Alnus* treten weiterhin als

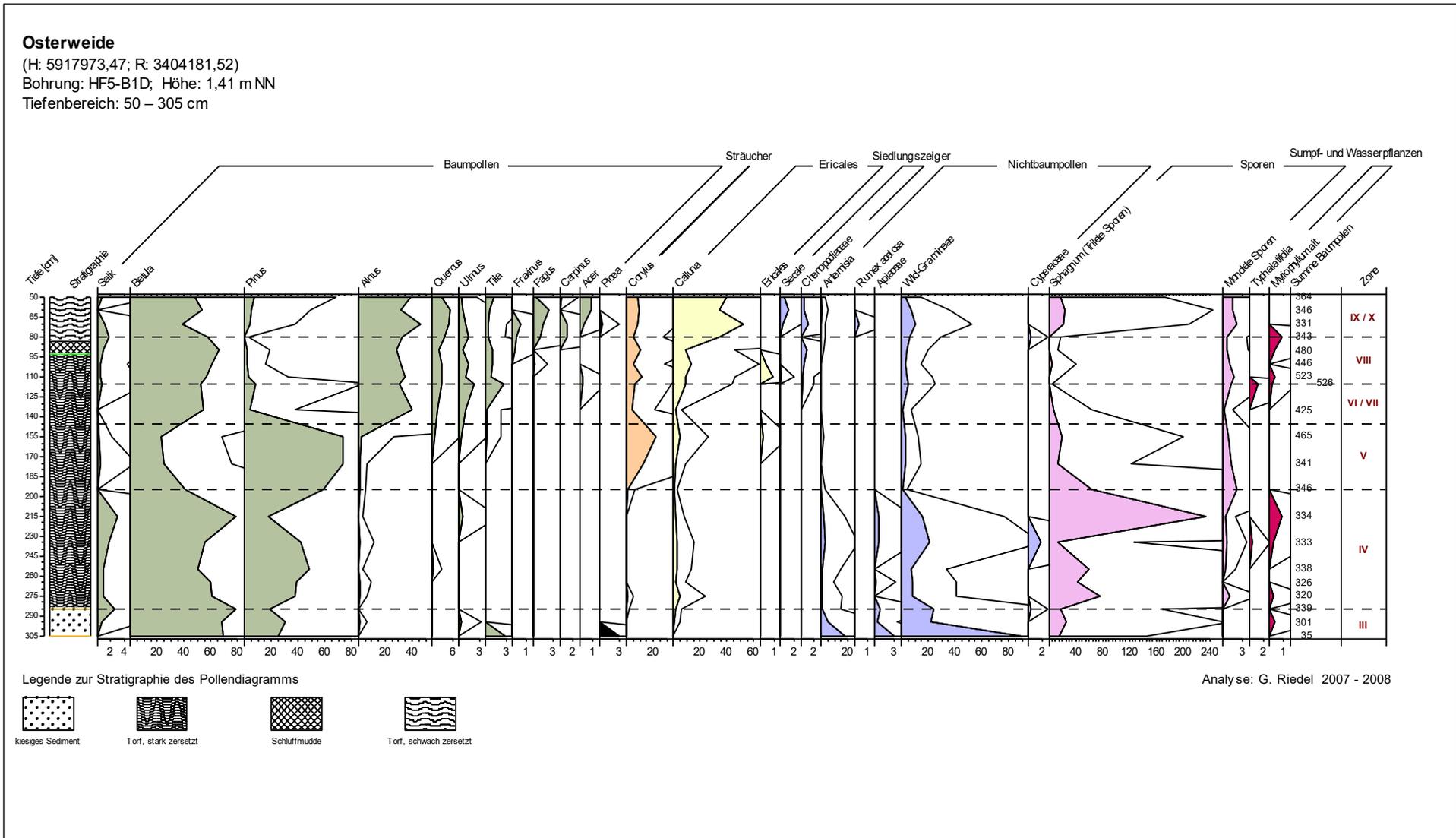


Abbildung 7-12. Baumpollendiagramm Osterweide

geschlossene Kurven auf, ihre Werte verbleiben jedoch deutlich unter 5%. Die Kurve der Wild-*Gramineae* fällt deutlich unter 100%, während der Rückgang bei *Artemisia* (20 auf 5%) und *Apiaceae* (3 auf 1%) weniger deutlich ausgebildet ist (s. Abb. 7-12).

Grenze IV: Rückgang der Nichtbaumpollen und zeitgleichem Anstieg der *Betula*-Kurve in 285 cm u. GOK.

Die Grenze ist gut im Baumpollendiagramm sichtbar und wird insbesondere durch den sprunghaften Abfall der Wild-*Gramineae* von 100 auf 20% dokumentiert wird. Ebenso ist der Anstieg der Birkenkurve in dieser Tiefe klar zu erkennen, die prozentualen Anteile steigen von 70 auf 80%. Direkt an dieser Grenze ist zudem ein Fazieswechsel von kiesigem Sediment zu stark zersetztem Torf ausgebildet (s. Abb. 7-12).

*Zone III, Jüngere Dryas (Jüngere Tundrenzeit), 285 – 305 cm:*

Die Birke dominiert diesen Abschnitt mit Werten von 70%, während die Höchstwerte der Kiefer mit 30% deutlich niedriger als die der Birke liegen. *Salix, Ulmus, Tilia, Alnus* und *Picea* treten in einer geschlossenen Kurve auf, wobei insbesondere die Werte von Linde und Fichte von 3 auf 1% sinken (s. Abb. 7-12).

Der Beginn der Jüngerer Dryas ist im Pollendiagramm nicht sicher erfasst. Der Abschnitt wird zwar mit zwei Proben beschrieben, in der einen Probe (B1/D54: 300 – 305 cm) wurden jedoch nur 35 Baumpollenkörner gezählt. Die Dichte an Pollenkörnern ist somit zu gering, um eine gesicherte und aussagefähige Datengrundlage für die pollenanalytische Auswertung zu erhalten (s. Abb. 7-12). Das Auftreten von *Salix, Ulmus, Tilia, Alnus* und *Picea* ist als Folge von Umlagerungsprozesse aus dem tiefer aufgeschlossenen Eem zu deuten. Allerdings gilt es wegen der zu geringen Dichte an Pollenkörner, nicht als gesichert und wird lediglich als Hinweis bewertet.

Das Holozän ist vollständig aufgeschlossen und erfasst die Pollenzonen IX/X (Subatlantikum), VIII (Subboreal), VI/VII (Atlantikum), V (Boreal), IV (Präboreal). Im Baumpollendiagramm beginnt das Holozän mit dem Präboreal in einer Tiefe von 285 cm und endet oberflächennah mit dem Subatlantikum in 80 cm Tiefe (s. Abb. 7-12 u. Tab. 7-6). Die Jüngere Dryas (Pollenzone III) erfasst den Tiefenbereich von 305 – 285 cm Tiefe und erfasst das ausklingende Weichsel-Spätglazial an der Grenze zum Holozän. Demnach liegt die Grenze zwischen der Weichsel-Kaltzeit (qw) und des Holozän (qh) in 285 cm Tiefe (s. Abb. 7-12 u. Tab. 7-6).

Stratigraphisch sind von 305 – 285 cm kiesige Sedimente aufgeschlossen, die bis 95 cm Tiefe von stark zersetzten Torfen überlagert werden (s. Abb. 7-12). Von 95 – 85 cm Tiefe folgt eine ca. 10 cm dicke Schicht aus Schluffmudde. Weiter im Hangenden schließen sich von 85 – 45 cm schwach zersetzte Torfe an.

So ist das Subatlantikum vollständig im schwach zersetzten Torf ausgebildet. Das nachfolgende Subboreal beginnt mit einer ca. 10 cm mächtigen Schluffmudde (85 – 95 cm) und dokumentiert hier einen Fazieswechsel von Torf zu Schluffmudde. Bis zur Grenze Subboreal / Atlantikum in 115 cm Tiefe folgen stark zersetzte Torfe. Die Zonen Atlantikum, Boreal und Präboreal sind im Baumpollendiagramm als stark zersetzte Torfe ausgebildet. Die Jüngere Dryas wurde als kiesiges Sediment auskartiert, welches einen Hinweis auf mögliche Umlagerungsprozesse aus dem unterliegenden Eem gibt. Unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung wird keine detaillierte Prozessbeschreibung erfolgen.

#### *Eem-Interglazial (Eem-Warmzeit) in Bohrung HF5-B5*

Die Summe der gezählten Baumpollen beträgt im Pollendiagramm minimal 304 Pollenkörner in der Probe B5/43 (695 – 700 cm) und maximal 412 Pollenkörner in der Probe B5/8 (510 – 515 cm), s. Tab. 7-5. Die gezählten Baumpollenkörner belegen, dass eine ausreichend hohe Dichte für die pollenanalytische Bewertung vorliegt. Im Ganzen beschreiben 23 Proben das Baumpollendiagramm (s. Tab. 7-5 u. Anh. B 2).

Im Baumpollendiagramm ist ein Bereich von insgesamt 230 cm aufgeschlossen, der in 740 cm u. GOK beginnt und in einer Tiefe von 510 cm endet (s. Abb. 7-13). Stratigraphisch schließen sich über den gesamten Tiefenbereich stark zersetzte Torfe auf, die dicht gelagert sind. Das Pollendiagramm weist nach MENKE & TYNNI (1984) lediglich eine Zone auf:

- Zone E VII, Kiefernzeit (740 – 510 cm)

#### *Zone E VII, Kiefernzeit (740 – 510 cm):*

Die Zone E VII wird von insgesamt 23 Proben beschrieben, die mit 304 Baumpollenkörner (B5/43: 695 – 700 cm u. GOK) und 412 Baumpollenkörner (B5/8: 510 – 515 cm u. GOK, s. Anh. B 2) eine ausreichende Pollendichte aufzeigen. Im Baumpollendiagramm ist diese Pollenzone vollständig als stark zersetzter Torf ausgebildet und weist eine dichte Lagerung auf.

Die Kiefernzeit ist nach MENKE & TYNNI (1984) durch eine einseitige Dominanz der *Pinus* charakterisiert, während *Picea* zugunsten der Kiefer merklich abnimmt. Diese Dominanz der Kiefer ist im Diagramm klar erkennbar. So weist die *Pinus-Kurve* hohe Werte bei durchschnittlich 60% auf. *Alnus* und *Picea* hingegen zeigen eine geringere Pollendichte, deren Anteile bei 10% bzw. 20% liegen. Die Werte von *Abies* liegen unterhalb von 10%. Ein *Pinus*-Maximum ist nicht eindeutig zu erkennen, jedoch steigen die *Betula*-Werte sprunghaft von durchschnittlich 10% auf 20% in 530 cm Tiefe an, sodass hier der obere Teil der Zone im Übergang zur Eem-Weichsel-Grenze zu vermuteten ist (s. Abb. 7-13).

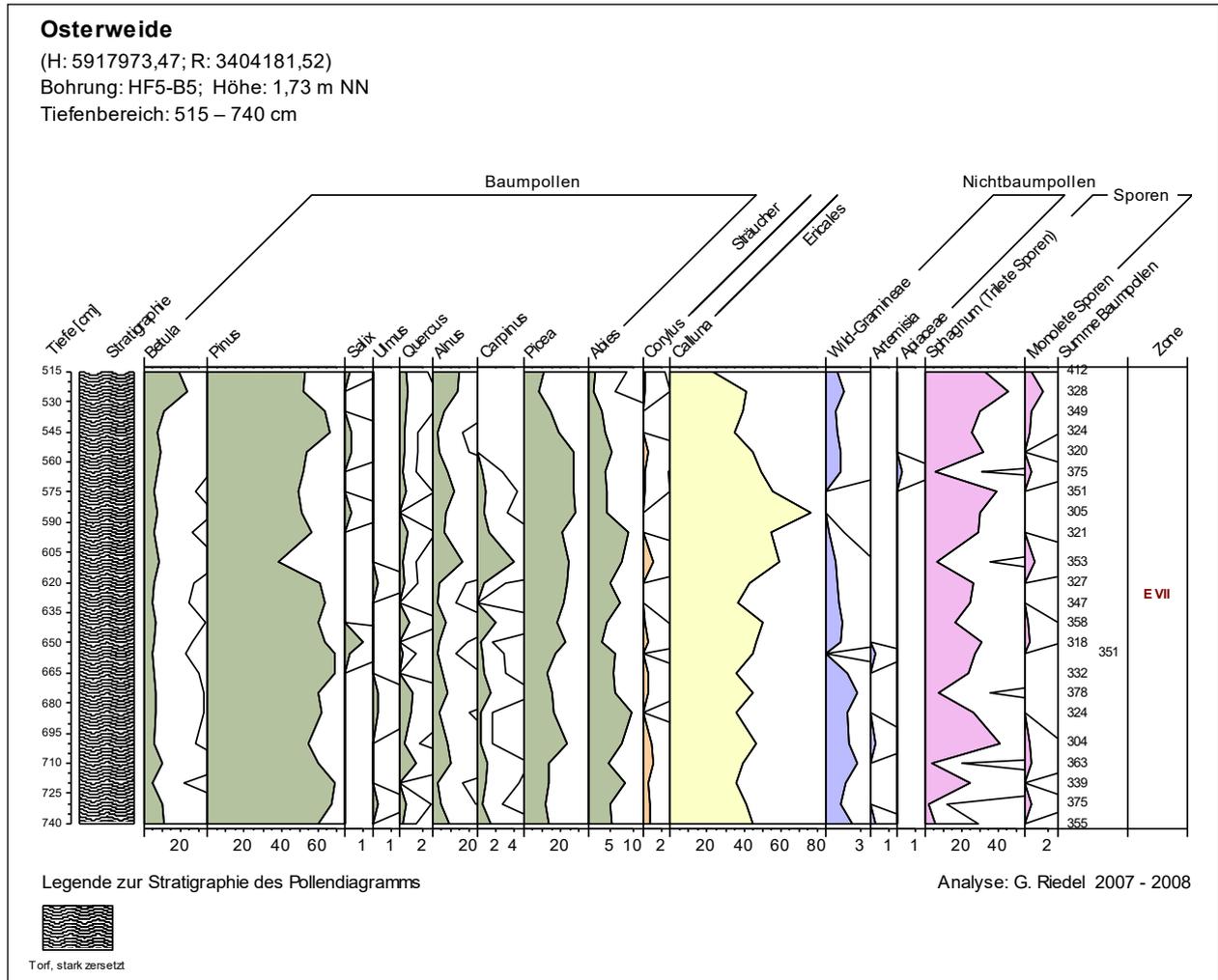


Abbildung 7-13. Baumpollendiagramm Osterweide, Zone EVII

### 7.2.3.3 Zusammenfassung der Pollenanalyse

Die nachfolgende Tabelle fasst das Ergebnis der Pollenanalyse für die eigenen untersuchten Hohlformen im Timmelfeld zusammen und stellt zudem die Tiefe/Stratigraphie und die älteste organische Schicht dar.

Tabelle 7-6. Tabellarische Zusammenfassung der Pollenanalyse für die Hohlformen

Hohlformen	Tiefe / Stratigraphie	Tiefenbereich Zone	Zonen, FIRBAS (1949/54)	Name Zone, FIRBAS (1949/54)	Älteste organische Schicht
Pultermoor	50 – 235 cm: Torf Schluffmulde	50 – 130 cm	IX/X	Subatlantikum	Schluffmulde (12 700 – 11 560 cal J.v.h.)
		130 – 170 cm	VI/VII	Hiatus: Subboreal Atlantikum	
		170 – 230 cm	IV	Hiatus: Boreal Präboreal	
		230 – 235 cm	III	Jüngere Dryas	
Ostermoor	35 – 590 cm: Torf Schluffmulde	35 – 70 cm	VIII	Subboreal	Schluffmulde (12 700 – 11 560 cal J.v.h.)
		70 – 250 cm	VI/VII	Atlantikum	
		250 – 500 cm	V	Boreal	
		500 – 570 cm	IV	Präboreal	
		570 – 590 cm	III	Jüngere Dryas	

Hohlformen	Tiefe / Stratigraphie	Tiefenbereich Zone	Zonen, FIRBAS (1949/54)	Name Zone, FIRBAS (1949/54)	Älteste organische Schicht
Kolk	60 – 680 cm: Torf Schluffmudde	60 – 80 cm 80 – 390 cm 390 – 640 cm  640 – 680 cm	IX/X VIII VI/VII  IV	Subatlantikum Subboreal Atlantikum Hiatus: Boreal Präboreal	Schluffmudde (11 560 – 10 640 J.v.h.)
Erlenstraße	160 – 295 cm: Torf Schluffmudde	160 – 180 cm 180 – 280 cm 280 – 295 cm	V IV III	Boreal Präboreal Jüngere Dryas	Schluffmudde (12 700 – 11 560 J.v.h.)
Osterweide	45 – 305 cm: Torf Schluffmudde Torf Kiesiges Sediment  510 – 740 cm: Torf	45 – 80 cm 80 – 115 cm 115 – 145 cm 145 – 195 cm 195 – 285 cm 285 – 305 cm  510 – 740 cm	IX/X VIII VI/VII V IV III  E VII	Subatlantikum Subboreal Atlantikum Boreal Präboreal Jüngere Dryas  Kiefern-Zeit	kiesiges Sediment (12 700 – 11 560 cal J.v.h.)       Torf (Kiefern-Zeit)

### 7.3 Morphogenetische Interpretation der Hohlformen

#### 7.3.1 Pultermoor

Im Bereich von Pultermoor ist eine vermutlich ca. 1,2 m (-2,8 m NN) tiefe Wanne des Saale-Komplex ausgebildet. Sie weist einem Durchmesser von 90 m in Nord-Süd bzw. 135 m in Ost-West-Richtung auf und ist mit weichsel-kaltzeitlichen Flugsanden vollständig verfüllt. Ebenso bildete sich flächendeckend im gesamten Bereich bis zur Geländeoberfläche eine bis zu 2,5 m mächtige Flugsanddecke aus (s. Abb. 7-14 u. Anh. A.3.1). Die Flugsande bestehen aus gut sortierten, homogenen bis schluffigen Feinsande. Im östlichen Bereich der Senke überlagern fluviatile, feinsandige Mittelsande sowie feinsandige Schluffe der Weichsel-Kaltzeit, die hier geringmächtigen Flugsande (Bohrungen HF1-B4 und HF1-B2). Die Mittelsande und Schluffe weisen mit 0,4 bis 0,6 m keine großen Mächtigkeiten auf. In den Flugsanden sind dünne Linsen aus Schluff- und Sandmudde eingelagert, deren erbohrte Mächtigkeit zwischen 0,2 – 1 m variiert und teilweise auf den bestehenden Schluffhorizonten sedimentierten (s. Abb. 7-14 u. Anh. A.3.1).

Innerhalb dieser Flugsanddecke hat sich während der Weichsel-Kaltzeit morphogenetisch die Flugsanddepression Pultermoor ausgebildet und wird von den Bohrungen W-E: HF1-B2, HF1-B1, HF1-B8 und HF1-B4, N-S: HF1-B5, HF1-B6, HF1-B1, HF1-B7 und HF1-B9 erfasst. Pultermoor hat eine ovale Form mit einem mittleren Durchmesser von ca. 110/100 m und einer geringen Tiefe von 2,8 m (-1,6mNN). Sie weist mit „relativ steilen“ Wandneigungen von ca. 40° einen wannenförmige Formtyp auf (s. Abb. 7-14 u. Anh. A.3.1).

Am Ende der Weichsel-Kaltzeit und fortsetzend im Holozän, füllte sich Pultermoor zunehmend mit Wasser. Unter den limnischen Bedingungen bildeten sich im Holozän humose, sandige und schluffige Mudden (Schluff- und Sandmudde) mit unterschiedlichen Mächtigkeiten aus. Die erbohrten Schichtdicken schwanken im Bereich von Pultermoor zwischen 0,2 und 1 m (s. Abb. 7-14, Anh. A.3.1).

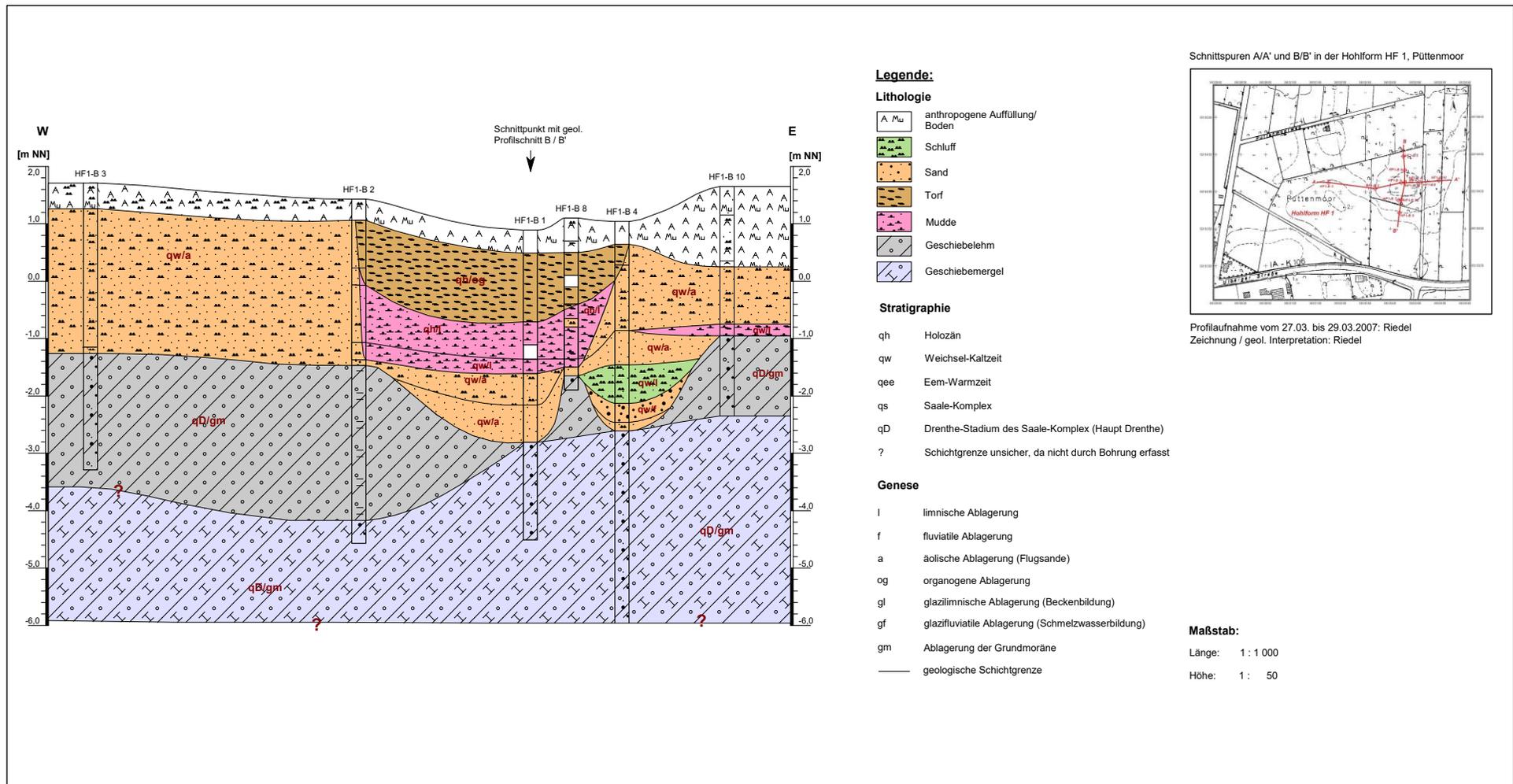


Abbildung 7-14. Geologischer Profilschnitt A/A' (W-E) Pultermoor

Die Pollenanalyse ergab, dass die Schluff- und Sandmudden das Präboreal (Zone IV) und die Jüngere Dryas (Zone III) aufschließen (s. Tab. 7-6). Aufgrund der zu geringen Pollendichte wurde die ausklingende Ober-Weichsel (Jüngere Dryas) jedoch nicht eindeutig belegt. Überlagert werden die 0,4 – 0,8 m mächtigen Schluff- und Sandmudden von Nieder- und Hochmoortorfen. Diese Torfschichten schließen nach pollenanalytischer Auswertung lediglich das Atlantikum (Zone VI/VII) und das Subatlantikum (Zone IX/X) im Hangenden auf (s. Abb. 7-14 u. Anh. A.3.1). Ebenfalls belegen die Torfe, dass die Moorbildung erst postglazial im Atlantikum (9 220 – 5 660 cal J.v.h.) begann. Die Hoch- und Niedermoortorfe stehen in der Hohlform HF1 bis zur Geländeoberfläche an und weisen eine unterschiedliche Sedimentdicke von 0,6 – 2,2 m auf.

Anthropogene Auffüllungen überlagern die weichsel-kaltzeitlichen und holozänen Flugsande sowie die holozänen Torfablagerungen. Sie bilden flächendeckend die Deckschicht innerhalb von Pultermoor (s. Abb. 7-14 u. Anh. A.3.1). Die Schichtmächtigkeit dieser anthropogenen Ablagerungen ist unterschiedlich ausgebildet und variiert zwischen 0,5 m (Bohrung HF1-B3) und 1,3 m (Bohrung HF1-B10).

### **7.3.2 Ostermoor**

Ca. 20 m nördlich vom Ostermoor, wurde in der Grundmoräne (qD/gm) in 4,4 m Tiefe (-1,8 mNN) eine im Saale-Komplex entstandene Rinne mit einer Mächtigkeit von bis zu 2,8 m (-4,6 mNN) auskartiert (HF2-B11). Im Profilschnitt D/D' ist gut zu erkennen, dass die Rinne einen Durchmesser von mindestens 75 m in Nord-Süd-Richtung hat (s. Anh. A.3.2). Diese Rinne ist mit fluviatilen und limnischen sowie organogenen Ablagerungen aus dem Eem-Interglazial verfüllt. Die Basis bilden 0,6 m mächtige feinsandige bis kiesige Mittelsande, die von einer dünnen Schicht aus humosen Schluffmudden überlagert werden. Weiter im Hangenden sedimentierten schluffige Feinsande mit einer Mächtigkeit von 1,4 m. Über diesen Feinsanden wurde ein geringmächtiger Horizont (0,4 m) aus Sandmudden erbohrt, die von gut zersetzten Torfen überdeckt werden. Diese Torfe weisen eine Sedimentdicke von 0,6 m auf und bilden die abschließende Sedimentschicht der nördlich gelegenen Senke.

Die Profilschnitte C/C' und D/D' zeigen auch, dass innerhalb der Grundmoräne im direkten Bereich vom Ostermoor eine vermutlich im Saale-Komplex entstandene Wanne mit einem Durchmesser von 163 m in Nord-Südrichtung bzw. 120 m in West-Ost-Richtung und einer Tiefe von 3,2 m (-4,8 mNN) erodierte, in deren Bereich anscheinend die Entstehung eines Paläopingos begünstigt wurde (s. Abb. 7-15 u. Anh. A.3.2).

Weichsel-kaltzeitliche Flugsande sedimentierten flächendeckend und verfüllten vollständig die nördlich gelegene Rinnenstruktur des Saale-Komplex und die Wanne im Bereich vom Ostermoor, sodass sich eine geschlossene Flugsanddecke von bis zu 4 m Mächtigkeit ausbildete.

Die auskartierten Flugsande sind gut sortiert und homogen, und hier als schluffige, z. T. mittelsandige und schwach humose Feinsande ausgebildet. Unterbrochen wird die Flugsanddecke von unterschiedlich cm- bis dm-mächtigen Schluff- und Muddebänder (s. Abb. 7-15 u. Anh. A.3.2). Die Mudden sind als humose Schluffmudden und stellenweise als Sandmudden entwickelt. In der Bohrung HF2-B3 wurde in ca. 3 m Tiefe eine dünne, ca. 10 cm mächtige, Torfschicht erbohrt, die möglicherweise auf ein Interstadial innerhalb der Weichsel-Kaltzeit hinweist. Sie wurden in den benachbarten Bohrungen jedoch nicht wieder auskartiert. Des Weiteren wurde eine ca. 3 cm dünne Kieslage an der Faziesgrenze von Sandmudden und Mittelsanden im 3,26 m Tiefe erbohrt (HF2-B7). Diese Kieslage deutet anscheinend auf eine Kaltphase mit vorherrschendem Tundrenklima hin, in der eine Änderung der Fließgeschwindigkeit die Sedimentation von Kiesen begünstigte.

Die weichsel-kaltzeitliche Flugsanddecke wurde im Bereich vom Ostermoor bis an die Geländeoberfläche auskartiert und weist eine Mächtigkeit zwischen 2 – 4 m auf. Die Kreuzprofil-schnitte in W-E: HF2-B6, HF2-B5, HF2-B1, HF2-B12 und HF2-B13 (s. Abb. 7-15) und N-S: HF2-B10, HF2-B9, HF2-B8, HF2-B1, HF2-B2 und HF2-B3 (s. Anh. 3.2) erfassen sicher einen Paläopingo im direkten Bereich einer angelegten Wanne des Saale-Komplex, welcher sich wahrscheinlich während einer Phase extremer Abkühlung in der Oberen Mittel-Weichsel (Pleniglazial) innerhalb der Flugsanddecken ausgebildet hat.

Die Pollenanalyse ergab weiterhin (s. Tab. 7-6), dass die an der Basis der Hohlform erbohrten Schluffmudden zum Ende des Weichsel-Spätglazials (Jüngere Dryas: 12 700 – 11 560 cal J.v.h.) sedimentierten. So ist allem Anschein nach das vollständige Schmelzen des inneren Eiskernes im Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.) erfolgt und wurde wohl auch in dieser Warmphase abgeschlossen.

Morphogenetisch ist eine ovale Hohlform mit einem mittleren Durchmesser von 163 bzw. 120 m und einer mittleren Tiefe von bis zu 6 m (-4,7 mNN) entstanden. Die Wandneigung ist mit ca. 65° „steil“, sodass Ostermoor eine trichterförmige Ausbildung als Formtyp aufweist. Spuren eines umrandeten Ringwalls sind in den Bohrungen HF2-B5, HF2-B6 (Westseite) und HF2-B13 (Ostseite, s. Abb. 7-15 sowie HF2-B8, HF2-B9 (Nordseite) und HF2-B3 (Südseite, s. Anh. A.3.2) erbohrt worden. In diesen Bohrungen wurden in 2 – 4 m Tiefe kiesige Grobsande und grobsandige Fein- bis Mittelsande auskartiert, die als Ablagerungen eines Ringwalls gedeutet werden. Die Höhe und Breite des Ringwalls wurde aus den Profilschnitten abgelesen, wobei die Höhe zwischen 0,2 und 0,6 m und die Breite zwischen ca. 30 und 40 m variieren. So beträgt an der Nordseite die Breite des Ringwalls 35 m und die Höhe 0,6 m und an der Südseite entsprechend 30 m bzw. 0,4 m. Der Ringwall ist an der Ost- und Westseite ebenfalls in Spuren anzutreffen, hier liegt die Höhe bei 0,2 bzw. 0,4 m und an der Westseite bei 40 bzw. 30 m (s. Abb. 7-15 u. Anh. A.3.2).

# Morphogenetische Interpretation der Hohlformen

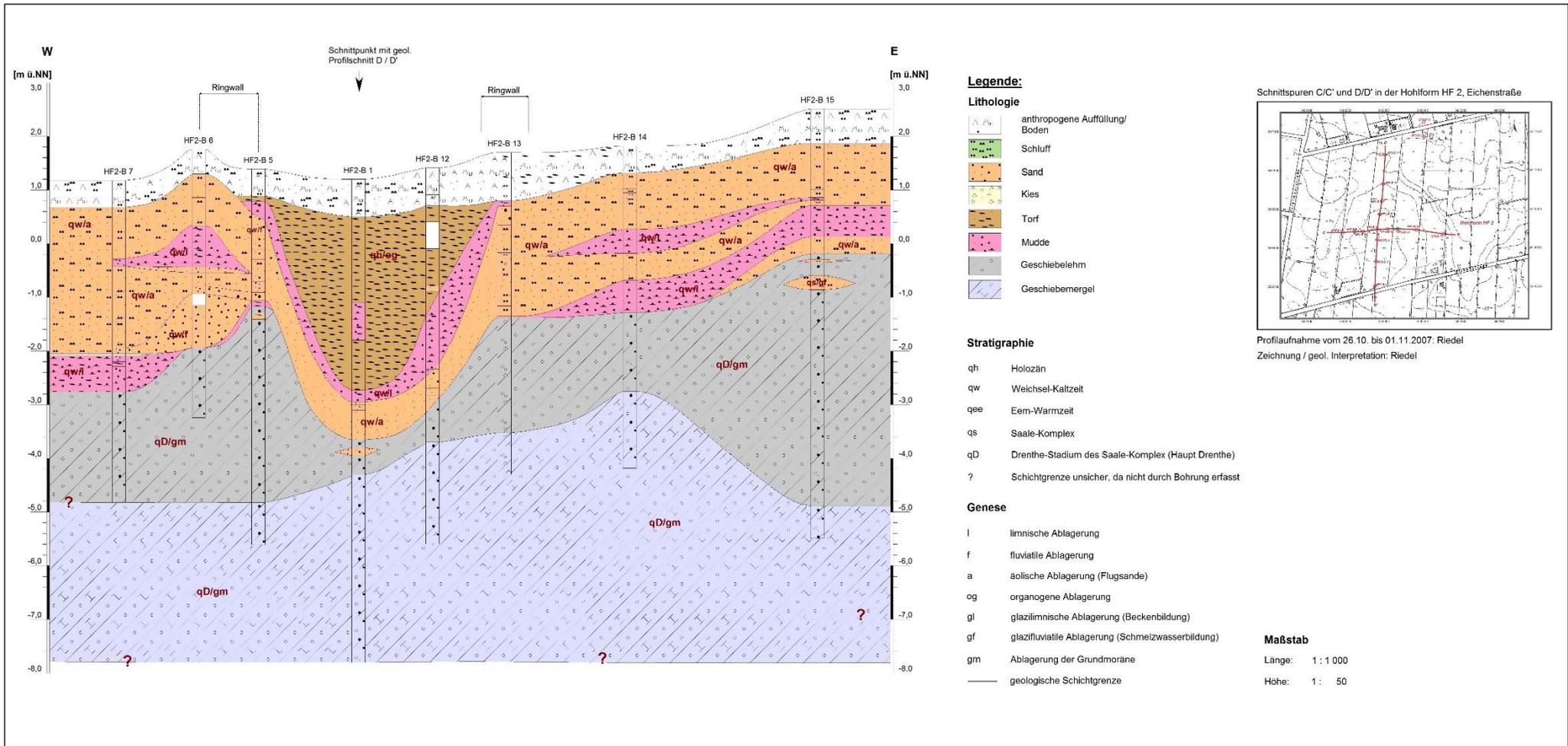


Abbildung 7-15. Geologischer Profilschnitt C/C' (W-E) Ostermoor

Die Schluffmudden an der Basis der Hohlform zeigen, dass Ostermoor zum Ende des Weichsel-Spätglazials (Jüngere Dryas) zunehmend vernässte und eine max. 1 m dicke Schicht sedimentierte (HF2-B2). Überlagert werden die Schluffmudden von einer geringmächtigen Torfschicht (0,3 m).

In den Bohrungen HF2-B1 und HF2-B2 (s. Abb. 7-15 u. Anh. 3-2) ist zu erkennen, dass die bis zu 0,6 m dicken weichsel-spätglazialen Schluffmudden von 3-4 m mächtigen holozänen Torfen bis fast an die Geländeoberfläche überlagert werden. Die Pollenanalyse dieser Torfschichten ergab, dass das Holozän vom Boreal (Zone V) bis zum Subboreal (Zone VIII) aufgeschlossen wird (s. Tab. 7-6). Anscheinend liegt in der Tiefe von -2,6 m/-3,8 m NN die Grenze zwischen Weichsel-Spätglazial und Holozän. Ebenso wird anhand der Pollenanalyse vermutet, dass die Moorbildung im Holozän begann, wahrscheinlich im Boreal (10 640 – 9 220 cal J.v.h.). In den holozänen Torfen sind unterschiedlich dicke die Muddeschichten eingelagert, die darauf hinweisen, dass die Moorbildung anscheinend immer wieder unterbrochen wurde.

Überlagert werden die holozänen Torfe von anthropogenen Auffüllungen, welche die flächendeckend die Deckschicht an der Oberfläche von Ostermoor bilden (s. Abb. 7-15 u. Anh. A.3.2). Die Schichtmächtigkeit der anthropogenen Ablagerungen ist unterschiedlich ausgebildet und variiert zwischen 0,3 m (Bohrung HF2-B10) und 1 m (Bohrung HF2-B13).

### 7.3.3 Kolk

Im unmittelbaren Bereich von Kolk wird eine Fehlstelle mit einer Tiefe von bis zu 9 m (-9,5 mNN) vermutet, die die Grundmoräne der Haupt Drenthe (qD/gm) vollständig durchschnitten hat. Der Durchmesser liegt bei ca. 65 m in Nord-Süd-Richtung (HF3-B1 bis HF3-B11) und ca. 75 m in West-Ost-Richtung (HF3-B4 bis HF3-B8). Jedoch wurde in keinen der Bohrungen die Grundmoräne durchteuft (s. Abb. 7-16 u. Anh. A.3.3). Diese Fehlstelle weist möglicherweise, wie beim Frauenmeer, auf ein „geologisches Fenster“ hin.

Gut sortierte und homogen strukturierte weichsel-kaltzeitliche Flugsande sedimentierten in die angelegte Wanne des Saale-Komplex und überlagerten sie flächendeckend unter Ausbildung einer 3 – 6 m mächtigen großräumigen Flugsanddecke. Die Flugsande sind hier überwiegend als schluffige, z. T. schwach humose, Feinsande ausgebildet. Unterbrochen wird die Flugsanddecke von unterschiedlich cm- bis dm-mächtigen, konkordant verlaufenden Schluff- und Muddebänder und gelegentlich auftretenden Schlufflinsen von geringer Schichtdicke im dm-Bereich (s. Abb. 7-16 u. Anh. A.3.3). Die Mudden sind als humose Schluffmudden und vereinzelt als Sandmudden entwickelt. Im Osten (HF3-B10) und Norden (HF3-B15) der Hohlform wurden in der Flugsanddecke enggestellte Schichtungen aus cm-mächtigen limnischen Schluffen und Schluffmudden erbohrt, welche von Kolk durchbrochen wurden (s. Abb. 7-16). An der westlichen

Seite der Hohlform wurde in ca. 3 – 5 m Tiefe eine in ihre Dicke variierende Sedimentschicht aus feinsandigen Mittelsanden auskartiert. Dieser Horizont wird von den Bohrungen HF3-B7, HF3-B6, HF3-B5 und HF3-B4 erfasst und weist eine Mächtigkeit von min. 0,4 m (HF3-B6) und max. 1,4 m (HF3-B4) auf. In den übrigen Randbereichen der Hohlform wurde dieser Mittelsandhorizont nicht erbohrt.

In der Oberen Mittel-Weichsel zur Phase extremer Abkühlung hat sich im Bereich des vermuteten „geologischen Fensters“ der Paläopingo Kolk entwickelt. Die Pollenanalyse lässt vermuten, dass in den Warmphasen des Weichsel-Spätglazials der Pingozerfall mit der ersten Warmphase einsetzte und wohl im Allerød-Interstadial vollständig kollabiert ist.

Die Struktur des Paläopingos wird mit den Kreuzprofilschnitten W-E: HF3-B6, HF3-B5, HF3-B4, HF3-B2, HF3-B2a, HF3-B2b,proj, HF3-B8, HF3-B9, HF3-B10 (s. Abb. 7-16) und N-S: HF3-B3, HF3-B15, HF3-B1, HF3-B2b+B2a,proj, HF3-B11, HF3-B12 und HF3-B13 (s. Anh. 3.3) gut erfasst. Gut sortierte Feinsande wurden bis -9,6 mNN nachgewiesen, welche somit auf das Vorhandensein einer Fehlstelle hinweisen, so wie im benachbarten Frauenmeer (s. Kap. 5.2.6). Jedoch wurden die hier vermuteten darunterliegenden Schmelzwassersande mit den Bohrungen in der Hohlform Kolk nicht erfasst, sind aber in den größeren Tiefen zu vermuten. Einen hinreichenden Beleg für diese Annahme gibt es nicht, welcher aber auch nicht gänzlich auszuschließen ist. Unter Berücksichtigung der Ausführungen von DE GANS & SOHL (1981) zum Vorkommen von „geologischen Fenstern“ (s. Kap. 3.4.3) ist diese Interpretation auch für Kolk annehmbar und plausibel.

Morphogenetisch ist Kolk eine ca. 11,6 m (-8 mNN) tiefe Hohlform mit einem ovalen Durchmesser von 208 bzw. 273 m entstanden. Die Wandneigung ist mit ca. 75° „steil“ ausgeprägt, sodass der Formentyp somit trichterförmig ist, s. Abb. 7-16. Einen randlichen Ringwall mit einer Höhe von ca. 0,8 m und einer Breite von ca. 35 m wurde an der Ostseite in den Bohrungen HF3-B9 und HF3-B10 (s. Abb. 7-16) erbohrt. Beide Bohrungen wiesen direkt unterhalb der anthropogenen Auffüllung in ca. 0,6 m Tiefe eine ca. 1 m mächtige Sedimentschicht aus schwach mittelkiesigen und sehr schwach fein- bis grobkiesigen Feinsanden auf, in denen dünne Lagen aus mittelkiesigen Sanden eingebettet sind. Dieser Horizont weist auf die Existenz eines randlich ausgebildeten Ringwalls hin (s. Tab. 8-1). An der Westseite hingegen wurden keine eindeutigen Hinweise auf einen Ringwall erbohrt (HF3-B6). Spuren eines Ringwalls wurden an der Nord- und Südseite der Hohlform erfasst (N: HF3-B3 und HF3-B15, S: HF3-B13 und HF3-B14), s. Anh. A.3.3). In diesen Bohrungen wurden in unterschiedlichen Tiefen Mittel- bis Grobsande in einer sehr feinkörnigen Matrix auskartiert. Die heterogenen Sande werden als Ablagerungen eines Ringwalls gedeutet. An der Nordseite wurde eine Höhe von 0,4 m und Breite von ca. 35 m abgeleitet, an der Südseite entsprechend eine Höhe von 0,6 m und Breite von 40 m.

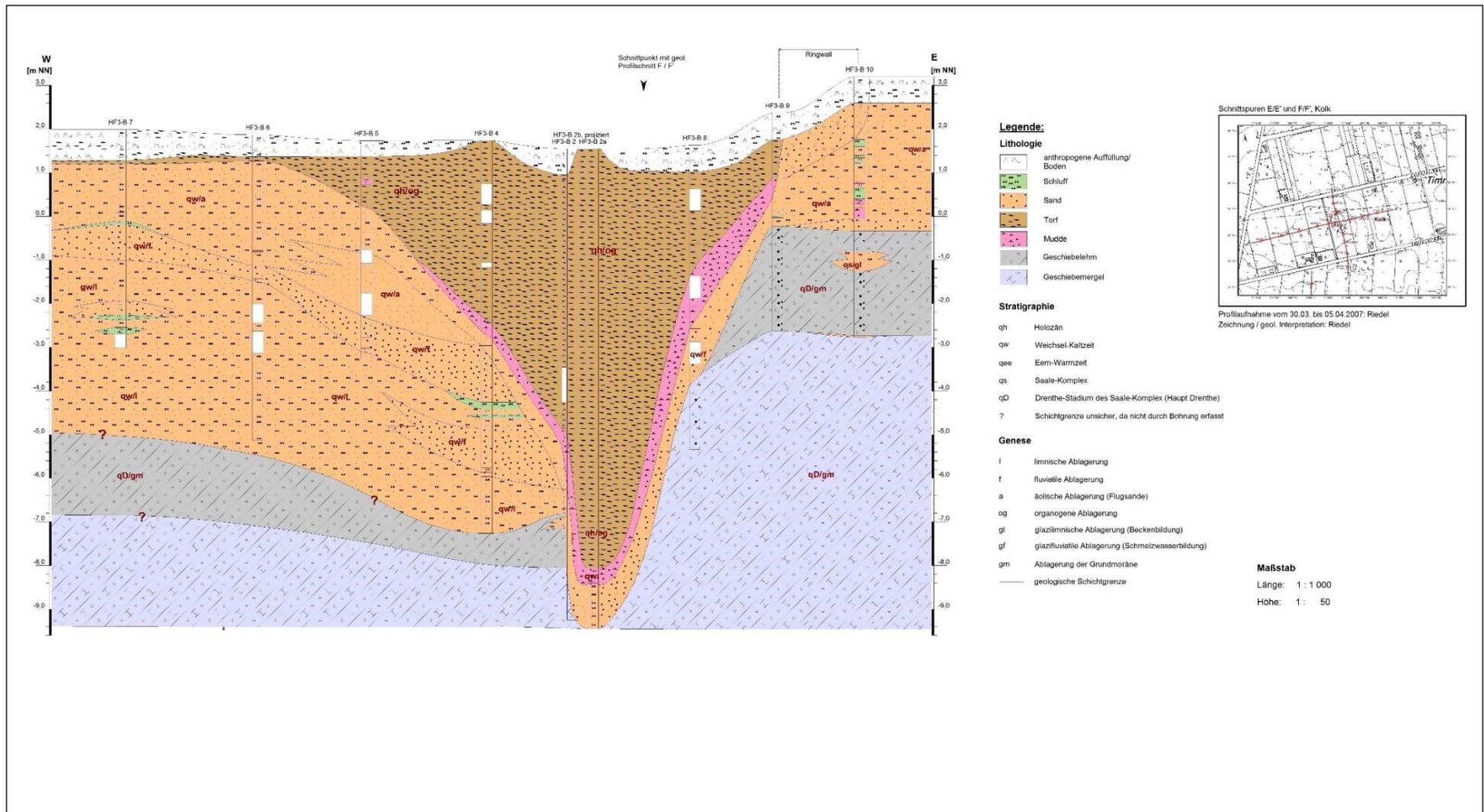


Abbildung 7-16. Geologischer Profilschnitt E/E' (W-E) Kolk

Die Pollenanalyse ergab (s. Tab. 7-6), dass Kolk erst im Präboreal vernässte und sich mit Wasser füllte. Schluffmudden lagerten sich zunächst an der Basis der Hohlform ab. Ältere Sedimente wurden an der Basis von Kolk nicht nachgewiesen. Die Schluffmudden weisen eine Sedimentdicke von 0,4 m (HF3-B2a) bis 1,2 m auf (HF3-B2b) und werden von bis zu 8 m mächtigen Nieder- und Hochmoortorfen bis an die Geländeoberfläche überlagert (s. Abb. 7-16 u. Anh. A.3.3). In den Torfschichten wurden die Pollenzonen Atlantikum, Subboreal und Subatlantikum ermittelt, während das Boreal fehlt (Hiatus). Das Alter der Torfe belegt, dass die Torfbildung erst im Atlantikum (9 220 – 5 660 cal J.v.h.) begann.

Anthropogene Auffüllungen bilden flächendeckend die oberflächennahe Deckschicht von Kolk (s. Abb. 7-16 u. Anh. A.3.3), wobei die Schichtmächtigkeit unterschiedlich ausgebildet ist und zwischen 0,4 m (Bohrung HF3-B5) und 1 m (Bohrung HF3-B11) schwankt.

#### **7.3.4 Erlenstraße**

Im unmittelbaren Bereich von Erlenstraße wird ebenfalls eine Wanne des Saale-Komplex vermutet, die einen Durchmesser von 90 m in Nord-Süd-Richtung und 115 m in West-Ost-Richtung mit einer Tiefe von bis zu 2,4 m (-1,4 m NN) aufweist (s. Abb. 7-17 u. Anh. A.3.4).

Weichsel-kaltzeitliche Flugsande verfüllten die Wanne vollständig und bedeckten flächendeckend den gesamten Bereich der Hohlform Erlenstraße. Somit bildete sich bis zur Geländeoberfläche eine geschlossene und 2 – 5 m mächtige Flugsanddecke aus. Die auskartierten Flugsande sind hier als gut sortierte, homogene bis schluffige Feinsande ausgebildet (s. Abb. 7-17 u. Anh. A.3.4).

Als Folge von äolischen Prozessen entstand innerhalb dieser Flugsanddecken die Flugsanddepression Erlenstraße und wird von den Bohrungen W-E: HF4-B 10, HF4-B9, HF4-B1, HF4-B4, HF4-B7 und HF4-B8, N-S: HF4-B5a, HF4-B1, HF4-B2 und HF4-B3 erfasst. Sie zeigt morphogenetisch eine ovale bis runde Form mit einem mittleren Durchmesser von 85/165 m und einer geringen Tiefe von 3,8 m (-1,3 mNN) auf. Die Wandneigung ist mit ca. 40° „relativ steil“, sodass die Hohlform wannenförmig als Formtyp ausgebildet ist (s. Abb. 7-17 u. Anh. A.3.4).

Die Flugsanddepression Erlenstraße ist vollständig mit Schluffmudden und Torfen verfüllt. Die Pollenanalyse ergab, dass in den untersuchten Schluffmudden- und Torfschichten die Pollenzonen Zone III (Jüngere Dryas), Zone IV (Präboreal) und Zone V (Boreal) aufgeschlossen sind (s. Tab. 7-6). So sedimentierte in der Jüngeren Dryas (12 700 – 11 560 cal J.v.h.) die Schluffmudden, während die Moorbildung erst im Präboreal (11 560 – 10 640 cal J.v.h.) begann (s. Abb. 7-17 u. Anh. A.3.4). Seit dem Atlantikum lagerten sich 1,4 m dicke Niedermoor-torfe in den unteren Bereichen an der Basis von Erlenstraße ab. Ältere Horizonte wurden jedoch in den Torfschichten nicht nachgewiesen.

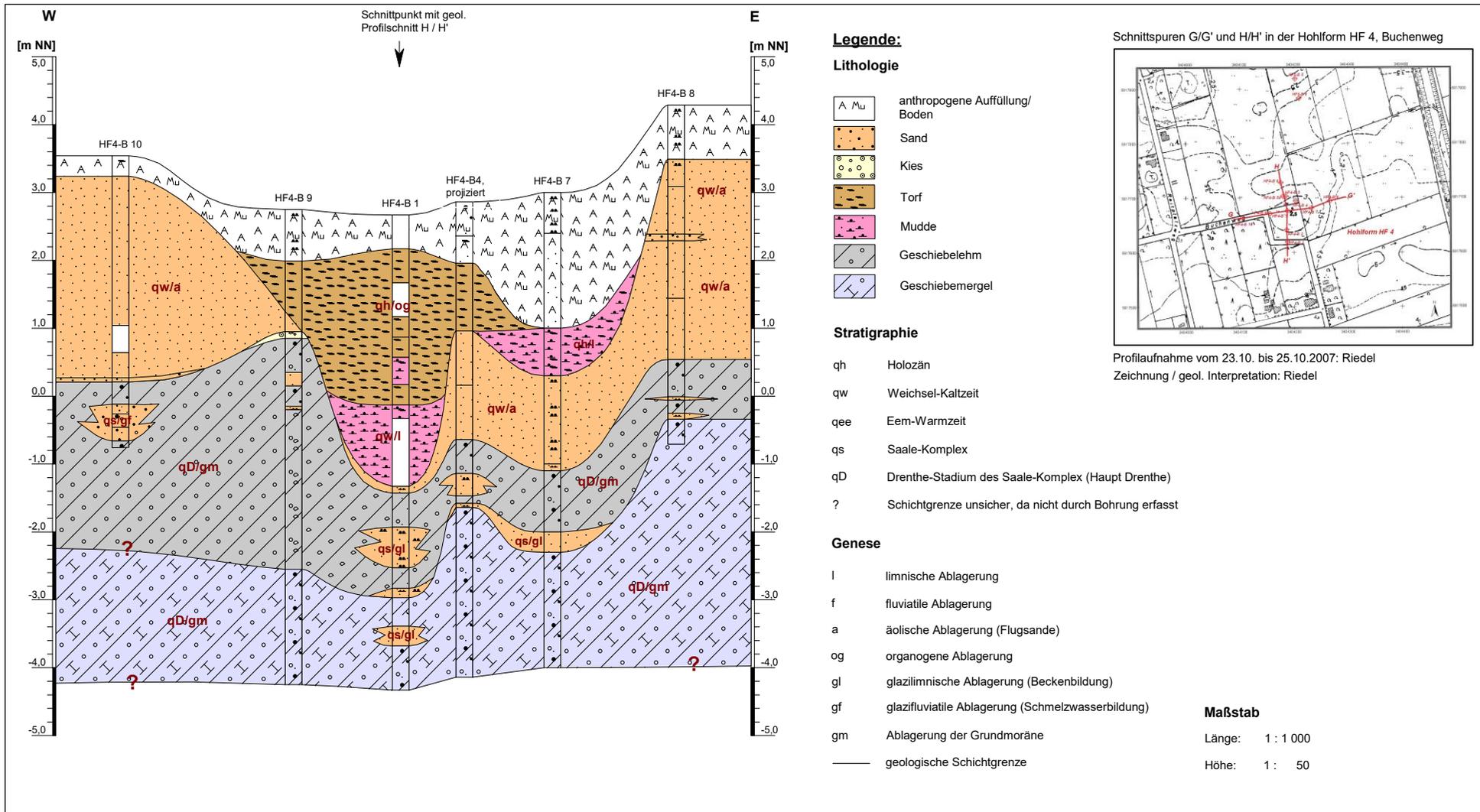


Abbildung 7-17. Geologischer Profilschnitt G/G' (W-E) Erlenstraße

Im östlichen Teil von Erlenstraße wurde eine geringmächtige Schluffmudde von 0,8 m erbohrt, welche jedoch in den benachbarten Bohrungen (HF4-B4 und HF4-B7) in gleicher Tiefe nicht angetroffen wurde. In der Bohrung HF4-B1 wurde gering mächtige Muddeschichten innerhalb der pleistozänen (3 – 3,4 m u. GOK) und holozänen (3,9 – 4,1 m u. GOK) Torfe erbohrt. Die Schluffhorizonte deuten darauf hin, dass das Moorwachstum immer wieder unterbrochen wurde.

Wie bei den anderen Hohlformen überlagern anthropogene Auffüllungen flächendeckend die Torfablagerungen und bilden die Deckschicht von Erlenstraße (s. Abb. 7-17 u. Anh. A.3.4). Die Schichtmächtigkeit der anthropogenen Ablagerungen ist unterschiedlich ausgebildet und variiert zwischen 0,4 m (Bohrung HF4-B3) und 2 m (Bohrung HF4-B7).

### **7.3.5 Osterweide**

Wie bereits erwähnt befindet sich im Bereich von Osterweide morphogenetisch eine im Saale-Komplex gebildete Rinne mit einem Durchmesser von 280 m in West-Ost-Richtung und einer Tiefe von 4,4 m (-6 mNN). Die Nord- und Südseite der Rinne wurde mit den Bohrungen nicht erfasst (s. Abb. 7-18 u. Anh. A.3.5).

Im Eem-Interglazial sedimentierten nun fluviatile und limnische Ablagerungen in dieser Rinne und verfüllten sie vollständig. Diese eemzeitlichen Sedimente wiesen eine Mächtigkeit von insgesamt 4,4 m auf (s. Anh. A.3.5.1). Die Rinnenbasis bilden maximal 1 m mächtige fluviatile Mittelsande und limnisch, schluffige Feinsande, die weiter im Hangenden von gut sortierten, z. T. schwach schluffigen Tonen überlagert werden. Diese Tone weisen eine unterschiedliche Schichtdicke auf, welche zwischen 0,4 m (HF5-B4) und 1 m (HF5-B1+B1D) variiert. Nach Süden hin taucht diese Tonschicht in tiefere Bereiche ab und wird von den Bohrungen nicht mehr erfasst. Die Abgrenzung der Tone nach Westen wurde mit der Bohrung HF5-B9 und nach Osten mit der Bohrung HF5-B8 erfasst. Eine Eingrenzung nach Norden und Süden erfolgte nicht.

Über den eemzeitlichen Tonen folgt eine geringmächtige Schicht aus limnischen, teilweise schluffigen bis humosen Feinsanden. Die Schichtdicke der Feinsandschicht liegt zwischen 0,2 und 0,4 m. Unterschiedliche mächtige Torfe sedimentierten auf der Feinsandschicht, wobei die erbohrte Sedimentmächtigkeit zwischen 1 und 2,7 m lag. Nach Süden hin nimmt die Schichtdicke der Torfe deutlich zu und wurde mit den Bohrungen HF5-B5 und HF5-B6 nicht durchteuft. Eine Abgrenzung der Torfe nach Westen und Osten erfolgte durch die Bohrungen HF5-B9 und HF5-B8. Die nördliche und südliche Grenze wurde mit den Bohrungen nicht aufgeschlossen. Die Torfe sind stark zersetzt und dicht gelagert. Die Pollenanalyse (HF5-B5) ergab, dass die erbohrten Torfhorizonte ausschließlich die Kiefernzeit (Zone E VII) des ausklingenden Eem-Interglazials aufschließen (Abb. 7-18).

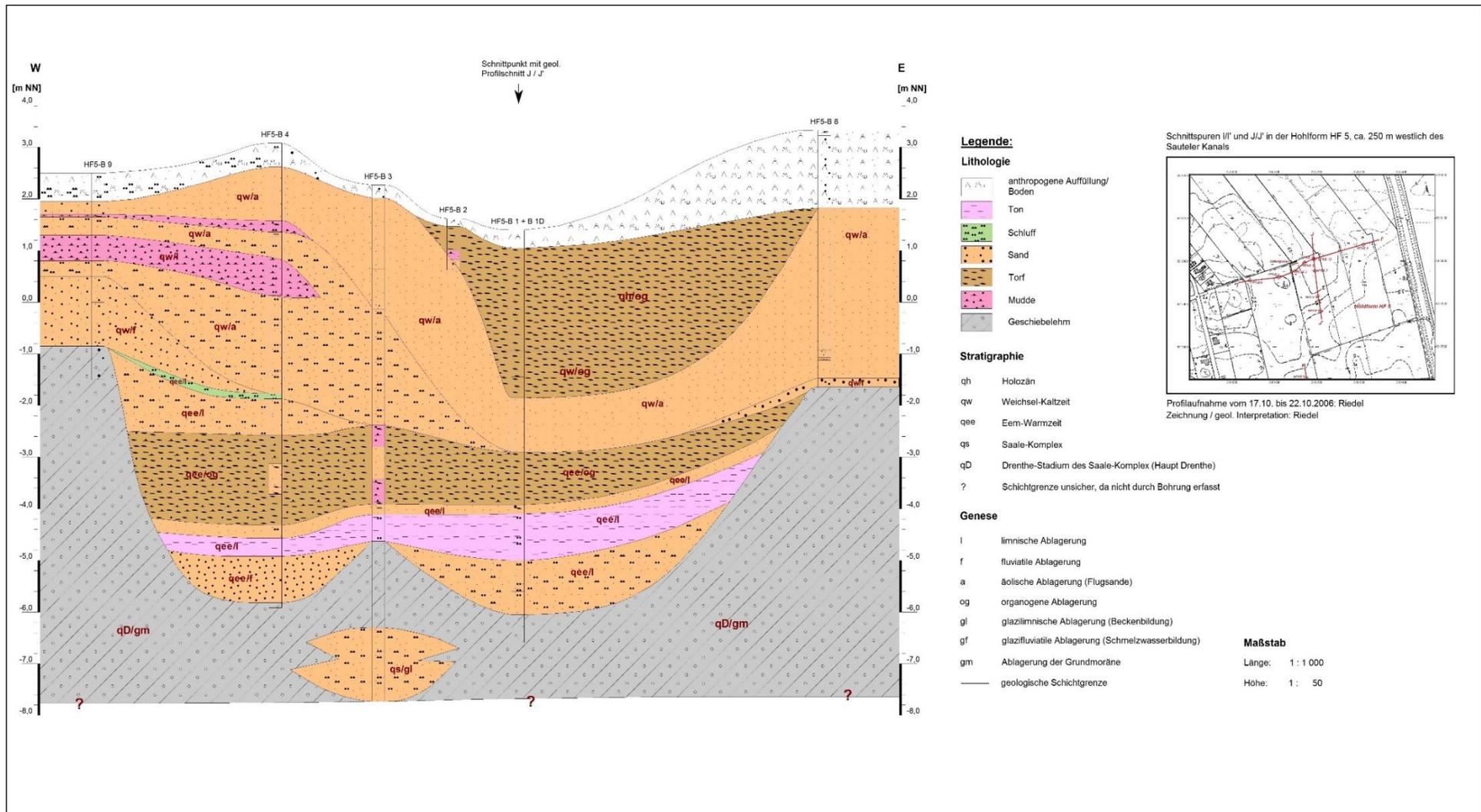


Abbildung 7-18. Geologischer Profilschnitt I/I' (W-E) Osterweide

Innerhalb der eemzeitlichen Torfe sind dm-mächtige Linsen aus humosen Mudden und Feinsanden eingelagert (HF5-B4 und HF5-B3). In den nördlichen und westlichen Bereichen folgen über diese Torfe eemzeitliche, limnische Ablagerungen aus z. T. schluffigen Feinsanden, welche weiter im Hangenden von geringmächtigen feinsandigen Schluffen überlagert werden. Die Feinsande weisen eine Sedimentdicke von 0,6 – 1,6 m, während die der Schluffe zwischen 0,1 und 0,4 m liegen.

Während der Weichsel-Kaltzeit sedimentierten im Bereich der eemzeitlich verfüllten Rinne Flugsande aus gut sortierten Feinsanden mit teilweise schluffigen Anteilen und bildeten flächendeckend eine geschlossene Flugsanddecke über die Rinne bis zur Geländeoberfläche aus. Diese weichsel-kaltzeitliche Flugsanddecke variiert merklich in ihrer Mächtigkeit und liegt zwischen 1 und 5 m. In die Flugsanddecke sind dünne Lagen aus Schluffmudden und Schluffen eingelagert, welche ebenfalls deutliche Unterschiede in ihren Mächtigkeiten aufweisen. Die Schlufflagen sind nur einige cm bis dm mächtig, während die Sedimentlagen der Schluffmudde von 0,4 – 1 m mächtig sind (HF5-B4, HF5-B5, HF5-B6 und HF5-B7).

Am südlichen Teil der Rinne werden die eemzeitlichen Torfe von fluviatilen grobsandigen Mittelsanden überlagert, die wiederum von limnischen, schluffigen Feinsanden und fluviatilen Mittel- bis Grobsanden überdeckt wurden (HF5-B6). Jedoch ließ sich dieser Horizont nicht weiter nach Süden verfolgen.

Innerhalb dieser Flugsanddecken ist im östlichen Teil der Rinne des Saale-Komplex die Flugsanddepression Osterweide entstanden, die von den Bohrungen HF5-B3, HF5-B2, HF5-B1D und HF5-B8 erfasst wird (s. Abb. 7-18). Osterweide lässt sich nach Westen und Osten sowie nach Süden gut abgrenzen, während eine Eingrenzung der Hohlform nach Norden nicht erfolgt ist.

Insgesamt zeigt Osterweide eine oval längliche Form mit einem mittleren Durchmesser von 105 m in Nord-Süd-Richtung und von 160 m in West-Ost-Richtung und einer geringen Tiefe von 3,2 m (-1,8 mNN) auf. Die Wandneigung von Osterweide ist mit ca. 40° „relativ steil“ ausgebildet, welches gut in den geologischen Profilen zu erkennen ist (s. Abb. 7-18, Anh. A.3.5 u. Tab. 8-1). Der Formtyp ist demnach wannenförmig.

Osterweide ist vollständig mit Schluffmudden und Torfen verfüllt. Torfe der Jüngeren Dryas (Zone III) sedimentierten in den unteren Horizonten ab ca. 3 m u. GOK der Hohlform (s. Abb. 7-18, Anh. A.3.5). Im Präboreal (11 560 – 10 640 cal J.v.h.) setzte sich die Moorbildung weiter fort, wobei die holozänen Torfablagerungen als zeitlich jüngere Horizonte die weichsel-kaltzeitlichen Torfe der Hohlform Osterweide überlagern. Diese jüngeren Torfhorizonte erschließen innerhalb der Hohlform von 2,35 m u. GOK bis zur Geländeoberfläche vollständig das Holozän, beginnend mit dem Präboreal (Zone IV) bis zum Subatlantikum (Zone IX/X), auf (s. Tab. 7-6).

Anthropogene Auffüllungen überlagern die weichsel-kaltzeitlichen Flugsande und holozäne Torfablagerungen, die flächendeckend Osterweide bedecken (s. Abb. 7-18 u. Anh. A.3.5). Die Schichtmächtigkeit der anthropogenen Ablagerungen ist unterschiedlich ausgebildet und variiert zwischen 0,3 m (Bohrung HF5-B7) und 1,4 m (Bohrung HF5-B8).

### 7.3.6 Reitplatzweg

Im Bereich von Reitplatzweg wurden 1989 zwei Bohrungen (B10 und B11) abgeteuft, anhand deren Schichtaufnahmen ein Profilschnitt zu erstellen war. In diesem Profilschnitt ist gut sichtbar, dass die beiden Bohrungen die Hohlform nicht vollständig erfassen, jedoch lässt sich ein geologischer Aufbau des Untergrundes im Bereich vom Reitplatzweg ableiten und wie folgt beschreiben (s. Abb. 7-19):

Nach der vollständigen Eisbedeckung in der Haupt Drenthe hat sich als Folge des Rückzuges des Inlandeises morphogenetisch eine flache Wanne ausgebildet, die hier einen Durchmesser von ca. 60 m und eine Tiefe von 1,7 m (-1,4 mNN) aufweist. Eine Abgrenzung nach Norden war anhand der beiden Bohrungen nicht möglich (s. Abb. 7-19).

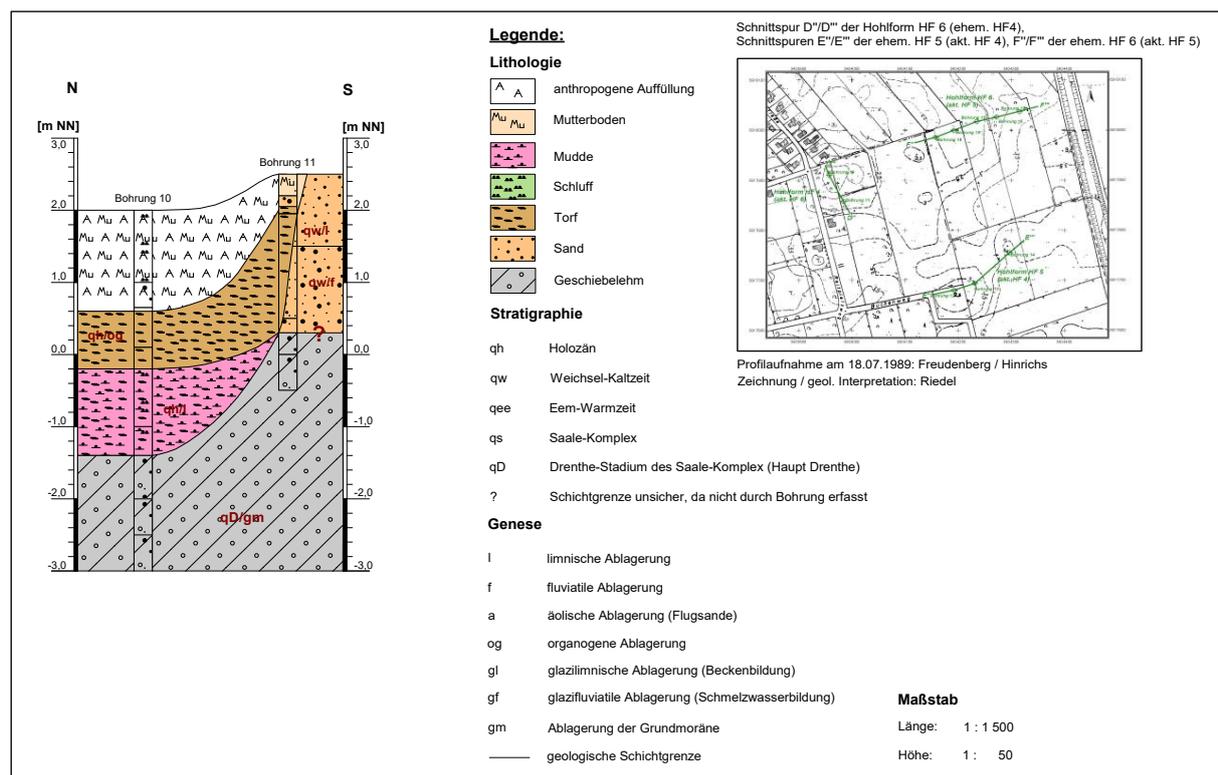


Abbildung 7-19. Geologischer Profilschnitt (N-S) Reitplatzweg

Wie in den anderen Hohlformen im Timmelerfeld, haben während der Weichsel-Kaltzeit Flugsande vollständig die im Saale-Komplex gebildete Wanne verfüllt und bis zu 2,4 m mächtige Flugsanddecken aus Mittel- bis Feinsanden sedimentierten flächendeckend im gesamten Bereich vom Reitplatzweg. Innerhalb dieser Flugsanddecke hat sich im unmittelbaren Bereich

der Wanne des Saale-Komplex die Flugsanddepression Reitplatzweg entwickelt. Morphogenetisch weist Reitplatzweg einen mittleren Durchmesser von etwa 150 m (Reliefkarte, NIBIS®Kartenserver) und eine geringe Tiefe von 3,4 m (-1,4 mNN) auf. Die Wandneigung von Reitplatzweg ist mit ca. 40° „relativ steil“ ausgebildet und entspricht somit einem wannenförmigen Formtyp (s. Abb. 7-19., Tab. 8-1).

Die Basis von Reitplatzweg bilden ca. 1,2 m mächtige holozäne humose Mudden mit teilweise schluffigen Anteilen, die von ca. 0,8 m mächtigen holozänen Torfen überlagert werden. Eine pollenanalytische Untersuchung der Mudde- und Torfschichten erfolgte 1989 nicht, sodass eine Altersbestimmung nicht möglich war. Anthropogene Ablagerungen wurden als oberflächennahe Schicht über den holozänen Torfen bis zur Geländeoberfläche erbohrt und weisen im Bereich der Hohlform Mächtigkeiten von 0,5 – 1,4 m auf (s. Abb. 7-19, Tab. 8-1).

## **7.4 Diskussion der Ergebnisse**

### **7.4.1 Analyse des innovativen Leitfadens**

Die bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen haben keine einheitlichen Methoden für eine eindeutige Bestimmung und Differenzierung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen hervorgebracht. Deshalb wurde über eine umfangreiche Literaturstudie (s. Literaturverzeichnis) ein innovativer Leitfaden entwickelt. Ebenso wurden repräsentative Literaturbeispiele im niederländischen Drenthe-Plateau (11) und in Ostfriesland (3) ausgewählt, um anhand dieser Beispiele die Voraussetzungen und Kriterien zu konkretisieren.

Für das Drenthe-Plateau wurden die Publikationen von PARIS et al. (1979), DE GANS (1982), und DE GANS & SOHL (1981) der Freien Universität Amsterdam sowie DE GANS & CLEVERINGA (1986) vom Nationalen Geologischen Dienst der Niederlande ausgewählt. Die Wissenschaftler haben Eigenschaften und Merkmale für weichsel-kaltzeitliche Paläopingos und Flugsanddepressionen beschrieben sowie die geologischen und klimatischen Rahmenbedingungen formuliert. Ihre Arbeiten sind somit als Grundlagenforschung für die Entstehung der weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen zu verstehen.

Für Ostfriesland wurden die Arbeiten von GARLEFF (1968) der Universität Göttingen sowie FREUND (1995) und MEYER & MERKT (1995) vom damaligen NLFb Hannover ausgesucht. Insbesondere GARLEFF (1968) untersuchte gezielt geschlossene Hohlformen („Karven“) im nordwestdeutschen Tiefland und bestimmte erstmals anhand selbst definierter geomorphologischer Kriterien mögliche Paläopingos und Flugsanddepressionen in Ostfriesland. Seine Arbeit spielt als Grundlagenforschung für die Entwicklung des Leitfadens eine maßgebliche Rolle.

So ist es möglich, die für den Leitfaden wichtigen Voraussetzungen und Kriterien auf profunden, wissenschaftlichen Daten zu entwickeln.

Das niedersächsische LBEG in Hannover veröffentlicht aktuelle Daten zur stratigraphischen Gliederung des Quartärs für Niedersachsen. Das LBEG berücksichtigt die regional zeitlichen und stratigraphischen Unterschiede und verwendet für die Gliederung des Holozäns und Pleistozäns sowie Quellen, welche die regionale Geologie und deren Gliederung einbeziehen.

So basieren die Vorgaben für das Holozän auf Quellen von LITT, BRAUER, GOSLAR, MERKT, BALAGA, MÜLLER, RALSKA-JASIEWICZOWA, STEBICH & NEGENDANK (2001) sowie BEHRE, K.-E. (1995). Die Angaben für das Pleistozän beziehen sich auf die Gliederung des Quartärs in Niedersachsen auf Quellen nach STREIF (2004) mit Beiträgen von CASPERS, FREUND, GEYH, KLEINMANN, MERKT, MEYER, MÜLLER, ROHDE & SCHWARZ. Die Angaben zum numerischen Alter für das Holozän und Pleistozän erfolgen nach den Vorgaben des International Chronostratigraphic Chart, herausgegeben von der Deutschen Stratigraphischen Kommission, für die stratigraphische Tabelle von Deutschland, redaktionell bearbeitet von MENNING & HENDRICH (2016).

Das eigene Untersuchungsgebiet im Timmelfeld sowie die ausgewählten Beispiele in Ostfriesland liegen im Nordwesten Niedersachsens, sodass die regionale stratigraphische Gliederung für das Quartär mit den zeitlichen Angaben vom LBEG übernommen werden.

Für die ausgewählten Beispiele im Drenthe-Plateau ist das angegebene Radiokarbonalter verbindlich. Für eine bessere Vergleichbarkeit und Korrelierung mit den Beispielen aus Ostfriesland wird die Lithostratigraphie und Klimaperioden vom LBEG übernommen.

Der Leitfaden wurde auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen in der Fachliteratur entwickelt, sodass die hieraus abgeleitete Gliederung in insgesamt drei Kategorien als plausibel zu bewerten ist (s. Kap. 7.1). Als Ergebnis der umfangreichen Literaturstudie ist ein innovativer Leitfaden entstanden, der als ideales Werkzeug für die Bestimmung und Differenzierung von weichselkaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen zu verstehen ist und in künftigen Untersuchungen von abflusslosen Hohlformen seine Anwendung finden sollte.

#### **7.4.2 Beurteilung der geologischen Aufnahme eigener Untersuchungen**

Die Beurteilung des geologischen Schichtaufbaus der Hohlformen erfolgt mittels des geologischen Schnittes S1(GE) „Untere Ems Lockergestein rechts“ nach LBEG (2007) als Normalprofil für Ostfriesland (s. Abb. 4-6), sowie der geologischen Karte für den Ausschnitt Timmelfeld (s. Abb. 4-7), welche vom NIBIS®Kartenserver des LBEG Geozentrums in Hannover online zur Verfügung gestellt werden.

Die Grundmoräne der Haupt Drenthe wurde im Untersuchungsgebiet Timmelfeld als prägende geologische Einheit erbohrt, dessen Ausbildung als Geschiebelehm und –mergel ebenfalls mit dem geologischen Normalprofil (s. Abb. 4-6) stimmig ist. Ebenso stimmen die ermittelten Tiefen von ca. +0,2 m NN bis max. -6 m NN gut mit den Angaben im geologischen Schnitt S1(GE) „Untere Ems Lockergestein rechts“ überein.

Die nördlich vom Ostermoor und im Bereich der Osterweide oberflächennah in ca. 4,4 m Tiefe (-1,8 mNN bzw. -6 mNN) auskartierten Rinnen des Saale-Komplex sind vermutlich zu kleinräumig ausgebildet und sind deshalb im geologischen Schnitt S1(GE) „Untere Ems Lockergestein rechts“ grafisch nicht darzustellen.

Im gesamten Timmelfeld wurden flächendeckend Flugsande aus überwiegend homogenen und gutsortierten Feinsanden, zum Teil auch schluffig, über dem Geschiebelehm bzw. –mergel des Saale-Komplex erbohrt. Diese Flugsanddecken bilden bis an die Geländeoberkante eine Sedimentdecke aus, welche in ihrer Mächtigkeit von 1,5 bis zu 4,5 m variiert. Lediglich im Bereich von Kolk war die Flugsanddecke lokal bis zu 6 m mächtig. Die Flugsanddecken bilden in guter Übereinstimmung mit dem geologischen Schnitt S1(GE) „Untere Ems Lockergestein rechts“ die jüngsten geologischen Einheiten. WILDVANG (1935) erbohrte bereits Mitte der 1930er Jahre unterschiedlich mächtige Flugsanddecken im Timmelfeld (s. Kap. 4.2.4). Die aktuell auskartierten Flugsanddecken korrespondieren gut in ihrer flächendeckenden Ausbildung und Mächtigkeit mit denen von Wildvang.

In allen sechs Hohlformen im Timmelfeld wurden unterschiedlich mächtige anthropogene Auffüllungen erbohrt (s. Abb.en 7-15 – 7-20 u. Anh. A.3), die die weichsel-kaltzeitlichen Flugsande und holozänen Torfablagerungen flächendeckend überlagern. Diese Auffüllungen dokumentieren, dass das Timmelfeld merklich vom Menschen beeinflusst wird. Intensive Entwässerung über parallel verlaufende Grabensysteme durch die Hohlformen sowie extensive landwirtschaftliche Nutzung, sind weitere dominierende Elemente in anthropogenen Siedlungsgebieten. Aufgrund der anthropogenen Überprägung sind die Hohlformen morphologisch im Gelände lediglich als flache und vermoorte Hohlformen wahrzunehmen (s. Abb.en 6-3 bis 6-13).

### **7.4.3 Bewertung der organogenen Verfüllungen in den Hohlformen**

Die organogenen Verfüllungen zeigen in den Hohlformen überwiegend einen einheitlichen Schichtaufbau, beginnend mit Schluffmudde an der Basis, welche von Torfschichten und anthropogenen Auffüllungen überlagert werden. Die Mudde- und Torfschichten sind in den fünf Hohlformen unterschiedlich mächtig ausgebildet und weisen zudem ein verschiedenes Alter auf (s. Tab.en 7.6 u. 8.1). Die ältesten organogenen Schichten von Ostermoor, Pultermoor und Osterweide sind die Schluffmudden, die mittels Pollenanalyse ins Jüngere Dryas (12 700 –

11 560 cal J.v.h.) datiert wurden. Die Schluffmudden von Kolk in 680 – 640 cm Tiefe sind jünger und wurden ins Präboreal (11 560 – 10 640 cal J.v.h.) datiert. In Erlenstraße weisen die kiesigen Sedimente in der Tiefe von 305 – 285 cm ein numerisches Alter von 12 700 – 11 560 cal J.v.h. (Jüngere Dryas) auf. Die Schluffmudden zeigen, dass die Vernässung der Hohlformen anscheinend im ausklingenden Weichsel-Spätglazial, spätestens zu Beginn des Holozäns (Präboreal), begann. Der Fazieswechsel in der Schluffmudde oder im kiesigen Sediment deutet anscheinend auf eine Kaltphase des Weichsel-Spätglazials hin, welche einen zeitlich begrenzten kälteren Abschnitt mit Tundrenklima dokumentiert.

Die Moorbildung setzte erst viel später ein und begann in Erlenstraße und Osterweide postglazial im Präboreal (11 560 - 10 640 cal J.v.h.); in Pultermoor, Ostermoor und Erlenstraße im Boreal (10 640 - 9 220 cal J.v.h.) und Atlantikum (9 220 – 5 660 cal J.v.h.). Das Atlantikum war eher feuchter und wärmer und begünstigte mit seinem Klimaoptimum die Moorbildung (TELLER 2002, EHLERS 2020). Obwohl das Präboreal und Boreal eher kühlere und trockenere Klimaphasen darstellten (TELLER 2002), setzte sich die Moorbildung dennoch weiter fort. Die Moorbildung in Erlenstraße und Osterweide begann zu einem früheren Zeitpunkt, da beide Hohlformen weiter östlich im Timmelfeld liegen und somit anscheinend früher vernässten als die westlich gelegenen Hohlformen Pultermoor, Ostermoor und Erlenstraße. Eine Erklärung zum unterschiedlichen Alter der Moore auf der Oldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche wird auch von PETZELBERGER et al. (1999) diskutiert. Demnach nimmt das Alter der Moore von Norden nach Süden mit zunehmender Entfernung zur Küste ab, wobei Petzelberger et al. einen Zusammenhang zwischen der von Norden vorrückenden Nordsee (Küstenlinie nach Süden vorrückend) und der einhergehenden Klimaveränderung sieht, die insbesondere das Hochmoorwachstum begünstigte. So sollte folglich küstennah das Hochmoorwachstum eher beginnen als die küstenfernen Bereiche. Dieses Phänomen ist in den Hohlformen des Timmelfeldes nicht zu beobachten. Die Torfschichten weisen zwar eindeutig holozänes Alter auf, aber verglichen mit den von PETZELBERGER et al. (1999) untersuchten Mooren, sind die Torfe im Timmelfeld deutlich älter (s. Tab. 7-6). Die Hohlformen im Timmelfeld belegen vielmehr, dass das Moorwachstum nicht nur zeitlich unterschiedlich einsetzte, sondern auch auf der Geesthochfläche lokal stark variiert. Die Torfe im Timmelfeld zeigen ebenso, dass die Moorbildung nicht nur von der Transgression der Nordsee aus Norden abhängt, sondern auch von den Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex mit ausreichendem Wasserdargebot beeinflusst und somit ein früherer Beginn der Moorbildung begünstigt wird.

Die von PETZELBERGER et al. (1999) untersuchten Moore liegen auf dem Scheitel der Oldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche und werden nicht von den Entwässerungsrinnen beeinflusst und sind somit überwiegend von der Transgression der Nordsee (Vorrücken Küstenlinie nach Süden) abhängig. HAGEN (1999) bezeichnet diese Moore als „Ostfriesische Zentralmoore“.

Nach DE GANS (1982) sind die mehr als 2 m mächtigen organogenen Auffüllungen Indizien für einen Paläopingo. Die nachgewiesenen Paläopingos in Ostfriesland und auf dem niederländischen Drenthe-Plateau sind rezent als meistens vernässte Hohlformen ausgebildet und mit unterschiedlich mächtigen Mudde- und Torfschichten verfüllt, ebenso die Flugsanddepressionen. In allen Hohlformen sind die kartierten organogenen Füllungen deutlich dicker als 2 m (s. Tab. 8-2, Anh. C.1). Anhand der Pollenanalyse oder Radiocarbon-Methode wurde das Alter der Mudde- und Torfschichten bestimmt, um hieraus den Zeitraum abzuleiten, wann der Paläopingo spätestens zerfallen ist.

Die ältesten Torfschichten in den Paläopingos Ostermoor und Kolk sind im Atlantikum (9 220 – 5 660 cal J.v.h.) und Boreal (10 640 – 9 220 cal J.v.h.) entstanden.

Die Schluffmudden sind deutlich älter (Jüngere Dryas: 12 700 – 11 560 cal J.v.h.) und lassen somit vermuten, dass der Zerfall der beiden Paläopingos Ostermoor und Kolk in der ersten Warmphase des Weichsel-Spätglazials (Meiendorf-Intervall: 14 500 – 13 860 cal J.v.h.) begann und sich im Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.) fortsetzte und im Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.) vollständig beendet wurde. Ebenso ist anzunehmen, dass der Zerfall von Ostermoor und Kolk in den Kaltphasen des Weichsel-Spätglazials, also in der Ältesten Dryas (13 860 – 13 730 cal J.v.h.) und der Älteren Dryas (13 480 – 13 350 cal J.v.h.) unterbrochen wurde. Das Wachstum von Ostermoor und Kolk sind entsprechend in die Phase extremer Abkühlung der Oberen Mittel-Weichsel (Pleniglazial) zu datieren.

MERKT & MEYER (1995) haben für die zeitliche Einstufung des Paläopingos Frauenmeer die organogenen Schichten mittels Radiocarbon-Methode untersucht. Ihre Altersangaben zum Frauenmeer (20 000 B.P.) bestätigen das vermutete Pingowachstum in der Oberen Mittel-Weichsel (Pleniglazial) während einer Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.) und ihren Zerfall beginnend in der ersten Interstadialen Phase des Weichsel-Spätglazials (Meiendorf-Intervall: 14 500 – 13 860 cal J.v.h.).

Die Entstehung der Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße Osterweide wird hingegen anhand deren organogenen Schichten ins Weichsel-Spätglazial eingestuft (s. Tab. 8-1). Diese Bewertung korrespondiert gut mit den zeitlichen Angaben von DE GANS & CLEVERINGA (1986) für das Ballooërveld, wonach die Entstehung der Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau im Weichsel-Spätglazial vor 13 000 B.P. begann.

#### **7.4.4 Osterweide – ein Paläopingo im Saale-Komplex entstanden?**

In der Hohlform Osterweide (s. Abb. 7-18 u. Anh. A.3.5) wurden eemzeitliche Mudde- und Torfschichten nachgewiesen, die vermuten lassen, Spuren eines im Saale-Komplex entstandenen Paläopingos gefunden zu haben. Ebenso wurden nördlich von Ostermoor weitere eemzeitliche Mudde- und Torfschichten erbohrt (s. Anh. A.3.2). Die schematische Handskizze (s. Abb. 7-20) soll bildhaft veranschaulichen, welche Schichtenabfolge zu erwarten wäre, falls ein

Paläopingo während der Jüngerer Drenthe und/oder des Warthe-Stadiums in den Periglazialgebieten wachsen und vermutlich zum Ende des Warthe-Stadiums oder zu Beginn der Eem-Warmzeit zerfallen würde:

Die Ausgangssituation wäre so zu beschreiben, dass die Grundmoräne (qD/gm) aus Geschiebelehm und –mergel pleistozäne Sande überlagerte und somit die Deckschichten bildete (s. Abb. 7-20a). Während des Pingowachstums bildete sich ein Eiskern innerhalb der pleistozänen Sande, der die Schichten der Grundmoräne nach oben drücken ließ. Diese Grundmoränenschichten rutschten infolgedessen seitlich ab und bildeten einen Ringwall aus (s. Abb. 7-20b). In der ausklingenden Jüngerer Warthe wäre der Paläopingo dann zerfallen, wobei sich dieser Prozess vermutlich in der Eem-Warmzeit weiter fortsetzen würde. Die Hohlform wäre mit eemzeitlichen Ablagerungen verfüllt und der Ringwall bestünde aus der Grundmoräne (qD/gm) (s. Abb. 7-20c).

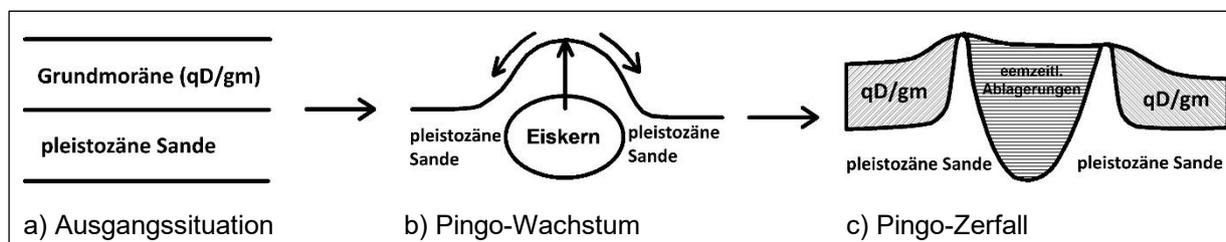


Abbildung 7-20. Skizze eines im Saale-Komplex entstandenen Paläopingos

Demnach dürfte im Zentrum von Osterweide nur eemzeitliche Ablagerungen und im Randwallbereich Geschiebelehm und –mergel zu erbohren sein. In Osterweide wurden jedoch Sand – Ton – Sand – Torf als Schichtenabfolge erbohrt. Die gut sortierten, limnischen Fein- und Mittelsande und Tone deuten vielmehr auf Ablagerungen hin, welche während des Saale-Komplex in den Schmelzwasserrinnen sedimentierten. Spuren von Ringwällen als wichtige Merkmale für die Bestimmung von Paläopingos (s. Tab. 7-1) wurden in Osterweide ebenfalls nicht auskartiert. Die eemzeitlichen Mudden und Torfe lassen eher vermuten, dass die Schmelzwasserrinnen des Saale-Komplex in dieser Zeit zunehmend vernässten und sich Moore entwickelten (LBEG 2007). Ebenso waren im Saale-Komplex die Bedingungen für die Genese von Flugsanddepressionen nicht gegeben. Denn die Schichtenabfolge Grundmoräne / Sand zeigt, dass die flächendeckenden Flugsanddecken über der Grundmoräne eher weichsel-kaltzeitlich entstanden sind und diese in der Jüngerer Drenthe bzw. im Warthe-Stadium nicht ausgebildet waren.

Bei weichsel-kaltzeitlich entstandenen Paläopingos bilden Flugsande die Deckschichten, die die Grundmoräne (qD/gm) überlagern. Diese Schichtenabfolge ist bei den Paläopingos Ostermoor und Kolk (s. Abb.en. 7-15 u. 7-16) sowie beim Frauenmeer (s. Abb. 5-11) zu erkennen.

MERKT et al. (1995), FREUND (1995), und HEINZE et al. (2012) haben ebenfalls keine Spuren von Paläopingos des Saale-Komplex (Jüngere Drenthe, Warthe-Stadium) in Ostfriesland auskartiert. Es ist vielmehr anzunehmen, dass im Saale-Komplex entstandene Paläopingos längst erodiert wurden.

Auch haben MAARLEVELD & VAN DER TOORN (1955), ZAGWIN & VAN STAALDUINEN (1975), MAARLEVELD (1976), PARIS et al. (1979), DE GANS (1980, 1982), DE GANS & CLEVERINGA (1981, 1986), DE GROOT et al. (1987), DE GANS & SOHL (1981), VAN DER MEULEN (1988) auf dem Drenthe-Plateau keine Spuren von Paläopingos des Saale-Komplex gefunden (s. Kap. 5.1). Vielmehr sind sie, wie die Paläopingos in Ostfriesland, in die Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial) während der Phase extremer Abkühlung (30 000 – 18 000 B.P.) entstanden (s. Tab. 8-1 bis 8-3). Denn beide Gebiete lagen seit der Jüngeren Drenthe nach dem Rückzug des ersten Gletschervorstoßes in der Haupt Drenthe im Periglazialbereich (s. Kap. 4.1 u. 4.2).

#### **7.4.5 Interpretation der Hohlformen als mögliche Toteislöcher**

In Norddeutschland wird das Vorkommen von Toteislöchern (Sölle) im Zusammenhang mit ehemaligen glazialen Gebieten während der Nordischen Inlandvereisung im Quartär gesehen (LIEDTKE 1981, EHLERS 2011, 2020). Toteislöcher bilden sich demnach überwiegend im Bereich von Eisrandlagen, seltener im Grundmoränenbereich, als Folge durch das Auftauen eines mit Schmelzwassersedimenten überschüttetem Toteisblockes aus und sind geomorphologisch abflusslose Hohlformen mit Tiefen von mehr als 10 m. GARLEFF (1968) beschreibt weiterhin, dass die Form von Toteislöchern meist rundlich bis oval sowie wannen-, schalen- oder schüsselartig ausgebildet sind, und dass sie in den Alt- und Jungmoränenlandschaften einen Durchmesser von 40 bis 70 m aufzeigen (LIEDTKE 1981, ZEPP 2002).

Ostfriesland war letztmalig in der Haupt Drenthe des Saale-Komplex vollständig mit Inlandeis bedeckt und die Nordoldenburgisch-Ostfriesischen-Geesthochfläche wurde mit Rückzug des Inlandeises zum Ende der Haupt Drenthe eisfrei (s. Kap. 4.2). Seit der Jüngeren Drenthe bis zum Weichsel-Spätglazial befand sich Ostfriesland im periglazialen Gebiet und das Inlandeis weit entfernt im Osten, in Höhe der Elbe. Somit waren die Voraussetzungen zur Ausbildung von Toteislöchern am Ende der Haupt Drenthe mit beginnendem Rückzug des Inlandeises theoretisch gegeben. Der Prozess war vermutlich im Eem-Interglazial bereits abgeschlossen. Diese abflusslosen Hohlformen sollten hypothetisch eemzeitliche organogene Schichten, wie Mudde, Gytija oder Torf, enthalten und mit weichsel-kaltzeitlichen Sedimenten überdeckt sein. Bislang wurden in Ostfriesland keine Toteislöcher des Saale-Komplex nachgewiesen, zumal diese mit hoher Wahrscheinlichkeit durch kryogene und äolische Prozesse in der Jüngeren Drenthe und der Weichsel-Kaltzeit stark überprägt oder sogar vollständig erodiert sein dürften. Vielmehr waren seit der Jüngeren Drenthe die Voraussetzungen für ein Pingowachstum und/oder die Bildung

von Flugsanddepressionen gegeben (s. Kap. 4.2). Jedoch wurden Paläopingos des Saale-Komplex bislang weder in Ostfriesland noch auf dem Drenthe-Plateau nachgewiesen, während hingegen weichsel-kaltzeitliche Paläopingos und Flugsanddepressionen in zahlreichen Untersuchungen kartiert wurden (s. Kap. 5.1 u. 5.2).

Toteislöcher unterscheiden sich in der Tiefe zu den Paläopingos und Flugsanddepressionen. So zeigen Toteislöcher Tiefen von mehr als 10 m, während die der Paläopingos in der Regel Tiefen zwischen 5 und 10 m aufweisen. Ausnahmefälle mit Tiefen von mehr als 10 m sind an „geologische Fenster“ gebunden. Flugsanddepressionen zeigen hingegen Tiefen von bis zu max. 3,8 m (s. Tab.en 8-1 u. 8-2). Damit sind Toteislöcher tiefer als die Paläopingos und Flugsanddepressionen.

Toteislöcher sind wie Paläopingos und Flugsanddepressionen vermoorte Hohlformen und ähneln sich in ihrer Geometrie (Form und Durchmesser), sodass sie mit diesen leicht zu verwechseln sind. Mit einem Durchmesser von bis zu 70 m (s. o.) sind Toteislöcher deutlich kleiner als die der Paläopingos ( $\varnothing 100 - 200$  m) und der Flugsanddepressionen, deren Durchmesser in der Regel von über 100 m beträgt. Ebenso zeigen die Wände von Paläopingos und Flugsanddepressionen erkennbare Unterschiede zu denen der Toteislöcher auf. So ist der Formtyp von Paläopingos trichterförmig mit „relativ steilen“ bis „steilen“ Wänden ( $40 - 80^\circ$  Neigung) und die der Flugsanddepressionen wannenförmig ( $20 - 40^\circ$  Neigung) ausgebildet, während der Formtyp der Toteislöcher als wannen-, schalen- oder schüsselartig beschrieben wird (GARLEFF 1968). Der innovative Leitfaden (s. Kap. 7.1) ist ebenfalls ein geeignetes Instrument, um abflusslose Hohlformen verlässlich in Paläopingos oder Flugsanddepressionen einzustufen und damit diese als mögliche Toteislöcher zu interpretieren auszuschließen.

Im Bereich der Hohlformen Pultermoor, Ostermoor und Erlenstraße wurden in der Grundmoräne des Saale-Komplex Wannen kartiert, die eine rundliche Form und Tiefen zwischen 1,2 und 3,2 m eine wannenförmige Struktur aufweisen. Diese Wannen sind vermutlich als Toteislöcher zu interpretieren, welche am Ende der Haupt Drenthe entstanden sind. Die geologischen Voraussetzungen waren zwar mit hoher Wahrscheinlichkeit gegeben, jedoch wurden in keiner der Wannen eemzeitliche Mudde- oder Torfschichten erbohrt, welche auf ein saalekomplex-zeitliches Alter der kartierten Wannen schließen lassen. Vielmehr sind die Wannen mit weichsel-kaltzeitlichen schluffigen und feinsandigen Flugsanden gefüllt. Somit ist eine Genese dieser Wannen im Bereich der Hohlformen Pultermoor, Ostermoor und Erlenstraße als Toteislöcher des Saale-Komplex nicht zweifelsfrei belegt. Ebenfalls sind ihre Tiefen viel zu gering. Ob es sich um möglicherweise nach der Haupt Drenthe entstandenen Flugsanddepressionen handelt, bleibt zu überprüfen. Diese Fragestellung ist jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Im Kapitel 7.3 wird ausführlich diskutiert, dass die sechs Hohlformen im Timmelerfeld während der Weichsel-Kaltzeit im periglazialen Gebiet lagen und infolge von kryogenen und äolischen Prozessen die Paläopingos Ostermoor und Kolk sowie die Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg entstanden sind. Dieses ist auch für den benachbarten Paläopingo Frauenmeer abzuleiten. Die geologischen Voraussetzungen für eine Entstehung von Toteislöchern während der Weichsel-Kaltzeit waren somit nachweislich nicht gegeben.

## **8 Anwendung und Demonstration des innovativen Leitfadens**

### **8.1 Anwendung an den Hohlformen im Timmelerfeld**

Der neue Leitfaden wurde zur Bestimmung der sechs Hohlformen im eigenen Untersuchungsgebiet Timmelerfeld erstmals angewendet. Das Ergebnis wird nachfolgend vorgestellt und ist in der Tabelle 8-1 aufgelistet sowie graphisch in der Abbildung 8-1 visualisiert.

Die paläoklimatischen und -geohydrologischen Voraussetzungen sind nachweislich gegeben, denn das Timmelerfeld lag von der Jüngerer Drenthe des Saale-Komplex bis zum Weichsel-Spätglazial im Periglazialgebiet. Zudem stellt die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche als morphologisch markanter Grundmoränen-Höhenrücken mit den parallel verlaufenden Entwässerungsrinnen die Paläo-Geomorphologie sowie die Paläo-Hydrologie dar. Des Weiteren sind in deren Seitenbereichen die topographischen Gradienten gegeben, die das durch die Entwässerungsrinnen fließende Sicker- und Grundwasser unter hydraulischen Druck setzen, um Paläopingos im hydraulisch / offenem System entstehen zu lassen.

Ebenfalls wird das Kriterium „Genese“ hinreichend erfüllt, eine weitere wichtige Bedingung für die Einstufung als Paläopingo gemäß Leitfaden. Denn die Paläopingos Ostermoor und Kolk lagen im einstigen weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiet und sind durch kryogene Prozesse im hydraulisch / offenen System (Ostgrönland-Typ) entstanden. Diese Einstufung korrespondiert gut mit der Bewertung anderer nachgewiesener Paläopingos in Ostfriesland (s. Kap. 5.2) und auf dem Drenthe-Plateau in den Niederlanden (s. Kap. 5.1). Ebenso entsprechen die beiden Paläopingos einer kryogenen Kave im Sinne von GARLEFF (1968).

Die Paläopingos Ostermoor und Kolk lagen im damaligen weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiet und sind an der Westseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche lokalisiert, wo hydrologisch und geomorphologisch optimale Bedingungen zur Pingogenese gegeben waren (s. Abb. 8-1, Tab. 8-1). Zudem sind Ostermoor und Kolk mit dem benachbarten Paläopingo Frauenmeer von ihrer Lage her wie eine „Perlenschnur“ aufgereiht angeordnet. Vergleichbares ist auf dem Drenthe-Plateau, bei den Paläopingos Holveen, Langakkerveen

und Kostverlorenveen an der Ostseite des „Rolde-Rückens“ sowie bei *Hohlform A* und *Hohlform B* an der Westseite des „Hondsruugs“ zu beobachten, die ebenfalls perlenschnurartig aufgereiht sind (s. Abb. 4-1 u. Anh. C.1). Die Aufreihung der Paläopingos im Timmelerfeld weist auf einen Verlauf entlang der damaligen Entwässerungsrinnen hin. Alle nachgewiesenen Paläopingos befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg (s. Abb. 8-1) und erfüllen das Kriterium „Auftreten“ im Sinne des Leitfadens.

Die Geometrie der beiden Paläopingos Ostermoor und Kolk entspricht vollkommen den Kriterien für einen Paläopingo gemäß Leitfaden; beide sind oval ausgebildet und zeigen somit die typische Form eines Paläopingos. Der Durchmesser von Ostermoor beträgt 163 m / 120 m und wird als mittelgroßer Paläopingos bewertet, während die benachbarte Kolk mit einem Durchmesser von 208 m / 273 m als großer Paläopingo zu definieren ist. Die Wandneigung beider Paläopingos variiert zwischen 65 – 75° und ist demnach als „steil“ zu definieren. Der hieraus zu beschreibende Formtyp ist bei Ostermoor und Kolk trichterförmig.

Ebenso weisen Ostermoor mit 6 m (-4,6 mNN) und Kolk mit 11,6 m (-8 mNN) mittlere und große Tiefen auf, wobei Kolk im Vergleich zu Ostermoor deutlich tiefer ist und eine vergleichbare Tiefe wie das benachbarte Frauenmeer (14 m u.GOK bzw. -11 mNN) aufweist (s. Abb. 8-1, Tab.en 7-2 u. 8-1). Die große Tiefe bei Kolk wird, wie beim Frauenmeer, im direkten Zusammenhang mit einem „geologischen Fenster“ gesehen, welches sich in der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche im unmittelbaren Bereich von Kolk ausgebildet war und eine Verbindung in die Schmelzwassersande herstellte. Damit war für ein hinreichend großes Wasserdargebot während des Pingowachstums gegeben (s. Kap. 8.2). Dieser Hinweis auf ein „geologisches Fenster“ erfüllt ein Kriterium für die Bestimmung von Paläopingos gemäß Leitfaden. Unter Berücksichtigung der Ausführungen von DE GANS & SOHL (1981) zum Vorkommen von „geologischen Fenstern“ ist diese Interpretation auch für den Paläopingo Kolk annehmbar und plausibel.

Die typisch randlich auftretenden Ringwälle sind mit einer Höhe von ca. 0,2 – 0,8 m nur schwer zu erkennen (s. Abb.en 5-16 u. 5-17, Tab. 8-1, Anh. A.3.). Spuren eines Ringwalls wurden jeweils in den Randbereichen der heutigen Hohlformen als überwiegend kiesige Grobsande und grobsandige Fein- bis Mittelsande, sowie als schwach mittel-kiesige und sehr schwach fein- bis grobkiesige Feinsande auskartiert. Die Ringwälle beider Paläopingos sind lithologisch nur in den geologischen Profilschnitten (s. Abb.en 5-16 u. 5-17, Anh. A.3.) sichtbar, ebenso deren Breite. So war es mit Hilfe der Profile möglich eine Breite zwischen 30 – 40 m abzuleiten. Das geforderte Merkmal für die Bewertung gemäß dem Leitfaden wird somit hinreichend erfüllt.

Die Datierung der Paläopingos als weiteres gefordertes Kriterium für die Bestimmung von Paläopingos erfolgte aus den tiefsten Schluffmuddeschichten der beiden Hohlformen Ostermoor (590 – 570 cm u.GOK) und Kolk (680 – 640 cm u.GOK) und die zeitliche Zuordnung nach LBEG (2018). So ergab die Pollenanalyse von Ostermoor ein Alter von 12 700 – 11 560 cal J.v.h. (Jüngere Dryas) und die von Kolk ein Alter von 11 560 – 10 640 cal J.v.h. (Präboreal), wobei die älteren Schichten in Kolk möglicherweise nicht erfasst wurden.

Das Wachstum der beiden Paläopingos Ostermoor und Kolk wird ebenfalls in die Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial) während der Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P) eingestuft, analog der zeitlichen Einstufung der Paläopingos Frauenmeer und Doove-Meer (s. Tab.en 8.1 u. 8-2) und die der Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau in den Niederlanden (s. Kap. 4.1). Diese zeitliche Einstufung ist unter Berücksichtigung der in den Kap. 8.1 und 8.2 geführten Diskussionen nachvollziehbar und plausibel. Der Zerfall der Paläopingos Ostermoor und Kolk setzte höchstwahrscheinlich frühestens im Meiendorf-Intervall ein, im Bölling-Interstadial unterbrochen und wurde in der Jüngeren Dryas mit dem vollständigen Zerfall abgeschlossen, sodass ein Zeitraum von ca. 14 500 – 11 560 cal J.v.h abzuleiten ist, welcher unter Berücksichtigung der zeitlichen Einordnung des Pingozerfalls in Ostfriesland (s. Kap. 5.2) plausibel und nachvollziehbar ist (s. Tab. 8-1).

Gegenwärtig sind die Paläopingos Ostermoor und Kolk im Timmelerfeld vollständig mit Mudde und Torf verfüllt und trocken oder teilweise wasserführend. Das Timmelerfeld wird landwirtschaftlich intensiv genutzt, so dass die Überreste der Ringwälle vermutlich durch Umpflügen des Bodens für den Ackerbau oberflächennah zerstört wurden (RIEDEL 2006).

Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg im Timmelerfeld erfüllen die Kriterien und Voraussetzungen zur Einstufung als weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepressionen:

Die Pollenanalyse aus den Schluffmudden und dem kiesigen Sediment ergab ein Alter von 12 700 – 11 560 cal J.v.h. (Jüngere Dryas), sodass anzunehmen ist, dass alle vier Hohlformen im weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiet durch äolische Prozesse innerhalb der Flugsanddecken entstanden sind und dieser Prozess bis zur Jüngeren Dryas wohl abgeschlossen war.

Alle vier Flugsanddepressionen liegen auf der Westseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche und befinden sich in unmittelbarer Nähe zu den Paläopingos Ostermoor und Kolk (s. Abb. 8-1), ein weiteres Kriterium für die Einstufung als Flugsanddepressionen. Ebenso entsprechen die Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg nach GARLEFF (1968) den äolischen Kaven. Dieser Genesetyp ist in Gebieten mit Flugsanddecken von bis zu 70% vertreten.

Rezent sind Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg trockene Hohlformen und vollständig mit Torf und Mudde verfüllt. Ihre Durchmesser liegen zwischen 150 und

165 m und weisen eine ovale bis runde bzw. längliche Gestalt auf (s. Tab. 8-1). Ihre Wandneigungen sind mit 40° „relativ steil“ ausgebildet und zeigen einen wannenförmig Formtyp auf. Somit erfüllen die Wandneigung und der Formtyp weitere Merkmale für Flugsanddepressionen.

Pultermoor (3,8 m u. GOK), Erlenstraße (2,8 m u. GOK), Osterweide (3,4 m u. GOK) und Reitplatzweg (3,2 m u. GOK) weisen geringe Tiefen auf und erfüllen somit vollkommen das Kriterium einer Flugsanddepression gemäß Leitfaden. Ebenso korrelieren sie gut mit denen als Flugsanddepressionen eingestuften Hohlformen Randweg-Süd (2,2 m u. GOK), Randweg-Ost-West (2,9 m u. GOK) und Dietrichsfeld (3 m u. GOK) (s. Tab. 8-2, Anh. C.1). Im Gegensatz zu den Flugsanddepressionen im niederländischen Ballooërveld mit Tiefen von 2 m (DE GANS & CLEVERINGA 1986) sind die vier Flugsanddepressionen im Timmelerfeld teilweise deutlich tiefer ausgebildet (s. Anh. C.1). Es ist zu vermuten, dass die Tundravegetation lokal im Timmelerfeld vegetationslos ausgebildet war, sodass die äolischen Prozesse ungehindert in die Flugsanddecken eingriffen und die Flugsanddepressionen bis zu 3,8 m u. GOK ausgeblasen wurden (s. Tab. 8-1). Ebenso ist anzunehmen, dass die Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau wegen ihrer Lage in den Flussniederungen gegen den Ausblasungen besser geschützt waren und dadurch weniger Angriffsfläche für die äolischen Prozesse boten.

Die bis zu 1,5 m mächtige anthropogene Auffüllung in den oberflächennahen Schichten weist, wie bei den benachbarten Paläopingos Ostermoor und Kolk, auf die anthropogene Überprägung durch die landwirtschaftliche Nutzung hin. Auch die Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau liegen in landwirtschaftlich genutzte Gebiete, wie das Ballooërveld zeigt, und weisen auf eine vergleichbare anthropogene Überprägung hin.

Ein Novum ist, dass die Ad-hoc-AG Geotopschutz von 1996 angewendet wird und die untersuchten sechs Hohlformen im eigenen Untersuchungsgebiet Timmelerfeld die Anforderungen gemäß Definition erfüllen. So sind die Paläopingos Ostermoor und Kolk als schutzwürdige Geotope zu definieren, ebenso die Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße und Osterweide sowie Reitplatzweg.

Anwendung an den Hohlformen im Timmelfeld

Tabelle 8-1. Anwendung des Leitfadens an den Hohlformen im Timmelfeld

Hohlformen	Ostermoor	Kolk	Pultermoor	Erlenstraße	Osterweide	Reitplatzweg
Gauß-Krüger Koordinaten:	H: 5916859,84; R: 3403286,55	H: 5917218,39; R: 3403381,46	H: 5916416,22; R: 3403328,11	H: 5917678,99; R: 3404196,83	H: 5917973,47; R: 3404181,52	H: 5917910; R: 3403958
<b>Kriterium 1. Paläoklimatische und –geohydrogische Voraussetzungen</b>						
Periglaziales Gebiet (FRENCH 1996, 2007):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> <li>– Mächtigkeit der Auftauschicht („Active Layer“) ist max. 2 m</li> <li>– Temperaturen sind nahe 0°C</li> <li>– Dauerhafte Wasserquelle für Genese Paläopingo ist gegeben</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Temperaturen nahe 0°C</li> <li>– Mächtigkeit der Auftauschicht („Active Layer“): max. 2 m</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> </ul>		
Paläo-Geomorphologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	– Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche: morphologisch markant mit topographischem Gradienten				--	
Paläo-Hydrologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	– Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex vom Geestrücken mit stetigem Wasserdargebot				--	
<b>Kriterium 2. Genese</b>						
Geomorphologische Prozesse (GARLEFF 1968):	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)				Äolisch (Oberflächenform: Flugsanddepression)	
Genese-Typ (GARLEFF 1968):	Kryogene Kave				Äolische Kave	
Genese-Typ (MACKAY 1998):	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)				--	
<b>Kriterium 3. Auftreten</b>						
Vorkommen (EHLERS 1994, 2011):	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet					
Lage (GARLEFF 1968, DE GANS 1981):	Westseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche		Innerhalb weichsel-kaltzeitlicher Flugsanddecken auf Nordoldenburgisch-Ostfriesischer Geesthochfläche; Westseite			
Anordnung Paläopingo / Flugsanddepression sensu DE GANS (1982), FRENCH (1996):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Paläopingo Frauenmeer benachbart</li> <li>– Aufreihung Perlenschnur (Ostermoor, Kolk, Frauenmeer)</li> <li>– Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide, Reitplatzweg benachbart</li> </ul>		Paläopingos Ostermoor und Kolk benachbart			

Anwendung und Demonstration des innovativen Leitfadens

Hohlformen	Ostermoor	Kolk	Pultermoor	Erlenstraße	Osterweide	Reitplatzweg
<b>Kriterium 4. Geometrie</b>						
Form (FRENCH 1996):	Oval	Oval	Oval	Rund bis oval	Oval, länglich	Oval
Durchmesser (MACKAY 1987): (kleiner: <100 m; mittlerer: 100 – 200 m; großer: >200 m):	163 m / 120 m (mittel)	208 m / 273 m (groß)	110 m / 100 m (mittel)	85 m / 165 m (mittel)	mind. 105 m / 160 m (mittel)	150 m (mittel)
Tiefe (geringe: <5 m; mittlere: 5 – 10 m; große: >10 m):	6 m (mittel)	11,6 m (groß, im Bereich von „geologischem Fenster“)	2,8 m (gering)	3,8 m (gering)	3,2 m (gering)	3,4 m (gering)
Wandneigung („flach“: <30°; „relativ steil“: 30 – 60°; „steil“: >60°), geändert nach DE GANS & SOHL (1981):	„Steil“ (ca. 65°)	„Steil“ (ca. 75°)	„Relativ steil“ (ca. 40°)	„Relativ steil“ (ca. 40°)	„Relativ steil“ (ca. 40°)	Relativ steil“ (ca. 40°)
Formtyp (GARLEFF 1968):	Trichterförmig		Wannenförmig			
Existenz Ringwall (GARLEFF 1968, DE GANS & CLEVERINGA 1981):	In Spuren vorh., kiesige Grobsande, grobsandige Fein-Mittelsande	Teilw. vorh., E-Seite: grob- kiesige Feinsande mit dünnen Lagen aus mittel- kiesigen Sanden, Spuren an N-S-Seite	Nicht nachgewiesen			
Höhe (H) / Breite (B) Ringwall:	Westen: H: 0,4 m, B: 30 m Osten: H: 0,2 m, B: 40 m Norden: H: 0,6 m, B: 35 m Süden: H: 0,4 m, B: 30 m	Westen: keine Hinweise Osten: H: 0,8 m, B: 35 m Norden: H: 0,4 m, B: 35 m Süden: H: 0,6 m, B: 40 m	Nicht nachgewiesen			
<b>Kriterium 5. Datierung</b>						
Relative Altersabfolge (Pollenanalyse)	Schluffmudde: 590 – 570 cm Zone III (Jüngere Dryas: 12 700 – 11 560 cal J.v.h.)	Schluffmudde: 680 – 640 cm Zone IV (Präboreal: 11 560 – 10 640 cal J.v.h.)	Schluffmudde: 235 – 230 cm Zone III (Jüngere Dryas: 12 700 – 11 560 cal J.v.h.)	Kiesiges Sediment: 305–285cm Zone III (Jüngere Dryas: 12 700 – 11 560 cal J.v.h.)	Schluffmudde: 590 – 570 cm Zone III (Jüngere Dryas: 12 700 – 11 560 cal J.v.h.)	--
Absolute Altersdatierung ( <sup>14</sup> C-Methode)	--		--			
Wachstum Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	Vmtl. 22 000 – 18 000 B.P. (Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial): Phase extremer Abkühlung)		--			
Zerfall Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	Vmtl. in den Warmphasen des Weichsel-Spätglazials: beginnend im <i>Meiendorf-Intervall</i> (14 500 – 13 860 cal J.v.h.); fortsetzend im <i>Bölling-Interstadial</i> (13 730 – 13 480 cal J.v.h.); vollständig im <i>Allerød-Interstadial</i> (13 350 – 12 700 cal J.v.h.)		--			
Entstehung Flugsanddepression (DE GANS & CLEVERINGA 1986) (zeitliche Angabe nach LBEG):	--		Vmtl. 14 500 – 12 700 cal J.v.h. (Weichsel-Spätglazial bis zur Jüngerer Dryas)			

## Anwendung an den Hohlformen im Timmelfeld

Hohlformen	Ostermoor	Kolk	Pultermoor	Erlenstraße	Osterweide	Reitplatzweg
<b>Kriterium 6. Rezente Ausbildung</b>						
Morphologische Ausbildung:	Hohlform, trocken	Hohlform, trocken, tlw. wasserführend (Kolk)	Hohlform, trocken	Hohlform, trocken	morphologisch nicht erkennbar	morphologisch nicht erkennbar
Gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung):	Weideland	Weidefläche und Ackerland	Grünfläche	Grünfläche	Weidefläche und Grasland	Brachfläche mit dichtem Bewuchs
Verfüllung Hohlform mit organogenen Sedimenten:	Torf: 3 – 4 m, Mudde: 0,5 – 1 m	Torf: 9,6 m, Mudde: 0,4 m	Torf: 1 m, Mudde: 1,8 m	Torf: 2,2 m, Mudde: 1 m	Torf: 3,2 m	Torf: 0,8 m, Mudde: 1,2 m
Mächtigkeit Verfüllung:	3,5 m	10 m	2,8 m	3,2 m	3,2 m	2 m
<b>Kriterium 7. Geologische Einstufung</b>						
Kriterien für Paläopingo:	Erfüllt		Nicht erfüllt			
Kriterien für Flugsanddepression:	Nicht erfüllt		Erfüllt			
Geologische Einstufung:	Paläopingo		Flugsanddepression			
Bewertung nach Ad-hoc-AG Geotopschutz (1996):	Schutzwürdiges Geotop		Schutzwürdiges Geotop			
<b>Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme</b>						
Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie:	Abstand: 50 m, vereinz. bis zu 100 m	Abstand: 50 m, vereinz. bis zu 100 m	Abstand: 50 m, vereinz. bis zu 100 m	Abstand: 50 m, vereinz. bis zu 100 m	Abstand: 50 m, vereinz. bis zu 100 m	Abstand: 50 m, vereinz. bis zu 100 m
Endtiefe der Bohrungen:	15 Bohrungen bis max. ca. 10 m Tiefe	17 Bohrungen bis max. 11,6 m Tiefe	12 Bohrungen bis max. 7 m Tiefe	10 Bohrungen bis max. 8 m Tiefe	9 Bohrungen bis max. 10 m Tiefe	2 Bohrungen bis max. 5 m Tiefe
Entnahme von Sedimentproben:	Probennahmeintervall: Torfschichten 5 cm; Muddeschichten 10 cm; nach Bedarf 5 cm (s. a. Kap. 2.2.4)					
Vermessung der Bohransatzpunkte:	s. Tab. 7-3	s. Tab. 7-3	s. Tab. 7-3	s. Tab. 7-3	s. Tab. 7-3	s. Tab. 7-3
Geologische Aufnahme (LBEG 2014):	s. Anh. A.2.1 Pultermoor	s. Anh. A.2.2 Ostermoor	s. Anh. A.2.3 Kolk	s. Anh. A.2.4 Erlenstraße	s. Anh. A.2.5 Osterweide	s. Anh. A.2.6 Reitplatzweg
Geologische Darstellung in Profilschnitten:	s. Tab. 7-4 u. Abb. 8-1. Kreuzprofil Pultermoor	s. Tab. 7-4 u. Abb. 8-2. Kreuzprofil Ostermoor	s. Tab. 7-4 u. Abb. 8-3. Kreuzprofil Kolk	s. Tab. 7-4 u. Abb. 8-4. Kreuzprofil Erlenstraße	s. Tab. 7-4 u. Abb. 8-5. Kreuzprofil Osterweide	Profilschnitt in Nord-Süd-Richtung (s. Abb. 7-19)

## 8.2 Demonstration an Beispielen in Ostfriesland

Der erarbeitete Leitfaden wurde an weiteren Beispielen in Ostfriesland demonstriert und die Bewertung nachfolgend vorgestellt. Die tabellarische Zusammenfassung und abschließende Bewertung wird in der Tabelle 8-2 und im Anh. C.1 gezeigt.

WOLTERS (2023) untersuchte die Hohlform Esens-Norddorf und interpretierte sie als einen in der Weichsel-Kaltzeit entstandenen Paläopingo. Seine Bewertung wird mittels des Leitfadens grundsätzlich bestätigt.

Die paläoklimatischen und -geohydrologischen Voraussetzungen waren sicher gegeben, ebenso die Kriterien „Genese“ und „Auftreten“ für Paläopingos wird von Esens-Norddorf erfüllt. So ist die Hohlform unter kryogenen Prozessen im hydraulisch/offenen System (Ostgrönland-Typ) entstanden und entspricht den kryogenen Kaven im Sinne von GARLEFF (1968). Des Weiteren befand sich Esens-Norddorf im weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiet. Der Paläopingo lag an der Nordseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche (s. Abb. 8-1). Weitere Paläopingos sind in der Umgebung von Esens bekannt HEINZE et al. (2012).

Esens-Norddorf weist von seiner Geometrie her eine ovale Form und einen kleinen Durchmesser von ca. 80 m mit einer mittleren Tiefe von 6,95 m auf. Seine Wandneigung ist mit vmtl.  $\geq 60^\circ$  steil ausgebildet und zeigt somit einen trichterförmigen Formtyp. Einen Ringwall wurde nicht nachgewiesen. Die Tonmudde in 685 – 695 cm Tiefe wurde mittels Pollenanalyse in die Zone I (Ältere Dryas: 13 480 – 13 350 cal J.v.h.) datiert. Somit wuchs Esens-Norddorf in der Oberen Mittel-Weichsel während einer Phase extremer Abkühlung. Sein Zerfall begann vermutlich bereits in der ersten Warmphase des Weichsel-Spätglazials, im Meiendorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.); und war wohl vollständig im Bölling-Interstadial 13 730 – 13 480 cal J.v.h.) abgeschlossen. Gegenwärtig ist Esens-Norddorf eine vermoorte Weidefläche mit Schilfvegetation und wird als Kesselmoor bewertet. Ebenso erfüllt Esens-Norddorf den Anforderungen gemäß der Ad-hoc-Arbeitsgemeinschaft Geotopschutz und ist als schutzwürdiges Geotop zu bewerten.

Es wurde lediglich eine Bohrung bis zum Geschiebelehm in 7 m Tiefe durchgeführt, sodass die Feldarbeiten und geologische Aufnahme nicht konsequent im Sinne des Leitfadens umgesetzt wurden. Um Esens-Norddorf sicher als einen weichsel-kaltzeitlichen Paläopingo einzustufen, wird empfohlen, die Datierung (Kriterium 5.) sowie die Feldarbeiten und geologische Aufnahme (Kriterium 8.) gemäß Leitfaden zu wiederholen. Die Bohransatzpunkte sollten im Kreuzprofil in 50 – 100 m Abstand auf einer Schnittlinie für ein Kreuzprofil erfolgen, wobei der Kreuzpunkt beider Profile in morphologisch tiefster Bohrung zu setzen ist. Die geologische Aufnahme sollte gemäß des geologischen Symbolschlüssels des LBEG in der aktuellen Fassung erfolgen. Zudem hat die Entnahme der Sedimentproben aus den Torf- und Mudden an

der morphologisch tiefsten Bohrung für die Pollenanalyse mit zeitlicher Zuordnung nach FIRBAS (1949/54) zu erfolgen.

SMIDT et al. (2017) untersuchten acht abflusslose Hohlformen in der Gemeinde Friedeburg und interpretierten die Hohlformen Kielstraat, Fuhrenkämper Graben, Randweg-Süd sowie Junkermoor, Spolsener Moor-Nord, Spolsener Moor-Süd als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos. Die Hohlformen Randweg-Ost und Randweg-West wurden als Paläopingos ausgeschlossen, da in einer Tiefe von 60 bis 110 cm bzw. 170 cm eine ca. 70 cm dicke Geschiebelehmsschicht auskartiert wurde.

Die Bewertung nach den Leitfaden zeigt hingegen, dass Randweg-Süd sowie Junkermoor, Spolsener Moor-Nord und Spolsener Moor-Süd vielmehr die Kriterien für weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepressionen erfüllen, Kielstraat und Fuhrenkämper Graben mit hoher Wahrscheinlichkeit als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos zu bestätigen sind (s. Tab. 8-2 u. Anh. C.1).

Die beiden Hohlformen Randweg-Ost und Randweg-West sind als eine Hohlform zu verstehen und demzufolge als Randweg-Ost-West zu benennen. Anders als die Bewertung von SMIDT et al. (2017) ist Randweg-Ost-West mit Hilfe des Leitfadens als eine weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepression interpretieren (s. Anh. C.1). Der an der Oberfläche erbohrte Geschiebelehm ist als anthropogener Bodenauftrag zu bewerten. Insbesondere, weil in der nahen Umgebung seit über 100 Jahren tertiäre Quarzsande abgebaut wird und die Gegend von Baggerseen geprägt ist (SMIDT et al. 2017). Daher ist es sehr wahrscheinlich, dass der Geschiebelehm innerhalb dieses Zeitraumes in die Hohlform Randweg-Ost-West im Nachhinein eingetragen wurde. Randweg-Ost-West erfüllt nach Leitfaden vielmehr die Kriterien einer Flugsanddepression (s. Anh. C.1).

Die paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen werden erfüllt, auch die Kriterien „Genese, Auftreten und Geometrie“. Alle sieben Hohlformen befanden sich in der Weichsel-Kaltzeit im periglazialen Gebiet mit diskontinuierlichem Permafrost und liegen auf der Ostseite Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geestfläche, dessen Entwässerungsrinnen für ein stetes Wasserdargebot zur Pingogenese im hydraulisch/offenen System sorgten. Die beiden Paläopingos Kielstraat und Fuhrenkämper Graben entsprechen nach GARLEFF (1968) kryogen Kaven, durch kryogene Prozesse entstandene geomorphologische Oberflächenformen. Die Flugsanddepressionen Randweg-Ost-West, Randweg-Süd sowie Junkermoor, Spolsener Moor-Nord und Spolsener Moor-Süd sind im Sinne von GARLEFF (1968) äolische Kaven, durch äolische Prozesse entstandene geomorphologische Oberflächenformen. Zudem treten die Paläopingos Kielstraat und Fuhrenkämper Graben und die Flugsanddepressionen Randweg-Ost-West, Randweg-Süd sowie Junkermoor, Spolsener Moor-Nord und Spolsener Moor-Süd in

direkter Nachbarschaft auf. Kielstraat und Fuhrenkämper Graben sind zudem wie eine Perlenkette aufgereiht und weist auf den Verlauf der beiden Paläopingos entlang einer Entwässerungsrinne des Saale-Komplex hin.

Der bei Spolsener Moor-Süd 0,5 m hohe Ringwall ist widersprüchlich und wird lediglich anhand der „aufliegenden Feuersteinen“ und „kleine Geschiebe“ belegt. Spolsener Moor-Nord wird anhand seines kleinen Durchmesser und einer Tiefe von 1,5 m zurecht als Deflationswanne bewertet, aber schlussendlich als „ungewöhnlich flacher Paläopingo“ interpretiert. Die „Geometrie“ veranschaulicht auch hier gut, dass neben Ringwall auch Wandneigung und Formtyp ebenfalls wichtige Unterkriterien darstellen, um eine Differenzierung zwischen Paläopingos und Flugsanddepressionen zu ermöglichen. So zeigen Junkermoor, Spolsener Moor-Nord und Spolsener Moor-Süd „flache bis relative steile“ Wandneigungen und einen „wannenförmigen“ Formtyp. Kielstraat und Fuhrenkämper Graben haben eine „steile“ Wandneigung mit 62 bzw. 68° sowie einen „trichterförmigen“ Formtyp und sind stimmig für eine Einstufung beider Hohlformen als Paläopingos.

Die Pollenanalysen aus den Muddeschichten belegen ein weichsel-spätglaziales Alter. Jedoch wurde es versäumt, diese konsequent in allen Hohlformen durchzuführen, um eine Datierung sicher zu ermöglichen. Die Pollenanalysen lassen es dennoch zu, Randweg-Süd und Randweg-Ost-West sowie Kielstraat zeitlich einzustufen und damit das Kriterium „Datierung“ anzuwenden. So ist es möglich, das Wachstum der Paläopingos bzw. die Entstehung der Flugsanddepressionen abzuleiten: Kielstraat ist demnach vermutlich während der kältesten Phase der Oberen Mittel-Weichsel gewachsen und zu Beginn des Meiendorf-Intervall zerfallen, welcher bis zum Allerød Interstadial wohl abgeschlossen war. Die Flugsanddepressionen Randweg-Süd und Randweg-Ost-West sind mit hoher Wahrscheinlichkeit im Weichsel-Spätglazial entstanden. Bei Spolsener Moor-Süd, Junkermoor, Fuhrenkämper Graben und Spolsener Moor-Nord ist anhand der fehlenden Pollenanalysen eine zeitliche Einstufung nicht möglich.

Ebenfalls ist das Kriterium „Rezente Ausbildung“ anhand der vorliegenden Daten anzuwenden. Gegenwärtig sind alle Hohlformen vermoort oder trocken und topographisch nur schwer erkennbar. Des Weiteren sind sie landwirtschaftliche Nutzfläche, Grasland oder Waldfläche. Alle sieben Hohlformen entsprechen den Anforderungen der Ad-hoc-Arbeitsgemeinschaft Geotopschutz (1996) und sind als schützenswerte Geotope einzustufen.

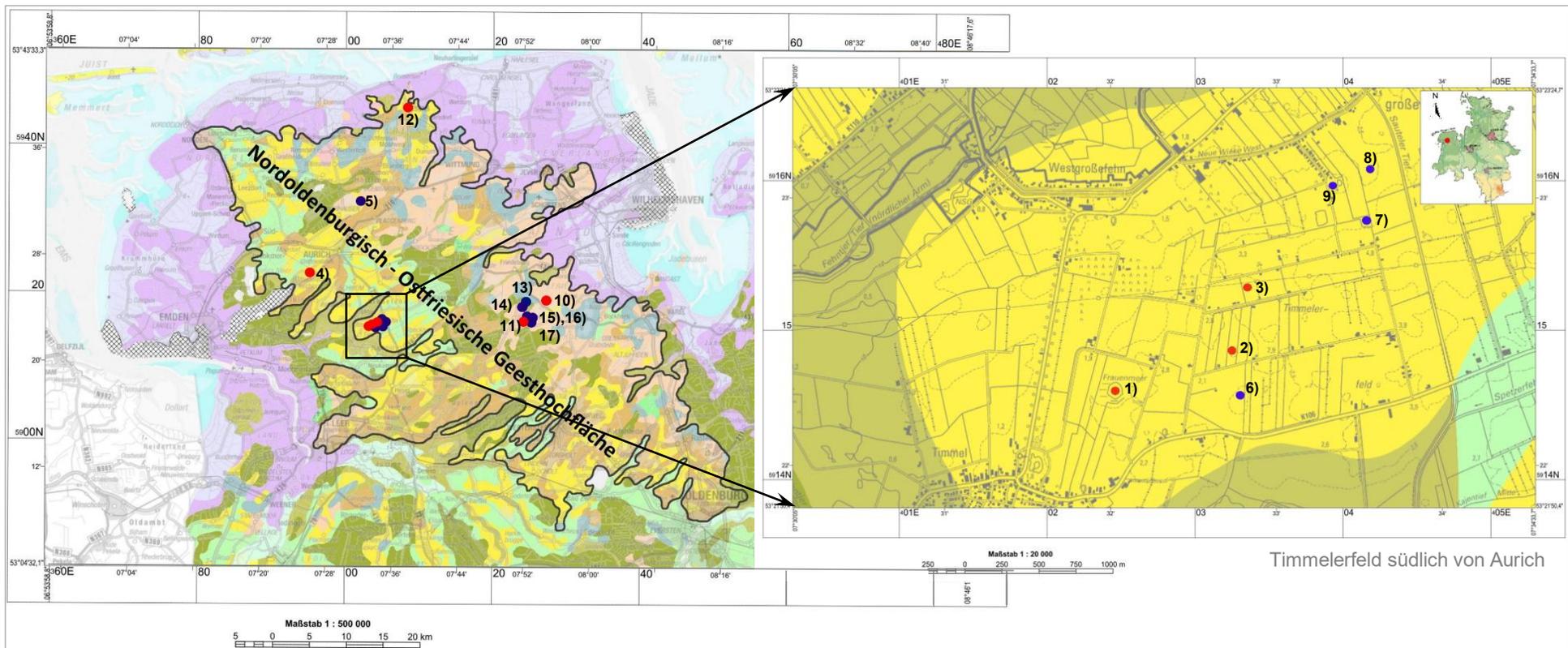
Die Anwendung des Leitfadens an den Beispielen von SMIDT et al. (2017) veranschaulicht einmal mehr, dass bei allen sieben Hohlformen die paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen nicht hinreichend betrachtet wurden. Ebenso wenig die Kriterien Genese, Auftreten, Geometrie und Datierung sowie die rezente Ausbildung, sodass eine zweifelsfreie geologische Einstufung nicht sicher gegeben ist. Die Feldarbeiten und die geologische Aufnahme im Sinne des Leitfadens wurden ebenfalls nicht konsequent umgesetzt. So wurden keine Kreuzprofile bis zur Grundmoräne (Mg/Lg) des Saale-Komplex oder bis max. 20 m

u.GOK für tiefe Paläopingos („geol. Fenster“) durchgeführt, um Paläopingos und/oder Flugsanddepressionen sicher zu erfassen. Es ist daher empfehlenswert, die Hohlformen erneut zu untersuchen, um anhand dieser neuen Ergebnisse eine Bestimmung und Differenzierung gemäß Leitfaden (s. Tab. 7-1) sicher vorzunehmen.

Anders als die Bewertung von HEINZE et al. (2014) ist die Hohlform Dietrichsfeld bei Aurich ebenfalls kein weichsel-kaltzeitlicher Paläopingo, sondern ist auf Basis des Leitfadens genetisch vielmehr als eine weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepression zu interpretieren. Denn Dietrichsfeld weist mit „flachen“ Neigungswänden von 20 – 30° eine wannenförmige Ausbildung auf, sodass hier der Formtyp als ein charakteristisches Merkmal für eine Flugsanddepression erfüllt wird (s. Tab. 7-1). Auch entspricht die geringe Tiefe von 3 m die einer Flugsanddepression. Zudem ähneln die Form und Tiefe sowie der geologische Aufbau denen der Flugsanddepressionen Pultermoor, Osterweide und Reitplatzweg im Timmelfeld (s. Tab. 8-1). Dietrichsfeld liegt zwar direkt auf dem Scheitel der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche (s. Abb. 4-3); aber dieses Merkmal allein ist nach dem Leitfaden nicht ausreichend, um die Bedingungen eines Paläopingos gänzlich erfüllt zu sehen (s. Tab. 7-1). Eine Altersbestimmung erfolgte nicht, aber es ist zu vermuten, dass die Hohlform mit hoher Wahrscheinlichkeit im Weichsel-Spätglazial (14 500 – 11 560 cal J.v.h.) innerhalb der Flugsanddecken entstanden ist. Wie die Flugsanddepressionen im Timmelfeld, dokumentieren die 0,2 bis 0,5 m dicken anthropogenen Auffüllungen, dass auch hier eine anthropogene Überprägung erfolgte, ebenso durch den lokalen Kies- und Sandabbau.

Doove-Meer und Frauenmeer erfüllen die Voraussetzungen und Kriterien eines Paläopingos (s. Tab. 8-2, Abb. 8-1). So waren die paläoklimatischen und -geohydrologischen Voraussetzungen sicherlich gegeben (s. Kap. 4.2). Die morphologisch markante Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche mit den topographischen Gradienten ist die paläogeomorphologische Voraussetzung und die Entwässerungssysteme mit einem stets ausreichenden Wasserdargebot, sind die entsprechenden paläohydrologischen Bedingungen, um die Paläopingos im hydraulisch / offenen System entstehen zu lassen.

Die Kriterien „Genese“ und „Auftreten“ für Paläopingos wird von Doove-Meer und Frauenmeer erfüllt. So sind beide Hohlformen unter kryogenen Prozessen im hydraulisch/offenen System (Ostgrönland-Typ) entstanden und entsprechen kryogenen Kaven im Sinne von GARLEFF (1968). Des Weiteren befanden sie sich im weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiet. Die Paläopingos liegen an der Westseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche (s. Abb. 8-1), wobei das Frauenmeer an der Westseite des Geestrückens mit den in rd. 0,8 bzw. 1 km entfernten Ostermoor und Kolk zudem perlenschnurartig aufgereiht sind und lassen einen Verlauf entlang der Entwässerungsrinnen vermuten.



Farblgende:

- Holozän/Feinsand/Schluff/Ton/Wattablagerung
- Holozän/Schluff/tonig/Brackwasserablagerung
- Holozän/Torf//Hochmoor
- Holozän/Torf, z. T. Mudde//Niedermoor, z. T. Seeablagerungen
- Weichsel-Kaltzeit/Sand//Flugsand
- Weichsel-Kaltzeit/Sand, Kies//Flussablagerungen der Niederterrasse
- Drenthe-Stadium, Saale-Komplex/Schluff/tonig/sandig/kiesig/Grundmoräne (Mg, Lg)
- Drenthe-Stadium, Saale-Komplex/Sand, Kies/Schmelzwasserablagerung
- Elster-Kaltzeit/Schluff bis Ton/Beckenablagerung (Lauenburger Ton)

**Rote Punkte**

gemäß Leitfaden eingestufte Paläopingos:

- 1) Frauenmeer, Timmelfeld
- 2) Ostermoor, Timmelfeld
- 3) Kolk, Timmelfeld
- 4) Doove-Meer bei Aurich
- 10) Kielstraat, sdl. Friedeburg
- 11) Fuhrenkämper Graben, sdl. Friedeburg
- 12) Esens-Nordorf

**Blaue Punkte**

gemäß Leitfaden eingestufte Flugsanddepressionen:

- 5) Dietrichsfeld bei Aurich
- 6) Pultermoor, Timmelfeld
- 7) Erlenstraße, Timmelfeld
- 8) Osterweide, Timmelfeld
- 9) Reitplatzweg, Timmelfeld
- 13) Randweg-Ost-West, sdl. Friedeburg
- 14) Randweg-Süd, sdl. Friedeburg
- 15) Junkeremoor, sdl. Friedeburg
- 16) Spolsener Moor-Nord, sdl. Friedeburg
- 17) Spolsener Moor-Süd, sdl. Friedeburg

Abbildung 8-6. Anwendung des Leitfadens – eine Übersicht: Paläopingos und Flugsanddepressionen in Ostfriesland (links), mit Detailkarte vom Timmelfeld (rechts); Kartengrundlage: NIBIS®Kartenserver, copyright @ LBEG Geozentrum Hannover

Das Doove-Meer tritt hingegen solitär auf, weitere Paläopingos oder Flugsanddepressionen in seiner Nachbarschaft sind gegenwärtig nicht bekannt. Ebenso entspricht die Geometrie von Doove-Meer und Frauenmeer den Kriterien von Paläopingos: die Form ist oval bis rund ausgebildet, die Durchmesser liegen zwischen 100 und 200 m und weisen auf mittelgroße Paläopingos hin. Der Formtyp ist bei beiden Hohlformen trichterförmig ausgebildet, wobei die Wandneigung zwischen 40 – 80° variiert und damit als „relativ steil“ bis „steil“ zu beschreiben ist (s. Tab. 8-2).

Auffällig ist, dass die Paläopingos Frauenmeer und Doove-Meer an der Westseite mit 5,5 bis 14 m u. GOK tiefer sind als Kielstraat an der Ostseite mit 4,6 m u. GOK. Möglicherweise war der Permafrost an der Westseite weniger mächtig ausgebildet, oder die Paläopingos verfügten hier beim Wachstum über ein höheres Wasserdargebot als die Paläopingos an der Ostseite der Geesthochfläche.

Die große Tiefe des Frauenmeers mit rd. 14 m u.GOK (-11 mNN) lässt sich auf ein „geologisches Fenster“ zurückführen, wo die Grundmoräne des Saale-Komplex gänzlich fehlt, so dass ein direkter Zugang zu den Schmelzwassersanden des Saale-Komplex gegeben ist. MEYER & MERKT (1995) wiesen eine Fehlstelle in vier Bohrungen nach, wo die Grundmoräne in Tiefen zwischen rd. -9 und -11 mNN nicht erbohrt wurde (s. Abb. 5-11). Die Schmelzwassersande folgen ab einer Tiefe von -9 m bis zur Endtiefe der Bohrungen in -13 mNN. Jedoch diskutierten Meyer & Merkt nicht explizit, ob das Frauenmeer an einem solchen „geologischen Fenster“ lokalisiert ist. Ebenso wird der in 1 km nordöstlicher Richtung entfernte Paläopingo Kolk mit einer vergleichbaren Tiefe von 11,6 m u.GOK bzw. -8 mNN ebenso im Zusammenhang mit einem „geologischen Fenster“ gesehen (s. Kap. 8.1). So ist zu anzunehmen, dass die hier vermutete Fehlstelle in der Grundmoräne für ein großes Wasserdargebot während des Pingowachstums vom Frauenmeer und Kolk sorgte. Auf dem Drenthe-Plateau zeigen die Paläopingos Hijkermeer mit 17 m u.GOK und Mekelermeer mit 12 m u.GOK vergleichbare Tiefen auf und deuten ebenfalls auf Fehlstellen in der Grundmoräne des Saale-Komplex hin (s. Tab. 7-2 u. Anh. C.2).

Die Existenz eines Ringwalls wurde lediglich beim Frauenmeer und Doove-Meer beschrieben, wobei diese teilweise vorhanden, d. h. halbkreisförmig angeordnet, oder nur noch in Spuren zu erahnen sind. Die erbohrten Ringwälle sind aus ungeschichteten, kiesigen Sanden oder aus Flinten und Kiesen bzw. Sanden aufgebaut. Der Ringwall am Frauenmeer weist eine Höhe von 1 m auf und ist morphologisch im Gelände erkennbar. Bei Esens-Nordorf (Leegt) und Fuhrenkämper Graben wurden keine Ringwälle nachgewiesen, während bei Kielstraat ein erkennbarer Ringwall beschrieben wurde (s. Tab. 8-2 u. Anh. C.1).

Die Breite des Ringwalls wurde für die Bewertung anhand des Leitfadens aus den Profilen abgeleitet, wobei das Frauenmeer eine Breite von 100 m aufwies (s. Tab. 7-2).

Die Datierung der Paläopingos Frauenmeer und Doove-Meer erfolgte aus den Gyttja- und Mudde-Schichten mittels Pollenanalyse, die für beide Paläopingos in die Ältere Dryas zu datieren sind. So ist das Wachstum beider Paläopingos mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Oberen Mittel-Weichsel (Pleniglazial) während einer Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.) erfolgt. Diese zeitliche Einstufung ist plausibel und nachvollziehbar, da das Wachstum der Paläopingos auf dem niederländischen Drenthe-Plateau ebenfalls in die Klimaperiode Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial) eingestuft wurde (s. Kap. 4.1 u. Anh. C.1). Der Zerfall von Doove-Meer hat vermutlich in der ersten Warmphase des Weichsel-Spätglazials, im Meien-dorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.), begonnen und war vollständig im Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.) abgeschlossen. Das Frauenmeer ist hingegen vermutlich im Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.) vollständig verfallen.

Gegenwärtig weisen die Paläopingos eine 3,5 m (Frauenmeer) und 5,7 m (Doove-Meer) mächtige organogene Verfüllung aus Torf, Mudde und Gyttja auf. Die Nutzung der zurzeit trockenen Hohlformen als überwiegend Acker- und Weideflächen sowie Parkanlagen ist landwirtschaftlich intensiv bzw. stark anthropogen überprägt, sodass diese Hohlformen somit nur schwer als ehemalige Paläopingos zu identifizieren sind.

Erstmals werden die ausgewählten Beispiele in Ostfriesland gemäß der Definition der Ad-hoc-AG Geotopschutz von 1996 bewertet. So sind die mittels Leitfaden eingestuftten weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen als schutzwürdige Geotope einzustufen.

Tabelle 8-2. Demonstration des Leitfadens an Beispielen in Ostfriesland

Hohlformen	Doove Meer	Esens-Nordorf (Leegt)	Kielstraat	Randweg-Süd	Dietrichsfeld
Gauß-Krüger Koordinaten	H: 5925440,35; R: 2594987,81	H: 5948590.368; R: 3408131.607	H: 5920365.974; R: 3426677.887	H: 5920237,798; R: 3425503,400	H: 3402765; R: 5934600
<b>Kriterium 1. Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen</b>					
Periglaziales Gebiet (FRENCH 1996, 2007):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> <li>– Mächtigkeit der Auftauschicht („Active Layer“) ist max. 2 m</li> <li>– Temperaturen sind nahe 0°C</li> <li>– Dauerhafte Wasserquelle für Genese Paläopingo ist gegeben</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Temperaturen nahe 0°C</li> <li>– Mächtigkeit der Auftauschicht („Active Layer“): max. 2 m</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> </ul>	
Paläo-Geomorphologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche			--	--
Paläo-Hydrologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex vom Geestrücken mit stetigem Wasserdargebot			--	--
<b>Kriterium 2. Genese</b>					
Geomorphologische Prozesse (GARLEFF 1968):	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)			Äolisch (Oberflächenform: Flugsanddepression)	
Genese-Typ (GARLEFF 1968):	Kryogene Kave			Äolische Kave	
Genese-Typ (MACKAY 1998):	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)			--	
<b>Kriterium 3. Auftreten</b>					
Vorkommen (EHLERS 1994, 2011):	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet
Lage (GARLEFF 1968, DE GANS 1981):	Westseite Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche	Nordseite Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geestfläche	Ostseite Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geestfläche	Innerhalb weichsel-kaltzeitlicher Flugsanddecken auf Nordoldenburgisch-Ostfriesischer Geesthochfläche; Ostseite	Innerhalb weichsel-kaltzeitlicher Flugsanddecken auf Nordoldenburgisch-Ostfriesischer Geesthochfläche; nördlicher Scheitel
Anordnung Paläopingo / Flugsanddepression (DE GANS 1982, FRENCH 1996):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Solitär auftretend (keine Cluster oder Perlenschnur)</li> <li>– Keine benachbarten Paläopingos oder Flugsanddepressionen bekannt</li> </ul>	Weitere Paläopingos in der Umgebung von Esens bekannt	<ul style="list-style-type: none"> <li>– In Nachbarschaft vmtl. Flugsanddepressionen: Randweg-Ost-West; Randweg-Süd</li> <li>– Aufreihung Perlenschnur entlang einer Entwässerungsrinne (Kielstraat, Fuhrenkämper Graben)</li> </ul>	In Nachbarschaft vmtl. Flugsanddepressionen: Randweg-Ost-West; vmtl. Paläopingo: Kielstraat	Keine Paläopingos benachbart

Anwendung und Demonstration des innovativen Leitfadens

Hohlformen	Doove Meer	Esens-Norddorf (Leegt)	Kielstraat	Randweg-Süd	Dietrichsfeld
<b>Kriterium 4. Geometrie</b>					
Form (FRENCH 1996):	Oval	Oval	Rund	Rund	Oval bis rund
Durchmesser ((MACKAY 1987): (kleiner: <100 m; mittlerer: 100 – 200 m; großer: >200 m):	Ca. 100/120 m (mittel)	Ca. 80 m (klein)	Ca. 100 – 120 m (mittel)	Ca. 100 – 120 m (mittel)	Ca. 60 m (klein)
Tiefe (geringe: 2 – <5 m; mittlere: 5 – 10 m; große: >10 m):	Ca. 7 m (mittel)	6,95 m (mittel)	4,6 m (gering)	2,2 m (gering)	Ca. 3 m (gering)
Wandneigung („flach“: <30°; „relativ steil“: 30 – 60°; „steil“: >60°):	Steil (ca. 60 – 70°)	Vmtl. steil (≥60°)	Steil (ca. 68°)	Flach (ca. 20°)	Flach (20 – 30°)
Formtyp (GARLEFF 1968):	Trichterförmig	Vmtl. trichterförmig	Trichterförmig	Wannenförmig	Wannenförmig
Existenz Ringwall (GARLEFF 1968, DE GANS & CLEVERINGA 1981):	In Spuren vorhanden, Flinte und Kiese	Nicht nachgewiesen	Erkennbar	--	--
Höhe / Breite Ringwall:	--	Nicht nachgewiesen	--	--	--
<b>Kriterium 5. Datierung</b>					
Relative Altersabfolge (Pollenanalyse)	Feinsandige Schluffmudde in 587,5-597,5 cm Tiefe: Zone I: Ältere Dryas (13 480 – 13 350 cal J.v.h.)	Tonmudde in 685-695 cm Tiefe: Zone I: Ältere Dryas (13 480 – 13 350 cal J.v.h.)	4 Proben: 3a: 105 cm Tiefe in Torf 3b: 215 cm Tiefe in Mudde 3c: 315 cm Tiefe in Mudde 3d: 455 cm Tiefe in Mudde Probe 3b 215 cm: Übergang Präboreal/ Boreal (Zone IV/V)	2 Proben: 4a: 92 cm Tiefe in Torf 4b: 218 cm Tiefe in Mudde	--
Absolute Altersdatierung ( <sup>14</sup> C-Methode)	Schluffmudde in 576,5-577,5 cm Tiefe: 10 935±275 B.P.	--	--	--	--
Zeitliche Zuordnung:	--	--	Mudde: Weichsel-Spätglazial: (14 500 – 11 560 cal J.v.h.)	Mudde: Weichsel-Spätglazial: (14 500 – 11 560 cal J.v.h.)	--
Wachstum Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	Vmtl. Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial): Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.)	Vmtl. Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial): Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.)	Vmtl. 22 000 – 18 000 B.P. (Obere Mittel-Weichsel (Ple- niglazial): Phase extremer Ab- kühlung)	--	--
Zerfall Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	Vmtl. Warmphasen Weichsel- Spätglazial: beginnend im Meiendorf-Intervall 14 500 – 13 860 cal J.v.h.); vollständig im Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.)	Vmtl. Warmphasen Weichsel- Spätglazial: beginnend im Meiendorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.); vollständig im Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.)	Vmtl. Warmphasen Weichsel- Spätglazial: beginnend im <i>Meien- dorf-Intervall</i> (14 500 – 13 860 cal J.v.h.); vollständig im <i>Allerød-In- terstadial</i> (13 350 – 12 700 cal J.v.h.)	--	--
Entstehung Flugsanddepression (DE GANS & CLEVERINGA 1986) (zeitliche Angabe nach LBEG):	--	--	--	Vmtl. im Weichsel-Spätglazial (14 500 – 11 560 cal J.v.h.)	Vmtl. im Weichsel-Spätglazial (14 500 – 11 560 cal J.v.h.)

Demonstration an Beispielen in Ostfriesland

Hohlformen	Doove Meer	Esens-Norddorf (Leegt)	Kielstraat	Randweg-Süd	Dietrichsfeld
<b>Kriterium 6. Rezente Ausbildung</b>					
Morphologische Ausbildung:	Hohlform, wasserführend	Hohlform, trocken	Hohlform, trocken	Topographisch schwer erkennbare Hohlform, trocken	Hohlform, trocken
Gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung):	Kesselmoor (Brachfläche)	Kesselmoor (Weidefläche mit Schilfvegetation)	Grasfläche, vermoort, angrenzend zu Sandabbau	Vermoort, inmitten einer Waldfläche/Gehölz	Grasfläche am Nordostrand einer Sandgrube
Verfüllung Hohlform mit organischen bzw. organogenen Sedimenten:	Torf: ca. 1,2 m, Mudde: ca. 4,5 m	Torf: ca. 5 m, Mudde: ca. 1,95 m	Torf: 2 / 1,95 m, Mudde: 2 / 2,2 m	Torf: 1,4 / 0,9 / 1,45 m, Mudde: 0,75 / 0,55 / 0,75 m	Torf: 1 m, Gytja: 2 m
Mächtigkeit Verfüllung:	Ca. 5,7 m	Ca. 6,95 m	4 / 4,15 m	2,15 / 1,45 / 2,2 m	3 m
<b>Kriterium 7. Geologische Einstufung</b>					
Kriterien für Paläopingo:	Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt
Kriterien für Flugsanddepression:	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Erfüllt	Erfüllt
Geologische Einstufung:	Paläopingo	Paläopingo	Paläopingo	Flugsanddepression	Flugsanddepression
Bewertung nach Ad-hoc-AG Geotopschutz (1996):	Schutzwürdiges Geotop	Schutzwürdiges Geotop	Schutzwürdiges Geotop	Schutzwürdiges Geotop	Schutzwürdiges Geotop
<b>Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme</b>					
Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie:	--	--	--	--	--
Endtiefe der Bohrungen:	1 Bohrung bis max. 7,5 m Tiefe	1 Bohrung bis Lg in 7 m Tiefe	2 Bohrungen: PR-3.1 bis 4,4 m Tiefe PR-3.2 bis ca. 4,65 m Tiefe	3 Bohrungen: PR-4.1 bis 2,2 m Tiefe, PR-4.2 bis 1,5 m Tiefe PR-4.3 bis 2,3 m Tiefe	offener Aufschluss von ca. 90 m Länge und ca. 3 m Tiefe
Entnahme von Sedimentproben:	Proben aus Torf und Mudde	Proben aus Torf und Mudde	Proben aus Torf und Mudde	Proben aus Torf und Mudde	--
Vermessung der Bohransatzpunkte:	--	--	Lokation der Hohlform	Lokation der Hohlform	Lokation der Hohlform
Geologische Aufnahme:	Erfolgt	Erfolgt, kein Kreuzprofil	Erfolgt, kein Kreuzprofil	Erfolgt	Erfolgt
Geologische Darstellung in Profilschnitten:	Kreuzprofil als Profilschnitt in Nord-Süd-Richtung und Nord-west-Südost-Richtung	--	--	Erfolgt, kein Kreuzprofil	Profilschnitt in Nordwest-Südost-Richtung
<b>Empfehlungen und Maßnahmen</b>					
Wiederholung im Sinne des Leitfadens, u. a.: Kriterium 5. Datierung Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bohrungen im Kreuzprofil bis Grundmoräne (Mg/Lg) des Saale-Komplex bzw. max. 20 m u.GOK für tiefe Paläopingos („geol. Fenster“). Kreuzpunkt beider Profile in morphologisch tiefster Bohrung</li> <li>- Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie: Abstand von mind. 50 m</li> <li>- Vermessung der Bohransatzpunkte: Nivellieren BAP nach Höhe, Lage Bohrpunkte als Gauß-Krüger-Koordinaten, aus georeferenzierter DGK 5</li> <li>- Geologische Aufnahme anhand geologischer Symbolschlüssel des LBEG in aktueller Fassung</li> <li>- Pollenanalyse mit zeitlicher Zuordnung nach FIRBAS (1949/54) aus Torf- und Mudde-schichten der morphologisch tiefsten Bohrung.</li> </ul>			--

### 8.3 Demonstration an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau

Der erarbeitete Leitfaden wurde auch an den ausgewählten Beispielen auf dem Drenthe-Plateau demonstriert. Die entsprechenden Voraussetzungen und Kriterien werden in den anschließenden Abschnitten näher erläutert. Die tabellarische Zusammenfassung ist im Anhang C.2 dargestellt.

Die ausgesuchten Paläopingos im Drenthe-Plateau lagen demnach im weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiet. Das Landschaftsbild war durch ein trocken kaltes und windiges Frostklima mit Tundravegetation, ggf. sogar vegetationslos, geprägt. Die Temperaturen lagen nahe dem Gefrierpunkt und sorgten somit für eine dauerhafte Wasserquelle zur Genese der Paläopingos. Die Auftauschicht („Active Layer“) wird mit max. 2 m vermutet (s. Kap. 3.1).

Zudem bildete das Drenthe-Plateau mit dem dominierenden, weiträumig verzweigten Entwässerungssystemen des Drentsche Aa aus gut sortierten mittel-weichselzeitlichen Sanden und Kiesen die paläo-geomorphologische und -hydrologische Voraussetzungen. So sorgte das Drentsche Aa Entwässerungssystem mit ihrer Hangneigung von  $<0,5^\circ$  bis zu  $1^\circ$  nach Osten bzw. nach Westen bis Ende des Pleistozäns für ein stetiges Wasserdargebot und ermöglichten somit die Paläopingos im hydraulisch / offenen System entstehen zu lassen, nach GARLEFF (1968) kryogene Kaven (s. Anh. C.2).

Die Paläopingos Holveen, Langakkerveen, Kostverlorenveen, Papenvoort und Ekehaar sowie die *Hohlformen A und B* sind perlenschnurartig aufgereiht, während die Paläopingos im Ballooërveld als Cluster angeordnet sind. Im Ballooërveld treten die Paläopingos, wie in Ostfriesland, in unmittelbarer Nachbarschaft mit flachen Flugsanddepression auf. Diese Flugsanddepressionen sind im Vergleich zu den benachbarten Paläopingos lediglich durch die deutlich geringe Tiefe von max. 2 m zu unterscheiden (s. Anh. C.2).

Die Paläopingos zeigen eine ovale Form, lediglich die *Hohlform B* ist rund ausgebildet. Ihre Durchmesser variieren zwischen 70 und 215 m, wobei die überwiegende Anzahl zwischen 100 – 200 m liegt und somit mittlere Durchmesser aufzeigen. Nur die Paläopingos im Ballooërveld und die *Hohlform A* weisen mit 70 m bzw. 300 m abweichende Größen auf (s. Anh. C.2). Die Tiefen lagen zwischen 3 m (*Hohlform A*) und 8 m (Stokersdobbe), wobei nach DE GANS & SOHL (1981) eine minimale Tiefe von 2 m im direkten Zusammenhang mit der Dicke der Auftauschicht „Active Layer“ während des Wachstums in der Oberen Mittel-Weichsel zu sehen ist. Sie dient somit als Unterscheidungsmerkmal zwischen Paläopingos und Flugsanddepressionen. Die Paläopingos Mekelermeer und Hijkermeer sind mit Tiefen von 12 m und bzw. 17 m die tiefsten Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau und sind an „geologische Fenster“ lokalisiert (s. Tab. 7-2 u. Anh. C.2).

Die Wandneigung der Paläopingos von 50 – 80° ist „relativ steil“ bis „steil“ ausgebildet, sodass der Formentyp als trichterförmig zu beschreiben ist (s. Anh. C.2).

Bei fast allen Paläopingos wurden Ringwälle mit Höhen von 1 – 1,4 m, 2 m bei Stokersdobbe, und Breiten von 50 – 100 m nachgewiesen. Lediglich beim Paläopingo Holveen ist der Ringwall mit 0,5 m Höhe deutlich niedriger und mit einer Breite von 40 m schmaler ausgebildet (s. Anh. C.2).

Die Datierung der Paläopingos erfolgte mittels Radiocarbon-Methode aus den Gyttja- und humosen Lehmschichten unterhalb der Ringwälle und/oder pollenanalytische Untersuchung direkt aus den organogenen Schichten innerhalb des Paläopingos. Das Pingowachstum begann in der Phase extremer Abkühlung und wurde in die Obere Mittel-Weichsel vor 25 000 – 19 000 B.P. datiert. Das Wachstum der Paläopingos im Ballooërveld begann früher und wurde auf ca. 30 000 B.P. datiert (s. Anh. C.2). Der Zerfall der Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau begann zeitlich mit dem Temperaturanstieg zu Beginn des Bölling-Interstadials und war innerhalb dieser Warmphase abgeschlossen (DAVIES et al. 2005).

Die Entstehung der Flugsanddepressionen wurde ins Weichsel-Spätglazial vor rd. 13 000 B.P. datiert, als das Drenthe-Plateau mit mächtigen Flugsanddecken großflächig überlagert wurde, in denen sich die Flugsanddepressionen ausbildeten (s. Kap. 4.1).

Rezent sind die Paläopingos überwiegend trocken, wobei lediglich Papenvoort, Hijkermeer, Mekelermeer und *Hohlform A* vollständig mit Wasser gefüllt sind und Seen bilden. Weiterhin sind die Paläopingos in der Regel mit 1 – 5,5 m, Stokersdobbe mit ca. 7 m, mächtigen organogenen Schichten aus Torf und Gyttja verfüllt. Wie in Ostfriesland sind die Flächen mit den Paläopingos anthropogen beeinflusst und werden gegenwärtig als Brachflächen mit teilweisem Bewuchs und Baumbestand oder Heideland extensiv genutzt (s. Anh. C.2).

## **8.4 Aufzeigen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden**

### **8.4.1 Paläopingos Drenthe-Plateau vs. Ostfriesische Geesthochfläche**

Vergleicht man die weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau mit denen der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche sind viele Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede abzuleiten (s. Tab. 8-3).

So lassen sich für die Paläopingos beider Gebiete die Gemeinsamkeiten in der paläoklimatischen und -hydrologischen Voraussetzungen, Genese, Auftreten und Geometrie sowie in der Datierung des Pingowachstums aufzeigen. Denn die Paläopingos beider Gebiete lagen im damaligen weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiet und befinden sich im Bereich der morphologisch markanten Grundmoränen-Höhenrücken bzw. Plateaus. Das Pingowachstum im hydraulisch-offenen System ist während der Phase extremer Abkühlung (Oberes Pleniglazial) zu

datieren. Eine weitere Gemeinsamkeit ist die perlenschnurartige Aufreihung der Paläopingos und die unmittelbare Nachbarschaft zu Flugsanddepressionen. Ebenso befinden sich die tiefen Paläopingos beider Gebiete an „geologischen Fenstern“ und weisen einen trichterförmigen Formtyp mit „relativ steilen“ bis „steilen“ Wandneigungen auf.

Ein Unterschied besteht darin, dass das Wasserdargebot auf dem Drenthe-Plateau aus ein weiträumig verzweigtes Gewässersystem in aktiven ehemaligen Nebentälern mit leichter Hangneigung von  $<0,5^\circ$  bis  $1^\circ$  gespeist wurde, während es in Ostfriesland über die Entwässerungsrinnen der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche erfolgte. Der Pingozerfall beginnt auf dem Drenthe-Plateau bereits am Ende der Oberen Mittel-Weichsel (ab 20 000 J.v.h.), während dieser in Ostfriesland mit der ersten Warmphase des Weichsel-Spätglazials (Meien-dorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.) angenommen wird.

Tabelle 8-3. Übersicht der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Paläopingos auf dem Drenthe-Plateau und der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche

	Paläopingos des Drenthe-Plateaus	Paläopingos der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche
<b>Gemeinsamkeiten in den Kriterien:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet: eisfreies Gebiet mit trocken kalten und windigem Frostklima, Tundravegetation, diskontinuierlicher, geringmächtiger Permafrost</li> <li>Drenthe-Plateau als markanter Höhenrücken</li> </ul> </li> <li>Genese: <ul style="list-style-type: none"> <li>Hydraulisch / offenes System (Ostgrönland-Typ)</li> <li>Kryogene Kaven</li> </ul> </li> <li>Auftreten: <ul style="list-style-type: none"> <li>Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet</li> <li>Im Bereich des Drenthe-Plateaus mit Hondsrug-System</li> <li>Aufreihung Perlenschnur</li> <li>Nachbarschaft zu Flugsanddepressionen</li> </ul> </li> <li>Geometrie: <ul style="list-style-type: none"> <li>Paläopingos Hijkermeer und Mekelermeer (Tiefe: <math>&gt;10</math> m) liegen an „geologischen Fenstern“</li> <li>Wandneigung: „relativ steil“ – „steil“ (<math>50 - 70^\circ</math>)</li> <li>Formtyp: trichterförmig</li> <li>Existenz Ringwall</li> </ul> </li> <li>Datierung: <ul style="list-style-type: none"> <li>Wachstum Paläopingo: Oberes Mittel-Weichsel (Ob. Pleniglazial): Phase extremer Abkühlung (30 000 – 18 000 B.P.)</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet: eisfreies Gebiet mit trocken kalten und windigem Frostklima, Tundravegetation, diskontinuierlicher, geringmächtiger Permafrost</li> <li>Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche als markanter Höhenrücken</li> </ul> </li> <li>Genese: <ul style="list-style-type: none"> <li>Hydraulisch / offenes System (Ostgrönland-Typ)</li> <li>Kryogene Kaven</li> </ul> </li> <li>Auftreten: <ul style="list-style-type: none"> <li>Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet</li> <li>Seiten/Loben der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche</li> <li>Aufreihung Perlenschnur</li> <li>Nachbarschaft zu Flugsanddepressionen</li> </ul> </li> <li>Geometrie: <ul style="list-style-type: none"> <li>Paläopingos Frauenmeer und Kolk (Tiefe: <math>&gt;10</math> m) liegen an „geologischen Fenstern“</li> <li>Wandneigung: „relativ steil“ – „steil“ (<math>40 - 75^\circ</math>)</li> <li>Formtyp: trichterförmig</li> <li>Existenz Ringwall</li> </ul> </li> <li>Datierung: <ul style="list-style-type: none"> <li>Wachstum Paläopingo: Oberes Mittel-Weichsel (Ob. Pleniglazial): Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.)</li> </ul> </li> </ol>
<b>Unterschiede in den Kriterien:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>weiträumig verzweigtes Entwässerungssystem des Drentsche Aa, aktive ehemalige Nebentäler, mit</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Entwässerungsrinnen der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geest-rücken mit stetem Wasserdargebot</li> </ul> </li> </ol>

	Paläopingos des Drenthe-Plateaus	Paläopingos der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche
	leichter Hangneigung von <math><0,5^\circ</math> bis <math&gt;1^\circ&lt; für="" math&gt;="" stetes="" td="" wasserangebot<=""> <td></td> </math&gt;1^\circ&lt;>	
	5. Datierung: – Zerfall Paläopingo: Frühes Weichsel-Spätglazial: Innerhalb Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.)	5. Datierung: – Zerfall Paläopingo: Frühes Weichsel-Spätglazial, Meiendorf-Intervall (14 500 – 13 860 cal J.v.h.)

#### 8.4.2 Flugsanddepressionen Drenthe-Plateau vs. Ostfriesische Geesthochfläche

Wie für die Paläopingos sind auch gemeinsame und unterschiedliche Kriterien zwischen den Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau und der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche abzuleiten (s. Tab. 8-4).

So bestehen Gemeinsamkeiten in der Nachbarschaft zu den Paläopingos und ihrer Ausbildung innerhalb der Flugsanddecken während des Weichsel-Spätglazials. Die Unterschiede werden in der Geometrie hinsichtlich Tiefe und Form gesehen. Die Flugsanddepressionen sind auf dem Drenthe-Plateau rund bis oval ausgebildet und nicht tiefer als 2 m, während sie in Ostfriesland eine ovale Form aufzeigen und mit Tiefen von 3,8 m u.GOK nahezu doppelt so tief sind.

Die nachfolgende Tabelle 8-4 gibt eine Übersicht tabellarisch wieder.

Tabelle 8-4. Übersicht der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau und der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche

	Flugsanddepressionen des Drenthe-Plateaus	Flugsanddepressionen der Nordoldenburgisch-Ostfriesischen Geesthochfläche
<b>Gemeinsamkeiten in den Kriterien:</b>	3. Auftreten: – Innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken – Nachbarschaft zu Paläopingos 5. Datierung: – Entstehung im Weichsel-Spätglazial	3. Auftreten: – Innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken – Nachbarschaft zu Paläopingos 5. Datierung: – Entstehung im Weichsel-Spätglazial
<b>Unterschiede in den Kriterien:</b>	4. Geometrie: – Runde bis ovale Form – Tiefe: $\leq 2$ m	4. Geometrie: – Ovale Form – Tiefe: 2,8 – 4 m

## 9 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit schließt eine lange währende Lücke. Im Rahmen dieser Dissertation wurde ein grundlegendes Instrumentarium entwickelt, auf dessen Basis zukünftig eine Bestimmung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen durchzuführen ist. Zudem ermöglicht dieser Schlüssel auch eine eindeutige und klare Differenzierung zwischen Paläopingos und Flugsanddepressionen vorzunehmen.

So wurde zunächst eine umfangreiche Literaturstudie durchgeführt, um anhand von ausgewählten, repräsentativen Beispielen weichsel-kaltzeitlicher Paläopingos und Flugsanddepressionen auf dem niederländischen Drenthe-Plateau (11) und in Ostfriesland (3) die Voraussetzungen, Kriterien und Methodik zu formulieren und in einem einzigartigen Leitfaden zusammenzustellen. Dieser Leitfaden gliedert sich in drei Kategorien, wobei Kategorie 1 die „Voraussetzungen“, Kategorie 2 die „Kriterien“ und Kategorie 3 die „Methodik“ betiteln. Insgesamt lassen sich acht Kriterien mit den jeweiligen Unterkriterien für die Bestimmung ableiten:

Die Kategorie 1 „Voraussetzungen“ startet mit dem Kriterium 1. „Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen“ mit den Unterkriterien periglaziales Gebiet, Paläo-Geomorphologie und Paläo-Hydrologie.

Das waren die eisfreien Gebiete außerhalb der Vergletscherungen während des Saale-Komplex oder der Weichsel-Kaltzeit. Hier herrschte ein trocken kaltes und windiges Frostklima mit Tundravegetation, ggf. vegetationslos, vor. Jahreszeitlich variierten die Temperaturen, wobei jedoch die Temperaturen nahe bei 0°C lagen, um somit eine dauerhafte Wasserquelle für die Genese der Paläopingos zu schaffen. Vorkommen von Permafrost (Dauerfrostboden), welcher geringmächtig und diskontinuierlich (lückenhaft) ausgebildet war, und eine maximal 2 m mächtige Auftauschicht hatte. Ebenso prägten periglaziale Prozesse das Periglazialgebiet.

Die Paläo-Geomorphologie stellen die morphologisch markanten Grundmoränen-Höhenrücken des Saale-Komplex (z. B. Geesthochflächen bzw. Plateaus) mit topografischem Gradienten dar, welcher den hydraulischen Druck aufbaute, notwendig für eine Pingogenese im hydraulisch / offenen System. In Ostfriesland stehen die Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche und in den Niederlanden das Drenthe-Plateau für diese markanten Höhenrücken. Die Paläo-Hydrologie repräsentieren die Entwässerungssysteme des Saale-Komplex, die für ein stetiges und ausreichendes Wasserdargebot von Sicker- und Grundwasser, jedoch mit kleinem Wasservolumen, sorgten, wie beispielsweise Entwässerungsrinnen von Geestrücken oder das weiträumig verzweigte Entwässerungssystem des Drentsche Aa mit leichter Hangneigung von <math><0,5^\circ</math> bis

Die Flugsanddepressionen bilden sich hingegen durch rein äolische Prozesse innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Deckschichten aus Flugsanden in den periglazialen Gebieten.

Die Kategorie 2 beginnt dem Kriterium 2. „Genese“, unter der nach GARLEFF (1968) die geomorphologischen Prozesse, wie kryogen und äolisch, verstanden wird, welche als Oberflächenform Paläopingos und Flugsanddepressionen entstehen lassen. Die Genese-Typen werden nach GARLEFF (1968) und MACKAY (1998) definiert. So sind die Paläopingos als kryogene Kaven zu betiteln und ins hydraulisch / offene System (Ostgrönland-Typ) einzustufen. Die Flugsanddepressionen entsprechen den äolischen Kaven.

Das Kriterium 3. „Auftreten“ benennt das Vorkommen, die Lage oder Anordnung von Paläopingos und Flugsanddepressionen. So sind für Paläopingos die Periglazialgebiete des Saale-Komplex oder der Weichsel-Kaltzeit unter „Vorkommen“ zu verstehen und für die Flugsanddepressionen ausschließlich die weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiete. Das Kriterium „Lage“ sagt aus, wo die Paläopingos und Flugsanddepressionen auf den Geesthochflächen bzw. Plateaus des Saale-Komplex lokalisiert sind, beispielsweise Seiten bzw. Loben der Geesthochflächen im Bereich der Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex. Die Flugsanddepressionen hingegen liegen ausschließlich innerhalb der weichsel-kaltzeitlichen Flugsanddecken der Geesthochflächen, die diese flächendeckend überlagern. Die Anordnung beschreibt, dass Paläopingos in kleinen Gruppen (Clustern) oder eine perlenschnurartige Aufreihung oder in Nachbarschaft von Flugsanddepressionen im Sinne von DE GANS (1982) und FRENCH (1996) auftreten. In Ostfriesland weist zudem diese Aufreihung auf den Verlauf der Paläopingos entlang der Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex hin.

Unter dem Kriterium 4. „Geometrie“ werden deren Form nach FRENCH (1996), Durchmesser und Tiefe, Wandneigung und der hieraus abgeleitete Formtyp verstanden. Ebenso zählen Existenz sowie Höhe und Breite des Ringwalls zum Unterkriterium „Geometrie“. Die Gliederung der Durchmesser in drei Klassen „klein“ (<100 m), „mittlerer“ (100 – 200 m) und „groß“ (>200 – 300 m) wird nach MACKAY (1987) für die Paläopingos und Flugsanddepressionen angewendet. Durchmesser von >300 – 400 m werden als „mega“ bzw. >400 m als giga betitelt. Im Leitfaden wird ein Durchmesser von Länge/Breite für Paläopingos entsprechend mit  $\geq 100$  m und für Flugsanddepressionen mit  $\geq 50$  m angegeben. Die Wandneigung ist für die Einstufung von Paläopingo und Flugsanddepression ebenfalls als verbindliches Kriterium heranzuziehen. So wird ein Neigungswinkel von  $<30^\circ$  als „flach“, Winkel zwischen  $30$  und  $60^\circ$  sind als „relativ steil“ und Winkel von  $>60^\circ$  sind als „steil“ definiert. Der Formtyp nach GARLEFF (1968) wird anhand der Wandneigung als „trichterförmig“ oder „wannenförmig“ beschrieben und stellt ein weiteres wichtiges Instrument zur Einstufung dar. Im Leitfaden wird der Formtyp für Paläopingos als trichterförmig mit „relativ steilen“ bis „steilen“ Wandneigungen ( $40 - 80^\circ$ ) und für Flugsanddepressionen als wannenförmig mit „flachen“ bis „relativ steilen“ Wandneigungen ( $20 - 40^\circ$ ) angegeben.

Weiterhin sind Paläopingos deutlich tiefer ( $\geq 2$  m) als Flugsanddepressionen ( $\leq 2$  m), wobei

nach DE GANS & SOHL (1981) Tiefen von mehr als 10 m an „geologischen Fenstern“ gebunden sind. Die Höhe und Breite eines Ringwalls wird im Leitfaden mit 0,5 – 1 m bzw. mit 50 – 100 m beziffert. Unter der Existenz eines Ringwalls wird verstanden, ob dieser „vollständig“, „teilweise“ oder „nur noch in Spuren“ vorhanden ist. So sind die Tiefe und die Existenz eines Ringwalls zwei wichtige Kriterien, um Paläopingos von Flugsanddepressionen zu unterscheiden.

Das Kriterium 5. „Datierung“ basiert auf den Unterkriterien Relative Altersabfolge, absolute Altersdatierung und zeitliche Zuordnung, Wachstum und Zerfall Paläopingo sowie Entstehung der Flugsanddepression. Die Datierung der Paläopingos und Flugsanddepressionen soll mittels der <sup>14</sup>C-Methode (Radiokarbon-Methode) oder Pollenanalyse mit Zuordnung nach FIRBAS (1949/54) erfolgen. Die zeitliche Zuordnung, wie die Stufengliederung, Klimaperioden sowie Lithologie und Jahre/Alter etc. ist nach den Vorgaben des LBEG Hannover in der aktuellen Fassung durchzuführen.

Das Wachstum der Paläopingos ist mit ziemlicher Sicherheit in die Obere Mittel-Weichsel (Pleniglazial) zu einer Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.) zu datieren. Der Pingozerfall wird ins Weichsel-Spätglazial datiert, der wahrscheinlich in der ersten Interstadialen Phase des Weichsel-Spätglazials (Meiendorf-Intervall: 14 500 – 13 860 cal J.v.h.), begann, sich im Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.) fortsetzte und vermutlich im Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.) vollständig abgeschlossen wurde. Weiterhin ist anzunehmen, dass der Pingozerfall in den Kaltphasen immer wieder unterbrochen wurde. Ob aber in diesen Warmphasen das Pingo-Wachstum wieder begünstigt wurde, ist in der Literatur nicht belegt.

Das Kriterium 6. „Rezente Ausbildung“ beschreibt wie die Paläopingos und Flugsanddepressionen gegenwärtig ausgebildet sind und genutzt werden. So werden hier die Unterkriterien „Morphologische Ausbildung“, „gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung)“ sowie die „Organogene Verfüllung mit organogenen Sedimenten“ und „Mächtigkeit Verfüllung“ aufgelistet. Die Überprägung wird prinzipiell nicht als ein für die Einstufung zu berücksichtigendem Merkmal verstanden. Sie ist vielmehr als einen Hinweis zu bewerten, ob die Hohlformen wegen der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung morphologisch im Gelände zu erkennen sind.

Der Leitfaden schließt mit der Kategorie 3 „Methodik“, beginnend mit dem Kriterium 7. „Geologische Einstufung“. Dieses Kriterium erfolgt als letzter Schritt in der Bewertung und berücksichtigt, ob die Kriterien für Paläopingo und Flugsanddepressionen erfüllt werden. Ebenso wird eine Aussage getroffen, dass nachgewiesene Paläopingo und Flugsanddepressionen schutzwürdige Geotope darstellen.

Das Kriterium 8. „Feldarbeiten und die geologische Aufnahme“ ist als einen ersten Arbeitsschritt für die geologische Erfassung der Hohlformen im Gelände zu verstehen und stellt zudem ein praktisches Hilfsmittel für die Feldarbeiten dar. Diese Herangehensweise lässt es zu, eine erste geologische Einstufung in einen Paläopingo oder eine Flugsanddepression direkt im Gelände vorzunehmen. Die Unterkriterien finden zudem ihre erste Anwendung und wie diese umzusetzen sind:

Es werden die Bohransatzpunkte und deren Abstand auf einer Schnittlinie, die notwendige Endtiefe der Bohrungen, die geologische Aufnahme und deren Darstellung in Profilschnitten empfohlen. Die Bohrungen sind bis zum Geschiebemergel bzw. –lehm der Haupt Drenthe des Saale-Komplex als Kreuzprofil unter Berücksichtigung zweier aussagefähiger Profilschnitte, abzuteufen. Bei Hinweisen auf tiefe Paläopingos an „geologischen Fenstern“, sind die Bohrungen bis max. 20 m u.GOK durchzuführen. Kreuzungspunkt der Profile ist die morphologisch tiefste Bohrung. Bei der Entnahme von Sedimentproben aus den organischen bzw. organogenen Schichten ist für die absolute oder pollenanalytische Datierung zu beachten, dass das Probenintervall in Torfschichten 5 cm und in Muddeschichten 10 cm beträgt. Die Lagerung der Proben erfolgt kühl bei 4°C. Die Ergebnisse der pollenanalytischen Auswertung werden in Pollendiagrammen dargestellt. Die Bohransatzpunkte werden der Höhe nach nivelliert und ihre Lage als Gauß-Krüger-Koordinaten aus der georeferenzierten DGK 5 bestimmt. Die geologische Aufnahme erfolgt nach dem geologischen Symbolschlüssel der LBEG Hannover in der aktuellen Fassung.

Der erarbeitete Leitfaden wurde für die Bestimmung der eigenen untersuchten sechs Hohlformen im Timmelfeld angewendet. So sind Ostermoor und Kolk als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos zu interpretieren, die vermutlich in der Oberen Mittel-Weichsel (Pleniglazial) während der Phase extremer Abkühlung (22 000 – 18 000 B.P.) entstanden. Der Zerfall begann mit der ersten Warmphase des Weichsel-Spätglazials (Meiendorf-Intervall: 14 500 – 13 860 cal J.v.h.), sich im Bölling-Interstadial (13 730 – 13 480 cal J.v.h.) fortsetzte und vollständig im Allerød-Interstadial (13 350 – 12 700 cal J.v.h.) abgeschlossen war.

Beide Paläopingos sind an der Westseite der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche lokalisiert und lagen im weichsel-kaltzeitlichen periglazialen Gebiet; beides wichtige paläoklimatische und –hydrologische Voraussetzungen für deren Genese. Osterweide und Kolk gehören ebenso zum hydraulisch / offenen System (Ostgrönland) und sind als kryogene Kaven zu bezeichnen. Die Paläopingos Ostermoor und Kolk haben einen Durchmesser von 163/120 m bzw. 208/272 m und zählen zu den mittelgroßen bis großen Paläopingos. Ihre Wandneigungen sind mit 65 – 75° „steil“ ausgebildet und weisen somit einen trichterförmigen Formtyp auf. Ihre Tiefen liegen zwischen rd. 7 und 12 m u. GOK, wobei Kolk im Vergleich zum benachbarten Ostermoor deutlich tiefer ist und eine vergleichbare Tiefe wie das nahe gelegene Frauenmeer aufweist. Die großen Tiefen (>10 m u.GOK) vom Frauenmeer und Kolk werden

im Zusammenhang mit einem „geologischen Fenster“ gesehen, die eine Verbindung in die unterlagernden Schmelzwasserablagerungen schaffen und für ein ausreichend großes Wasserdargebot bei der Pingogenese sorgten. Ostermoor und Kolk sind mit dem Frauenmeer wie eine Perlenschnur aufgereiht und weisen auf die Lage entlang der Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex hin. Ebenso liegen die beiden Paläopingos in direkter Nachbarschaft zu den Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg. Die nachgewiesenen Paläopingos sind als schutzwürdige Geotope einzustufen.

Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg wurden mit Hilfe des Leitfadens als weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepressionen eingestuft. Ihre Entstehung innerhalb der Flugsanddecken begann vermutlich im Weichsel-Spätglazial und war bis zur Jüngeren Dryas (14 500 – 12 700 cal J.v.h.) abgeschlossen. Sie sind also jünger als die Paläopingos Ostermoor und Kolk. Sie weisen eine ovale bis runde Form mit einem kleinen bis mittleren Durchmesser von 150 – 165 m auf. Mit Tiefen von 2,8 bis 3,8 m u. GOK sind die vier Flugsanddepressionen flacher als die beiden Paläopingos Ostermoor und Kolk ausgebildet. Im Gegensatz zu denen im Drenthe-Plateau sind die Flugsanddepressionen Pultermoor, Erlenstraße, Osterweide und Reitplatzweg deutlich tiefer. Ihre Wandneigung ist mit ca. 40° „relativ steil“ ausgebildet und entspricht somit einem wannenförmigen Formtyp. Die vier Flugsanddepressionen befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Paläopingos Ostermoor, Kolk und Frauenmeer. Die nachgewiesenen Flugsanddepressionen sind als schutzwürdige Geotope zu bewerten.

Der Leitfaden wurde an Beispielen in Ostfriesland demonstriert. So sind das Frauenmeer und Doove Meer sicher als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos einzustufen und bestätigt die früheren Bewertungen. Esens-Nordorf, Kielstraat und Fuhrenkämper Graben sind vermutlich als Paläopingos zu interpretieren. Randweg-Süd, Randweg-Ost-West, Junkermoor, Spolsener Moor-Nord und Spolsener Moor-Süd sowie Dietrichsfeld sind als mögliche weichsel-kaltzeitliche Flugsanddepressionen einzustufen, wobei die frühere Interpretation als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos widerlegt wurde. Um die Esens-Nordorf, Kielstraat und Fuhrenkämper Graben sowie Randweg-Süd, Randweg-Ost-West, Junkermoor, Spolsener Moor-Nord und Spolsener Moor-Süd sicher als Paläopingos oder Flugsanddepressionen zu bewerten, ist es empfehlenswert die Feldarbeiten und geologische Aufnahme sowie die Datierung im Sinne des Leitfadens zu wiederholen. Des Weiteren sind alle in Ostfriesland nachgewiesenen Paläopingos und Flugsanddepressionen als schutzwürdige Geotope einzustufen.

Der neue Leitfaden wurde ebenfalls an den Beispielen auf dem niederländischen Drenthe-Plateau demonstriert, wobei die frühere Interpretation als weichsel-kaltzeitliche Paläopingos und Flugsanddepressionen gänzlich bestätigt wurde.

Mit Hilfe des Leitfadens war es auch möglich, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen in Ostfriesland und

auf dem niederländischen Drenthe-Plateau abzuleiten. Dabei ist auffällig, dass die Gemeinsamkeiten gegenüber den Unterschieden überwiegen.

So lassen sich für die Paläopingos Gemeinsamkeiten in der paläoklimatischen und -geohydrologischen Voraussetzungen, Genese, Auftreten und Geometrie sowie in der Datierung des Pingowachstums aufzeigen. Denn die Paläopingos beider Gebiete lagen im damaligen weichsel-kaltzeitlichen Periglazialgebiet und befinden sich im Bereich der morphologisch markanten Grundmoränen-Höhenrücken bzw. Plateaus. Das Pingowachstum im hydraulisch-offenen System ist während der Phase extremer Abkühlung des Pleniglazials (Obere Mittel-Weichsel) zu datieren. Eine weitere Gemeinsamkeit ist die perlenschnurartige Aufreihung der Paläopingos und die unmittelbare Nachbarschaft zu Flugsanddepressionen. Ebenso befinden sich die tiefen Paläopingos beider Gebiete an „geologischen Fenstern“ und weisen einen trichterförmigen Formtyp mit „relativ steilen“ bis „steilen“ Wandneigungen auf.

Ein Unterschied besteht darin, dass das Wasserdargebot auf dem Drenthe-Plateau aus dem weiträumig verzweigten Entwässerungssystem des Drentsche Aa, seinen ehemaligen Nebentälern mit leichter Hangneigung von  $<0,5^\circ$  bis  $1^\circ$  gespeist wurde, während es in Ostfriesland über die Entwässerungsrinnen der Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche erfolgte. Der Pingozerfall auf dem Drenthe-Plateau wurde zeitlich innerhalb des Bölling-Interstadials datiert, während dieser in Ostfriesland bereits zu Beginn des Weichsel-Spätglazials, im Meiendorf-Intervall, vermutet wird.

Gemeinsamkeiten zwischen den Flugsanddepressionen in Ostfriesland und auf dem Drenthe-Plateau bestehen in der Nachbarschaft zu den Paläopingos und ihrer Ausbildung innerhalb der Flugsanddecken während des Weichsel-Spätglazials. Die Unterschiede werden in der Geometrie hinsichtlich Tiefe und Form gesehen. So sind die Flugsanddepressionen auf dem Drenthe-Plateau rund bis oval ausgebildet und nicht tiefer als 2 m, während sie in Ostfriesland eine ovale Form aufzeigen und mit Tiefen von bis zu 3,8 m u.GOK nahezu doppelt so tief sind.

Die Anwendung des Leitfadens an Hohlformen im eigenen Untersuchungsgebiet Timmelerfeld und der Demonstration an den ausgewählten, repräsentativen Beispielen auf dem niederländischen Drenthe-Plateau und in Ostfriesland hat eindrucksvoll gezeigt, dass dieser sehr gut funktioniert und man somit ein hervorragendes Werkzeug in Händen hält.

Zudem ist zu betonen, dass der Leitfaden ein Meilenstein und Wegweiser in der Bestimmung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen darstellt. Ebenso ist deren Differenzierung möglich.

Weiterhin ist zu empfehlen, den neu entwickelten Leitfaden in allen künftigen Untersuchungen von abflusslosen Hohlformen für die Bestimmung von weichsel-kaltzeitlichen Paläopingos und Flugsanddepressionen anzuwenden.

## Literaturverzeichnis

- AD-HOC-AG GEOTOPSCHUTZ (1996). Arbeitsanleitung Geotopschutz in Deutschland - Leitfaden der Geologischen Dienste der Länder der Bundesrepublik Deutschland / Geotope Conservation in Germany - Guidelines of the Geological Surveys of the German Federal States. *Angewandte Landschaftsökologie*, 10: 1-105, Bonn-Bad Godesberg.
- BERENDSEN, H.J.A. (2004): De vorming van het land. Inleiding in de geologie en de geomorfologie. – Koninklijke van Gorcum, Assen.
- BOCKHEIM, J.G. & HALL, K.J. (2002): Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica, *South African Journal of Science*, 98, p. 83.
- BOHNCKE, S., WIJMSTRA, L., VAN DER WOUDE, J., SOHL, H. (1988), *The Late-Glacial infill of three lake succesions in the Netherlands: Regional vegetational history in relation to NW European vegetational developments*. *Boreas* 17, pp. 385-402.
- BOND, J.D. & LIPOVSKY, P.S. (2011). Surficial geology, soils and permafrost of the northern Dawson. Range. In: Yukon Exploration and Geology 2010, K.E. MacFarlane, L.H. Weston and C. Relf (eds.), Yukon Geological Survey, p. 19-32.
- BOSIKOV, N.P. (1988): General moistening or the area and intensity of cryogenic processes. - Permafrost Fifth International Conference, Proceedings, Vol. 1, August 2-5-1988, Sc. Editor K. Senneset, Tapir publishers, Trondheim, Norway: 695 – 699.
- BROUCHKOV, A., FUKUDA, M., FEDOROV, A., KONSTANTINOV, P. & IWAHANA, G. (2004): Frost Heaving and Related Landform, Mongolia. – In: FRENCH, H. M. [Hrsg.]: Permafrost and Periglacial Processes, 15: 81 – 87. DOI: 10.1002/pp. 473.
- CASPERS, G. & MERKT, J. & MÜLLER, H. & FREUND, H. (2002): The Eemian Interglaciation in North-western Germany. *Quaternary Research* 58, 49- 52, DOI: 10.1006/qres. 2002. 2341.
- CATT, J.A. (1992): *Angewandte Quartärgeologie*, [Hrsg.]: Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 358 S, 129 Abb., 14 Farbtafeln, 31 Tabellen; ISBN 3-432-99791-4.
- CZUDEK, T. & DEMEK, J. (1973): Die Reliefentwicklung während der Dauerfrostbodendegradation. – Academia Nakladatelství Československé Akademie VĚD.
- DAVIES, S.M., HOEK, W.Z., BOHNCKE, S.J.P., LOWE, J.J., PYNE O'DONNELL, S. & TURNEY, C.S.M. 2005 (May): Detection of Lateglacial distal tephra layers in the Netherlands. *Boreas*, Vol. 34, pp. 123–135. Oslo. ISSN 0300-9483.
- EHLERS, J. (1990): Gliederung der eiszeitlichen Ablagerungen in Norddeutschland. - In EHLERS, J. [Hrsg.]: *Eiszeitforschung*: 159 - 172; Darmstadt (Wissensch. Buchges.) ISBN 3-534-05063-0.
- EHLERS, J. (1994): *Allgemeine und historische Quartärgeologie*, [Hrsg.]: Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 358 S, 176 Abb.; ISBN 3-492-259-115.
- EHLERS, J. (2011): *Das Eiszeitalter*, [Hrsg.]: Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 363 S., 322 Abb. in Farbe; ISBN 978-3-8274-2326-9.
- EHLERS, J. (2020): *Das Eiszeitalter*, [Hrsg.]: Springer Verlag Berlin, 2. Aufl., ix, 416 S., 24 s/w-Abb. 351 Farb- Abb., Bibliographien; ISBN 978-3-662-60581-3.
- EHLERS, J. & GIBBARD P. (2004): Extent and chronology of Quaternary glaciation. *Episodes*, 31(2): 211 – 218.
- ENGELS, S., BAKKER, M.A.J., BOHNCKE, S.J.P., CERLI, C, HOEK, W.Z., JANSEN, B., PETERS, T., RENSSSEN,, H., SACHSE, D., VAN AKEN, J.M., VAN DEN BOS, V., VAN GEEL, B., VAN OOSTROM, R., WINKELS, T. & WOLMA, M. (2016): Centennial-scale lake-level lowstand at Lake Uddelermeer (The Netherlands) indicates changes in moisture source region prior to the 2.8-kyr event. In: *The Holocene*, Vol. 26 (7), 1075–1091. DOI: 10.1177/09596836166632890.
- ERDTMAN, G. (1934): Über die Verwendung von Essigsäureanhydrid bei Pollenuntersuchungen. *Svensk. Bot. Tidsskr.* 28, 354 S.
- FÆGRI, K. & KALAND, P.E. & KRZYWINSKI, K. (1989): *Textbook of pollen analysis*. 4. Aufl., 328 S., J. Wiley, Chichester.
- FIRBAS, F. (1949): *Waldgeschichte Mitteleuropas*, Bd. 1: *Allgemeine Waldgeschichte*. Jena, Fischer. 480 S.
- FIRBAS, F. (1952): *Waldgeschichte Mitteleuropas*, Bd. 2: *Waldgeschichte der einzelnen Landschaften*. Jena, Fischer. 256 S.
- FIRBAS, F. (1954): Die Vegetationsentwicklung im Spätglazial von Wallensen im Hils. – *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen. Math.-Physik. Kl. Ilb, Bio.-Physiol. Chem. Abt.* 1954, 37 – 50.

- FELDMANN, L. & BIRKHOLZ, B. (2002): Moor- und Heidelandschaften in Norddeutschland - Akad. Geowiss. Hannover, **20**, 33 – 40.
- FRENCH, H.M. (1981): Periglacial geomorphology and permafrost. – In: ARNOLD, E., [Hrsg.], ISSN 0309-1333: Progress in Physical Geography, **5**: 267 – 273, London.
- FRENCH, H.M. (1996): The Periglacial Environmental, Second Edition. – 339 S., London (Addison Wesley Longman Limited), ISBN 0-582-30536-5.
- FRENCH, H.M. (2007): The Periglacial Environmental, Third Edition. – 478 S., John Wiley & Sons, ISBN-10: 047086589X, ISBN-13: 978-0470865897.
- FRENCH, H.M. (2008): Recent contributions to the study of past permafrost. Permafrost and Periglacial Processes, **19**: 179 – 194.
- FREUDENBERG, F. (2008): Das Doove Meer, ein Relikt aus der Eiszeit, [Hrsg.]: Festschrift zu 600 Jahre Rahe - Uns Dörp fiert van 6. bit 13. Juli 2008: 34 – 36.
- FREUND, H. (1995): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Moor am Upstalsboom, Ldkr. Aurich (Ostfriesland, Niedersachsen). Probleme der Küstenforschung **23**, 117 – 152.
- FREUND, H. (2000): Die Bohrung Rathenow (Landkreis Havelland, Brandenburg) – eine Abfolge limnischer Sedimente von Saale-Spätglazial, Eem-Interglazial bis in das Weichsel-Frühglazial. Brandenburgische Geowiss. Beitr., **7**, S. 151 – 159.
- FREUND, H. & CASPERS, G. (1997): Die Vegetations- und Klimaentwicklung des Weichsel-Früh- und -Hochglazial. Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, **4**: 249 S. ISBN: 3-932537-02-5.
- DE GANS, W. (1980): Outlines of the Late Quarternary history of the Drentsche AA Valley (Drente, The Netherlands). – Geologie en Mijnbouw, **59**: 353 – 362.
- DE GANS, W. (1981): Stratigraphy, palynology and radiocarbon data of Eemian and early Weichselian fluvial deposits in the Drentsche Aa valley system (Drente, Netherlands) – Geol. Mijnbouw **60**: 193-202.
- DE GANS, W. (1982): Location, Age and Origin of Pingo Remnants in the Drente AA Valley Area (The Netherlands). – Geologie en Mijnbouw, **61**: 147 – 158. ISSN 0016-7746/82/ 6102-0147.
- DE GANS, W. (1988): Pingo scars and their identification. Advances in Periglacial Geomorphology, 299-332.
- DE GANS, W. (2008): Het mekelmeer: een bijzondere pingoruïne. Grondboor & Hamer, **1**, 2-6.
- DE GANS, W. & CLEVERINGA, P. (1981): Stratigraphy, palynology and radiocarbon data of the Middle and Late Weichselian deposits in the Drentsche AA Valley (The Netherlands). In: A.J. van Loon (ed.): Quaternary Geology: a farewell to A.J. WIGGERS – Geologie en Mijnbouw, **60**: 447 – 452.
- DE GANS, W. & CLEVERINGA, P. (1986): Het Ballooërveld – Grondboor en Hamer **40**: 137 - 150.
- DE GANS, W. & SOHL, H. (1981): Weichselian Pingo Remnants and Permafrost on the Drente Plateau (The Netherlands). In: VAN LOON [Hrsg.]: Quaternary Geology- Geologie en Mijnbouw, **60**: 447 – 452. ISSN 0016-7746/81/6003-0447.
- GARLEFF, K. (1968): Geomorphologische Untersuchungen an geschlossenen Hohlformen ("Kaven") des Niedersächsischen Tieflandes. Göttinger Geographische Abhandlungen **44**, 142 S., 13 Abb.; Im Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Göttingen.
- DE GROOT, TH. & CLEVERINGA, P. & KLINJNSTRA, B. (1987): Frost-mounds Scars and the Evolution of a late Dryas Environment (Northern Netherlands). – Geologie en Mijnbouw, **66**: 239 – 250.
- GRIM, S. (2014): Abflusslose Senken – Instrument in der Landschaftsanalyse und Indikatoren rezenter Krustenbewegungen. Dissertation im Promotionsfach Geologie/Paläontologie am Fachbereich Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 209 Seiten.
- GROSSE, G., SCHIRRMEISTER, L., KUNITSKY, V. V. & HUBBERTEN, H.-W. (2005): The Use of Corona Images in Remote Sensing of Periglacial Geomorphology: An Illustration from the NE Siberian Coast. – In: FRENCH, H.M. [Hrsg.]: Permafrost and Periglacial Processes, **16**: 163 – 172. DOI: 10.1002/pp. 509, ISSN 1045-6740.
- GURNEY, S.D. (1998): Aspects of the Genesis and Geomorphology of Pingos: Perennial Permafrost Mounds. – Progress in Physical Geography, **22 (3)**: 307 – 324.

- HAGEN, D. (1999): Der Naturraum des Landes Oldenburg, In: Dietrich Hagen, Heinrich Schmidt, Günter König: Oldenburg, Land zwischen Nordsee und Dammer Bergen, Oldenburg 1999, S. 7-16.
- HAHNE, J. & KEMLE, S. & MERKT, J. & MEYER, K.-D. (1994): Eem-, weichsel- und saalezeitliche Ablagerungen der Bohrung "Quakenbrück GE 2". Geol. Jb., **A 134**, S. 9 – 69, Hannover.
- HARTUNG, W. (1971): Die erdgeschichtliche Entwicklung des oldenburgisch-ostfriesischen Küstenraumes. – In MÜLLER, W. & BERTELSMEIER, E. [Hrsg.]: Institut für Geographie und Länderkunde der Universität und der Geographischen Kommission für Westfalen, Münster: Heft **25**: 62 – 80.
- HEMPELMANN, N. (o. Datum): Permafrost und Frostphänomene in Westsibirien. In Mittelseminar zu Landeskunde Westsibiriens, Prof. Dr. Christian Opp Philipps-Universität Marburg - Fachbereich Geographie. 28 S., 14 Abbildungen.
- HARRIS, C. & PETER, D. (2001): The Permafrost is melting. In: European Research news Centre, 02.10.2001. <http://ec.europa.eu/research/news-centre/en/env/01-09-env01.html>.
- HARRIES, C. & ROSS, N. (2007): Pingos and Pingo Scars. In: Elias, S.A. [Hrsg.]: Encyclopedia of Quaternary Science. 2200-2207. Amsterdam. Elsevier.
- HEINZE, A., HOEK, W.Z. & TAMMEN, M. (2012): Pingo-Landschaft in Ostfriesland. Siedlungs- und Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet (SKN) **36**, 111 – 999, Rahden/Westf. 2012, 4 S., 1 Tab. und 5 Abb..
- HEINZE, A., TAMMEN, M. (2014): Pingo-Ruinen in NW-Niedersachsen (Geotop – Biotop – Bodendenkmal). – 78. Tagung NDG Quartär in Norddeutschland in Krefeld. S. 22 – 25, 5 Abb..
- HEIRI, O., CREMER, H., ENGELS, S., HOEK W.Z., PEETERS, W. & LOTTER, A.F., 2005. Lateglacial summer temperatures in the Northwest European lowlands: a chironomid record from Hijkermeer, the Netherlands. Quaternary Science Reviews 26 (2007) 2420–2437.
- HEUNISCH, C., CASPERS, G., ELBRACHT, J., LANGER, A., RÖHLING, H.-G., SCHWARZ, CARSTEN, C. & STREIF, H. (2007): Erdgeschichte von Niedersachsen – Geologie und Landschaftsentwicklung. [Hrsg.]: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Vers. 11.03.2014.- Geoberichte **6**, S. 3 – 85, 57 Abb., 18 Tab., Hannover, ISSN 1864-7529.
- HEUNISCH, C., CASPERS, G., ELBRACHT, J., LANGER, A., RÖHLING, H.-G., SCHWARZ, CARSTEN, C. & STREIF, H. (2017): Erdgeschichte von Niedersachsen – Geologie und Landschaftsentwicklung. [Hrsg.]: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Vers. 28.05.2018.- Geoberichte **6**, S. 3 – 84, 57 Abb., 18 Tab., Hannover, ISSN 1864–6891 (Print), ISSN 1864–7529 (digital).
- HOEK, W.Z. (1997), Late-glacial and early Holocene climate events and chronology of vegetation development in The Netherlands. Vegetation History and Archaeobotany 6(4), pp. 197 – 213.
- HÖFLE, H.C., MERKT, J. & MÜLLER, H. (1985): Die Ausbreitung des Eem-Meeress in Nordwestdeutschland. - In Eiszeitalter u. Gegenwart, **35**, 49-59, 4 Abb..
- HVIDTFELDT CHRISTIANSEN, H. (1997): Open System Pingos in Mellefjord, Disko, Central West, Greenland: A Reply to Gurney and Worsley. - Geografisk Tidsskrift - Danish Journal of Geography, **97**: 157 – 159. ISSN 0016-7223.
- JANSSEN, T. (1967): Gewässerkunde Ostfrieslands. [Hrsg.]: Ostfriesische Landschaft, 317 S., 73 Abb., 35 Tab., Anh., Aurich.
- JONES, B.M., GROSSE, G., HINKEL, K.M., WALKER, C.D. Arp, S., BECK, R.A. and GALLOWAY, J.P.. Assessment of pingo distribution and morphometry using an IfSAR derived digital surface model, western Arctic Coastal Plain, Northern Alaska. Geomorphology, 138:1-14, 2012.
- KARTE, J. (1979): Räumliche Abgrenzung und regionale Differenzierung des Periglaziärs. Bochumer Geographische Arbeiten **35**: 211 Seiten.
- Lexikon der Geowissenschaften (Bd. 1-5, 2000 - 2002): Spektrum Akademischer Verlag, [Hrsg.]: Bd. 1: A – Edi (2000): ISBN 3-8274-0299-9, Bd. 2: Edu – Insti (2000): ISBN 3-8274-0421-5, Bd. 3: Instr – Nor (2001): ISBN 3-8274-0422-3, Bd. 4: Nord – Sillo (2001): ISBN 3-8274-0423-1, Bd. 5: Silc – Z (2002): ISBN 3-8274-0424-X.
- LANGE, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, New York. 117 Abbildungen, 54 Tabellen.
- LBEG (2004): Tabellarische Zusammenstellung zur Gliederung des Quartärs, Holozän. [Hrsg.]: LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Geozentrum Hannover, Stand: Mai

- 2004, Quellen: LITT, T., BEHRE, K.-E., MEYER, K.-D., STEPHAN, H.-J. & WANSA, S. (2007): Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes. *Eiszeitalter und Gegenwart* **56 (1/2)**, 7-65; BEHRE, K.-E. (1995): Die Entstehung und Entwicklung der Natur- und Kulturlandschaft der ostfriesischen Halbinsel.- In: BEHRE, K.-E. & VAN LENGEN, H. [Hrsg.]: *Ostfriesland – Geschichte und Gestalt einer Kulturlandschaft. – Aurich (Ostfriesische Landschaft)*.
- LBEG (2007): Tabellarische Zusammenstellung vom LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Geozentrum Hannover [Hrsg.] zum Quartär in Niedersachsen und benachbarten Gebieten – Gliederung, geologische Prozesse, Ablagerungen und Landschaftsformen. Streif, H. (2004) mit Beiträgen von CASPERS, G. FREUND, H., GEYH, M.A., KLEINMANN, A., MERKT, J., MEYER, K.-D., MÜLLER, H., ROHDE, P. & SCHWARZ, C. Stand: 01.08.2007
- LBEG (2014): Symbolschlüssel Geologie. Symbole für die Dokumentation geologischer Feld- und Aufschlussesdaten. LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Geozentrum Hannover [Hrsg.]. 7. Auflage der digitalen Fassung auf Basis der 3. Auflage von PREUSS, H; VINKEN, R. & VOSS, H.-H. - Herausgegeben vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover 1991 (ISBN 3-9801097-2-0).
- LBEG (2017): Tabellarische Zusammenstellung zur Gliederung des Quartärs, Holozän. [Hrsg.]: LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Geozentrum Hannover, Stand: 03/2017, Quellen: LITT, T., BRAUER, A., GOSLAR, T., MERKT, J., BALAGA, K., MÜLLER, H., RALSKA-JASIEWICZOWA, M., STEBICH, M. & NEGENDANK, J.F.W. (2001): Correlation and synchronisation of Lateglacial continental sequences in northern central Europe based on annually laminated lacustrine sediments.- *Quaternary Science Reviews*, 20, 11:1233-1249; Oxford (Elsevier). BEHRE, K.-E. (1995): Die Entstehung und Entwicklung der Natur- und Kulturlandschaft der ostfriesischen Halbinsel.- S. 5-37. In: BEHRE, K.-E. & VAN LENGEN, H. (Hrsg.): *Ostfriesland - Geschichte und Gestalt einer Kulturlandschaft.- Aurich (Ostfriesische Landschaft)*. Numerisches Alter: International Chronostratigraphic Chart v. 2016/12: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-12.jpg>. Deutsche Stratigraphische Kommission [Hrsg.]; Redaktion: Menning, M. & Hendrich, A. (2016): *Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016*; Potsdam (GeoForschungsZentrum).
- LBEG (2018): Tabellarische Zusammenstellung vom LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Geozentrum Hannover [Hrsg.] zum Quartär in Niedersachsen und benachbarten Gebieten – Gliederung, geologische Prozesse, Ablagerungen und Landschaftsformen. Streif, H. (2004) mit Beiträgen von CASPERS, G. FREUND, H., GEYH, M.A., KLEINMANN, A., MERKT, J., MEYER, K.-D., MÜLLER, H., ROHDE, P. & SCHWARZ, C.. Numerisches Alter: International Chronostratigraphic Chart v. 2016/12: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-12.jpg>. Deutsche Stratigraphische Kommission [Hrsg.]; Redaktion: MENNING, M. & HENDRICH, A. (2016): *Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016*; Potsdam (GeoForschungsZentrum). Stand: 03.2018.
- LIEDTKE, H. (1981) *Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa: 160 S., Trier (Zentralausschuß für Deutsche Landeskunde)*.
- LITT, T., BRAUER, A. GOSLAR, T., MERKT, J., BALAGA, K., MÜLLER, H. RALSKA-JASIEWICZOWA, M., STEBICH, M. & NEGENDANK, J. F. W. (2001): Correlation and synchronisation of Lateglacial continental sequences in northern central Europe based on annually laminated lacustrine sediments. *Quaternary Science Reviews* **20**, 1233 – 1249.
- LITT, T., SCHMINKE, H.-U. & KROMER, B. (2003): Environmental response to climate and volcanic events in central Europe during the Weichselian Lateglacial. *Quaternary Science Reviews* **22**, 7 – 32.
- LITT, T., BEHRE, K.-E., MEYER, K.-D., STEPHAN, H.-J. & WANSA, S. (2007): Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes. *Eiszeitalter und Gegenwart* **56 (1/2)**, 7 – 65.
- LOOK, E.-R. (1997): Geotopschutz und seine rechtlichen Grundlagen. Proc. 1. Internat. Tagung der Fachsektion Geotopschutz in Clausthal-Zellerfeld, 1.-3. Mai 1997; Dt. geol. Ges. Schriftenreihe 5: 1 – 168 u. Niedersächs. Akad. der Geowissenschaften 12: 1 – 168, 41 Abb., 16 Tab., 70 Taf., Hannover. [Hrsg.].
- LOMBORINCHEN, R. (2000): Frost Heaving and Related Landform, Mongolia. – In: FRENCH, H.M. [Hrsg.]: *Permafrost and Periglacial Processes*, **11**: 85 – 90.

- LÜDERITZ, S. (1992): Skript mit dem Titel „Astronomie-AG geht Frauenmeer auf den Grund“ für den Artikel in der Ostfriesischen Zeitung (OZ). – Ostfriesische Zeitung (OZ) vom 01.02.1992, **27**, S. 10. (Wiesmoor – Großefehn) [Hrsg.].
- MACKAY, J.R. (1962): Pingos of the Pleistocene Mackenzie Delta. – Geographical Bulletin (Dep. of Mines & Tech. Survey), **18**: 21 – 63, Ottawa.
- MACKAY, J.R. (1973): The Growth of Pingos, Western Arctic Coast, Canada. – Canadian Journal of Earth Science, **10**: 979 – 1004.
- MACKAY, J.R. (1979): Pingos of the Tuktoyaktuk Peninsula area, Northwest Territories. – Géographie physique et quaternaire, **33**: 3 – 61.
- MACKAY, J.R. (1987): Pingo Collaps and Paleoclimatic Reconstruction. – Canadian Journal of Earth Science, **25 (4)**: 995 – 511, Vancouver.
- MACKAY, J.R. (1988): The Birth and Growth of Porsid Pingo, Tuktoyaktuk Peninsula, District of Mackenzie. – ARCTIC VOL. **41**, No 4 (December 1988), p. 267 – 274.
- MACKAY, J.R. (1990): Seasonal Growth Bands in Pingo Ice. – Canadian Journal of Earth Science, **27 (8)**: 1115 – 1125. Vancouver.
- MACKAY, J.R. (1994): Pingos and Pingo Ice of the Western Arctic Coast, Canada. Terra 106 (1): 1 – 11.
- MACKAY, J.R. (1998): Pingo Growth and Collaps, Tuktoyaktuk Peninsula Area, Western Arctic Coast, Canada: A Long-Term Field Study. – Géographie physique et quaternaire, **52 (3)**: 271 – 323.
- MAARLEVELD, G.C. & VAN DER TOORN (1955): Pseudosölle in Noord-Nederland – Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen. 2e reeks 72: 344 – 360.
- MAARLEVELD, G.C. (1976): Periglacial phenomena and the mean annual temperature during the last glacial time in The Netherlands – Biul. Peryglac. **26**: 57 – 78.
- MARSH, B. (1987): Pleistocene Pingo scars in Pennsylvania. – Geology, **15**: 945 – 947.
- MECKE, A. (1995): Pollenanalytische Untersuchungen zur spät- und postglazialen Vegetations- und Klimageschichte im Landkreis Friesland. Probleme der Küstenforschung **23**, 11 – 49.
- MEYER, K.-D. (1973): Zur Entstehung abflussloser Hohlformen auf der Neuwalder Geest, Jahrbuch der Männer vom Morgenstern. Heimatbund an Elb- und Wesermündung, Bremerhaven. 53: S. 23 – 29.
- MEYER, K.-D. (1989): Permafrosthügel in Lappland und Spitzbergen – ein Forschungsbericht II. – Natur und Museum, **119 (1)**: 9 – 25, Frankfurt a.M.
- MENKE, B. & TYNNI, R. (1984): Das Eeminterglazial und das Weichselfrühglazial von Rederstall / Dithmarschen und ihre Bedeutung für die mitteleuropäische Jungpleistozän-Gliederung. – Geol. Jb., **A 76**: 120 S.
- MERKT, J. & KLEINMANN, A. (1998): Die Entstehung und Entwicklung des Wollingster Sees und seiner Ablagerungen. – Mitt. AG Geobot. Schleswig - Holstein und Hamburg, 57: 17 – 27, Kiel.
- VAN DER MEULEN, S. (1988): The Spatial Facies of a Group of Pingos Remnants on the Southeast Frisian Till Plateau (The Netherlands). – Geologie en Mijnbouw, 67: 61 – 74.
- MICHEL, F.A. (1994): Changes in Hydrogeologic Regimes in Permafrost Regions Due to Climatic Change. – In: FRENCH, H. M. [Hrsg.]: Permafrost and Periglacial Processes, **5**: 191 – 195.
- MOORE, P.D. & WEBB, J.A., COLLINSON, M.E. (1991): Pollen Analysis. 2. Aufl., 216 S., Blackwell, Oxford.
- MUELLER, K. (1997): Oberflächenstrukturen und Eigenschaften von Permafrostböden im nord-sibirischen Lena-Delta. – Jahresregister, Bd. 160, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde: 497 – 503, Weinheim (Wiley-VCH). ISSN 0044-3263/97/010-0497.
- MÜLLER, F (1959): Beobachtungen über Pingos – Detailuntersuchungen in Ostgrönland und in der kanadischen Arktis. Medd. om Grønland 153, 3, København.
- MÜLLER, F (1962): Analysis of some straphic observations and C<sup>14</sup> dates from two pingos in the Mackenzie Delta, N.W.T. Arctic 15.
- MURAWSKI, H. & MEYER, W. (2004): Geologisches Wörterbuch, [Hrsg.], Elsevier GmbH, München & Spektrum Akademischer Verlag, 11. Auflage, 262 S., 82 Abb., 7 Tabellen, ISBN 3-8274-1445-8.
- MURTON, J.B. & FRENCH, H.M. (1993): Thermokarst Involutions, Summer Island, Pleistocene Mackenzie Delta, Western Canadian Arctic. – In: FRENCH, H.M. [Hrsg.]: Permafrost and Periglacial Processes, **4**: 217 – 229.

- O'CONNEL, M. (1986): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte aus dem Lengener Moor, Friesland (Niedersachsen). *Probleme der Küstenforschung* **16**, 171 – 193.
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde: unter besonderer Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands als Quellen zur Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte. 719 S., Wachholtz Verlag, Neumünster, ISBN 3-529-06150-6.
- PARIS, F.P., CLEVERINGA, P. & DE GANS, W. (1979): The Stokersdobbe: geology and palynology of a deep pingo remnant in Friesland (Netherlands) - *Geologie Mijnbouw*, **58** 33 - 38.
- PETZELBERGER, B.E.M., BEHRE, K.-E. & GEYH, M.A. (1999): Beginn der Hochmoorentwicklung und Ausbreitung der Hochmoore in Nordwestdeutschland – Erste Ergebnisse eines neuen Projektes – *TELMA*, **29**, 21 – 28.
- PISSART, A. (1989): Frost Mounds of the Present Day Arctic and Remnants of Periglacial Mounds in Belgium. – In: BAHRENBURG, G., STÄBLEIN, G. & TAUBMANN, W. [Hrsg.]: *Polar Geomorphology, Abstract and Papers, ICG-Symposium*, **5**, "Polar Geomorphology": 35, Bremen. ISBN 3-88722-211-3.
- PISSART, A. (1990): *Advances in Periglacial Geomorphology*. – *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband* **79**: 119 – 131, Berlin, Stuttgart.
- PISSART, A. (2000): Remnants of Lithalsas of the Hautes Fagnes, Belgium: A Summary of Present-day Knowledge. – In: FRENCH, H.M. [Hrsg.]: *Permafrost and Periglacial Processes*, **11**: 327 – 355.
- PISSART, A. & FRENCH, H.M. (1977): – The Origin of Pingos in Regions of Thick Permafrost, Western Canadian Arctic. – *Quaestiones Geographicae*, **4**: 149 – 160, UAM Uniwersytet im adama mickiewica w poznanu.
- PLOEGER, P.L. & GROENEMAN-VAN WAATERINGE, W. (1964): Late Glacial pingo and valley development in the Boorne region near Wijnjeterp, province of Friesland, Netherlands – *Biul. Peryglacj.* **13**: 199 – 223.
- RACHOR, E. (2015): Pingos, besondere Bildungen in Permafrostgebieten und ihre Spuren in Norddeutschland. In: Lozán, J. L., H. Grassl, D. Kasang, D. Notz & H. Escher-Vetter (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*. pp. 94 – 98.
- ROMANOVSKII, N. N., HUBBERTEN, H.-W., GAVRILOV, A. V., TUMSKOY, V. E., TIPENKO, G. S., GRIGORIEV, M. N. & SIEGERT, CH. (2000): Thermokarst and Land – Ocean Interactions, Laptev Sea Region, Russia. – In: FRENCH, H.M. [Hrsg.]: *Permafrost and Periglacial Processes*, **11**: 137 – 152.
- ROSS, N., HARRIS, C., CHRISTIANSEN, C., & BRABHAM, P.J. (2005): Ground penetrating radar investigations of open system pingos, Adventdalen, Svalbard. - *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, **59**: 129 – 138. Oslo. ISSN 0029-1951.
- SMIDT, C., WOLTERS, S., ZOLITSCHKA, B. (2017): Pingo-Puinen: Nachweis und flächenhafte Verbreitung periglazialer Relikte südlich von Friedeburg (Ostfriesland). *Nachrichten des Marschenrates* **54/2017** [Hrsg.], S. 39 – 50.
- SMITH, S.L. & BURGESS, M.M. (2003): The Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P), Status Report July 2003 - Thermal Monitoring Component. Geological Survey of Canada, Natural Resources Canada. <http://gsc.nrcan.gc.ca/permafrost/gtnp/>.
- SCHOKKER, J., WEERTS, H.J.T., WESTERHOFF, W.E., BERENDSEN, H.J.A. & DEN OTTER, C. (2007): Introduction of the Boxel Formation and implications for the Quaternary lithostratigraphy of the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, **86** – 3, 197 – 210.
- SCHROTT, L. (1999): Typische und atypische Permafrostvorkommen – Klimatische Bedingungen, geomorphologische Indikatoren und Prospektionsmethoden. – In MÖSELER, B. M. & MOLENDRA, R. [Hrsg.]: *Lebensraum Blockhalde*: 13 – 26.
- SEEDORF, H.H. & MEYER, H.-H (1992): *Landeskunde Niedersachsen*, [Hrsg.]: Neumünster Wachholtz 1996, 2.Bd.; Bd. 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung (ISBN-10: 3529051128).
- SEEDORF, H.H. & MEYER, H.-H (1996): *Landeskunde Niedersachsen*, [Hrsg.]: Neumünster Wachholtz 1996, Bd. 2: Niedersachsen als Wirtschafts- und Kulturräum (ISBN-13: 978-3529051128).
- SIEBELS, G. (1954): Zur Kulturgeographie der Wallhecke. Ein Beitrag zur Lösung des Heckenlandschaftsproblems auf Grund kulturgeographischer Untersuchungen im Landkreis Aurich (Ostfriesland). Rautenberg & Möckel, Leer (Ostfriesland) [Hrsg.].

- SOLOVIEV, P.A. (1973): Thermokarst Phenomena and Landforms Due to Frostheaving in Central Yakutia. – *Biuletyn Peryglacyjny*, **23**: 135 – 155, Łódź.
- STEPHAN, H.-J., MENKE, B. (1977): Untersuchungen über den Verlauf der Weichsel-Kaltzeit in Schleswig-Holstein. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, Supplement-Band **27**: 12 – 28.
- STRATA, H. (1975): Grundlagen der modernen Biologie, Bd. 13, Pollen und Sporenkunde. 127 Abbildungen, 21 Tabellen. – Fischer Verlag [Hrsg.].
- SUCK, R., BUSHART, M., HOFMANN, G., SCHRÖDER, L., BOHN, U. (2010): Karte der Potentiellen Natürlichen Vegetation Deutschlands, Maßstab 1 : 500 000, 6 Karten mit Legende. [Hrsg.]: BfN Bundesamt für Naturschutz, Bonn – Bad Godesberg 2010. ISBN 978-3-7843-3860-6.
- TILLY, K. (2014): Unbekannte Eiszeitrelikte in Ostfriesland – Pingoruinen. Diplomarbeit im Institut für Landschaftsökologie Westfälische Wilhelm-Universität Münster.
- TRAUERNICHT, R. (2008): Erlebnisse des Fehn-Schiffers Rolf Trauernicht (Tullum) von 1936 – 1952.
- VAN BEEK, R., CANDEL, J.H.J., QUIK, C., BOS, J.A.A., GOUW-BOUMAN, M.T.I.J., MAKASKE, B., MAAS, G.J. (2019): The landscape setting of bog bodies: Interdisciplinary research into the site location of Yde Girl, The Netherlands. *The Holocene 2019*, Vol. 29(7) 1206 – 1222.
- VAN DEN BERGHE, J. & PISSART, A. (1993): Permafrost Changes in Europe During the Last Glacial. – In: FRENCH, H.M. [Hrsg.]: *Permafrost and Periglacial Processes*, **4**: 121 – 135.
- VAN DER HAMMEN, T. & WYMSTRA (1971): The Upper Quarternary of the Dinkel Valley – Meded. Rijks Geol. Dienst NS **22**: 55 – 213.
- WALTHAM, T. (2003): Pingos of Tuk. – *Geology Today*, **19 (6)**: 212 – 215. ISSN 0266-6979.
- WASHBURN, A.L. (1979): *Geocryology. A survey of pleniglacial processes and environments*. London: Edward Arnold. 406pp.
- WILDEVANG, D. (1928): Auszug aus „Der Boden Ostfrieslands“.
- WILDEVANG, D. (1935): Erläuterungen zu Blatt Aurich (Nr. 1106) [2510], Holtrop (Nr. 1107) [2511], Hesel (Nr. 1198) [2611]. – 49 S. Preußische Geologische Landesanstalt Berlin [Hrsg.].
- WILDEVANG, D. (1938): Die Geologie Ostfrieslands – Abhandlung, Preußische Geologische Landesanstalt Berlin, N.F. 181: 211 S., 36 Abb., 23 Taf., 1 geol. Übersichtskarte. 1:100.000 Berlin.
- WOLTERS, S. (2023): Der Pingo von Esens-Nordorf – eine vegetationsgeschichtliche Voruntersuchung. *Nachrichten des Marschenrates* **20/2023** [Hrsg.], S. 69 – 75.
- YOSHIKAWA, K. (1991): Age of Growth of Two Pingos, Sarqaq, West Central Greenland. – In: FRENCH, H. M. [Hrsg.]: *Permafrost and Periglacial Processes*, **2**: 245 – 252.
- YOSHIKAWA, K. & HINZMAN, L.D. (2003): Frost Heaving and Related Landform, Mongolia. – In: FRENCH, H.M. [Hrsg.]: *Permafrost and Periglacial Processes*, **14**: 151 – 160. DOI: 10.1002/pp. 451.
- ZAGWIN, W.H. & VAN STAALDUINEN (1975): Indeling van het Kwartair op grond van veranderingen in vegetatie en klimaat. In: *Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland – Rijks Geol. Dienst (Haarlem)*: 109 – 114.
- ZAGWIN, W.H. & VAN STAALDUINEN (1975): *Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland – Rijks Geol. Dienst (Haarlem)*: 134pp.
- Zepp, H. (2002): *Geomorphologie – Eine Einführung*: 354 S., Paderborn (Schöningh)
- ZHANG, T., BARRY, R.G., KNOWLES, K., HEGINBOTTOM, J.A. & BROWN, J. (1999): Statistics and characteristics of permafrost and ground ice distribution in the Northern Hemisphere. *Polar Geography* **23 (2)**, pp. 147 – 169.

### Unveröffentlichte Literatur

- FREUND, H. (2007): Seminar am ICBM WHV zum Thema „wichtige Pollenkörner in Nordwestdeutschland.“ vom 05.03. bis 09.03.2007.
- HAGEN, D. (2010): Kurzfassung eines Vortrages zur Fachtagung Erdkunde im RPZ Aurich am 18.11.2010: „Erdkundeunterricht vor der Tür – Die Weichsel-Kaltzeit in Ostfriesland“, 6 Seiten.
- MEYER, K.-D. & MERKT, J. (1995, unveröff.): Kurzbericht über geologische Untersuchungen am „Frauenmeer“ bei Aurich.
- RIEDEL, G. (2006, unveröff.): Entstehung (Genese) pleniglazialer, weichsel-kaltzeitlicher Pingos auf dem Drenthe-Plateau. - Tagesexkursion zu den Pingoruinen auf dem niederländischen Drenthe-Plateau, südlich von Groningen. 7 Seiten, 3 Abbildungen und 8 Fotos.

RIEDEL, G. (2007, unveröff.): Pleniglaziale, spätweichseiszeitliche Pingoruinen und die Kulturgeschichte des Ballooërvelds im Drenthe-Plateau, eine Schülerexkursion in das niederländische Drenthe-Plateau, südlich von Groningen. 6 Seiten und 18 Abbildungen.

### Literatur- und Bildquellen aus dem Internet

Google-Karten: <https://www.google.de/maps>: Auszug aus ©2010 Google Kartendaten © 2010 Tele Atlas (20.09.2010, 18:00).

Google-Luftbilder: [www.google.de/intl/de/earth](http://www.google.de/intl/de/earth): © 2014 Google, Google Earth - © 2009 GeoBasis-DE/BKG Image, © 2014 DigitalGlobe (16.06.2014, 12:00).

Google-Luftbilder: <https://www.google.de/maps/@53.4523411,7.4328855,945m/data=!3m1!1e3> (12.09.2014, 09:20).

Google-Luftbilder: <https://www.google.de/maps/@53.4571783,8.862848,3785m/data=!3m1!1e3> (12.09.2014, 09:40).

<http://atlas.gc.ca/site/english/maps/environment/land/permafrost/1> (23.04.2005, 16:15, copyright ©: date modified: 2009-03-04).

<https://de.wikipedia.org/wiki/Ostfriesland> (12.09.2014, 13:00).

[https://de.wikipedia.org/wiki/Land\\_\(Deutschland\)#/media/Datei:Germany\\_location\\_map.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Land_(Deutschland)#/media/Datei:Germany_location_map.svg) (12.09.2014, 13:10).

<http://www.geodz.com/deu/d/> (05.11.2010, 16:45): GeoDataZone (GeoDZ). Das Lexikon der Erde, Geografie, Geologie, Geowissenschaften, Geodäsie, Topologie.-Copyright © 2010 GeoDZ.com. All rights reserved. Nutzungsbedingungen-Datenschutzbestimmungen Impressum.

<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/publikationen/permafrost.pdf>.

<http://www.goruma.de/Wissen/Naturwissenschaft/Geografie> (05.11.2010, 14:50).

<http://www.lbeg.niedersachsen.de/geologie/stratigraphie/767.html> (15.08.2014, 15:40).

<http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=GUEK500> (16.08.2014, 13:50).

[http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation\\_id=668&article\\_id=548&psmand=4](http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=668&article_id=548&psmand=4) (17.08.2014, 09:45): Stratigraphische Tabelle für Niedersachsen.

<https://www.deine-berge.de/Rechner/Koordinaten/Dezimal/53.375597,7.551727> (08.05.2017, 14:00).

<https://flumamen-ostfriesland.de/flumamenkarte> (19.03.2022, 08:30).

<https://provdrenthe.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e33aa94e821b4f3d94e4bbf44c2bdeb7> (18.12.2020, 10:30): Landschaftsbeheer Drenthe (2017). Inventarisatie Pingo's.

PARKS CANADA (1988 - 2002): "PINGO CANADIAN LANDMARK - NATURAL WONDERS & CULTURAL TREASURES". - <http://www.pc.gc.ca/eng/docs/v-g/pingo/sec3/natcul1.aspx>, copyright ©: date modified: 2010-09-07, 10:15).

PARKS CANADA (2023): Pingo Canadian Landmark <https://parks.canada.ca/lhn-nhs/nt/pingo/Environment/formation> (10.09.2023, 10:45).

UBA-HINTERGRUNDPAPIER (2006): „Klimagefahr durch tauenden Permafrost?“, Bundesumweltamt, Dessau, Fachgebiet I 4.1 „Klimaschutz“.

---

## ANHANG

### **A Geologische Interpretation**

- A.1 Geologischer Symbolschlüssel
- A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld
  - A.2.1 Pultermoor
  - A.2.2 Ostermoor
  - A.2.3 Kolk
  - A.2.4 Erlenstraße
  - A.2.5 Osterweide
  - A.2.6 Reitplatzweg
- A.3 Geologische Profilschnitte der Hohlformen im Timmelerfeld, Profilaufnahme: 2006 – 2008
  - A.3.1 Geologischer Profilschnitt B/B' (N-S) Pultermoor
  - A.3.2 Geologischer Profilschnitt D/D' (N-S) Ostermoor
  - A.3.3 Geologischer Profilschnitt F/F' (N-S) Kolk
  - A.3.4 Geologischer Profilschnitt H/H' (N-S) Erlenstraße
  - A.3.5 Geologischer Profilschnitt J/J' (N-S) Osterweide
- A.4 Hoch- und Rechtswerte sowie Höhen
  - A.4.1 Pultermoor
  - A.4.2 Ostermoor
  - A.4.3 Kolk
  - A.4.4 Erlenstraße
  - A.4.5 Osterweide
  - A.4.6 Reitplatzweg

### **B Pollenanalyse**

- B.1 Probenliste
  - B.1.1 Pultermoor
  - B.1.2 Ostermoor
  - B.1.3 Kolk
  - B.1.4 Erlenstraße
  - B.1.5 Osterweide
- B.2 Tabelle ausgezählter Pollenkörner
  - B.2.1 Pultermoor
  - B.2.2 Ostermoor
  - B.2.3 Kolk
  - B.2.4 Erlenstraße
  - B.2.5 Osterweide

### **C Demonstration Leitfaden**

- C.1 Demonstration an Beispielen in Ostfriesland (Fortsetzung)
- C.2 Demonstration an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau

### **D Stratigraphische Tabellen für Niedersachsen**

## **ERKLÄRUNG**

Gemäß §12 Abs. 2 (b) der Promotionsordnung der Mathematik und Naturwissenschaften der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg vom 05.09.2014, nicht amtliche Lesefassung 01.08.2022 (AM2022/061), erkläre ich, dass

- ich die Dissertation selbstständig verfasst und die benutzten Hilfsmittel vollständig angegeben habe,
- die Dissertation weder in ihrer Gesamtheit noch in Teilen einer anderen Hochschule zur Begutachtung in einem Promotionsverfahren vorliegt oder vorgelegen hat,
- ich die Regelungen zu guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg befolgt habe,
- ich im Zusammenhang mit dem Promotionsvorhaben keine kommerziellen Vermittlungs- oder Beratungsdienste (Promotionsberatung) in Anspruch genommen habe.

Aurich, den 08.06.2025

Gez. Gisela Sylke Riedel

## CURRICULUM VITAE

### PERSÖNLICHE DATEN

Name: Gisela Sylke Riedel  
Geboren: 29.01.1967

### AUSBILDUNG / STUDIUM

1987/88 – 1990 Studium der Chemie an der Christian – Albrecht – Universität zu Kiel (CAU)  
1990/91 – 1995/96 Studium der Geologie an der CAU Kiel und  
Abschluss als Diplom-Geologin

### BERUFLICHER WERDEGANG

Seit 10/2022 Bauüberwachung und Fachberatung für Nassbaggerarbeiten im Rahmen des Hafenneubaus in Cabinda, Angola, in der Sellhorn Ingenieurgesellschaft

08/22 – 09/22 Abteilungsleiterin bei der Wessling GmbH für die Geschäftsfelder Immobilien und Umwelt

10/16 – 02/22 Projektingenieurin und geotechnische Expertin in der Sellhorn Ingenieurgesellschaft: örtliche Bauüberwachung der Medienschließung in Flughäfen, Bauoberleitung und Fachgutachterin im Altlasten- und Abfallmanagement nach BBodSchG bzw. LAGA. Geotechnische und technische Beratung, Projektmanagement von Hafenneubau und -erweiterung gemäß FIDIC-Verträgen im internationalen Ausland. Koordinierung von Schulungsworkshops, Schulung von lokalem Personal, Erstellung von Schulungsberichten in der Projektsprache Englisch

10/17– 07/22 Freiberufliche Tätigkeit als Fachberaterin für Projektsteuerung und Baustellenkoordination

10/13 – 09/16 Freiberufliche Tätigkeiten als Fachgutachterin und Client Representative (Bauherrenvertretung) für verschiedene Ingenieurbüros im Abfallmanagement, Altlasten und Umwelttechnik, Bauherrenvertretung zur örtlichen Bauüberwachung von geotechnischen Untersuchungen für internationale Hafenbauprojekte, örtliche Bauüberwachung von (Nass-) Baggerarbeiten, Vertragsmanagement

04/12 – 09/13 Projektingenieurin im Ingenieurbüro IGB Ingenieurgesellschaften mbH: Geotechnische Untersuchungen und Bewertungen mit Berichterstellung, Überwachung (Supervision als Client Repräsentative) der künftigen Windfarmen in der Nordsee, Altlastenbewertung, Gutachten und Stellungnahmen, örtliche Bauüberwachung, Abfallmanagement

04/09 – 04/12 Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Senior Consultantin im Ingenieurbüro Fugro Consult GmbH, Bereich UTC: Geotechnische Untersuchungen für Offshore-Windfarmen mit Offshore-Einsätzen in Nord- und Ostsee, Projektbearbeitung und Projektmanagement, Bearbeitung und -wertung von Altlastenstandorten, Gutachten und Stellungnahmen

- men, Radioökologie, Untersuchungen (ODL-Messungen zur Erfassung der Anreicherung von natürlichen Radionukliden), Dokumentation gem. Regelwerken, StrlSchV, ASR
- 09/01 – 03/09 Sachbearbeiterin für Altlasten und Bodenschutz im Fachbereich Soziales, Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt Potsdam: Bearbeitung und fachtechnische Begleitung von Altlastenstandorten mit LHKW- und MKW-Schäden, von historischer Erkundung, Gefährdungsabschätzung bis zur Sanierungsuntersuchung und –vorplanung, Verfassen von behördlichen Sanierungsvereinbarungen, Freistellungs- sowie Abhilfebescheiden, Einführung und fachtechnische Begleitung/Koordinierung der Sachdatenbank GISAB sowie der fachspezifischen Software GeODin
- 02/96 – 06/05 Projektbezogene Tätigkeiten als freie Mitarbeiterin in verschiedenen Ingenieurbüros in Berlin und Brandenburg: Örtliche Bauüberwachung, fachtechnische Betreuung von Bohrarbeiten und Laboruntersuchungen, Durchführung von Bohrarbeiten, Gutachten und Stellungnahmen, Rückbau, Sanierungsuntersuchung und -vorplanung, Bearbeitung und -wertung von Altlastenstandorten, Organisation und Leitung von Fachtagungen im Bereich Altlasten und Umweltconsulting Prüfung der Abrechnungsunterlagen für Regenentwässerung und Regenrückhaltebecken

#### **VORTRÄGE / VERÖFFENTLICHUNGEN**

- 01/2025 / 10/2019 Dredging Works Basics: Vortrag im Rahmen der technischen Unterstützung des Dar es Salaam Maritime Gateway Program (DMGP), Implementation Team (PIT), Tansania, SIG In-House Training Workshops
- 01/2014 Environmental controlling and protection of air, soil and groundwater in Germany: Vortrag im Institut "The Construction Quality Inspection and Test Center of Changjiang River Scientific Research Institute, Ministry of Water Resources of China", Wuhan, unveröff.
- 12/2007 Implementation of European Law in National German Law, some examples in the State Capital Potsdam, Department for Environment and Natural Resources (Vortrag i.R. eines Training-Workshops, Veranstalter: World Bank ECSSD-ENV, Brüssel/Leuven)
- 09/2007 Präsentation der Sachdatenbank GISAB der Landeshauptstadt Potsdam, -Vortrag im Rahmen eines Erfahrungsaustausches der unteren Bodenschutz- und Abfallwirtschaftsbehörden des Landes Brandenburg in der Landeshauptstadt Potsdam, unveröff.
- 04/2004 Entwicklung und Einführung der Sachdatenbank GISAB (Geografisches Informationssystem Altlasten Bodenschutz der Landeshauptstadt Potsdam), -Vortrag i.R. einer Inhouse-Schulung des MLUV für die unteren Bodenschutz- und Abfallwirtschaftsbehörden des Landes Brandenburg, Potsdam, unveröff.
- 05/1996 Neue Themen, neue Konzepte – UVP-Änderungsrichtlinie und Plan-spiel, Tagungsbericht. – In: Fachzeitschrift UVP-report, Heft 5/96
- 1992/1993 Überkritisches Wasser -Vortrag i.R. des Forschungsseminars, Leitung: Prof. Dr. G. Mattheß, CAU Christian – Albrecht – Universität zu Kiel, unveröff.

Aurich, Juni 2025

# Anhang A Geologische Interpretation

## A.1 Geologischer Symbolschlüssel

Für die Dokumentation der geologischen Schichten wurde der Symbolschlüssel vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Geozentrum Hannover in der 7. Auflage, Oktober 2014, verwendet. Dieser geologische Symbolschlüssel ist hierarchisch aufgebaut und setzt sich aus einer Kombination von Kürzeln, Groß- und Kleinbuchstaben sowie auch Ziffern zusammen.

Jede zu beschreibende Schicht wird im Hinblick auf die verschiedenen Kriterien in insgesamt sieben Teilbereiche wie Tiefe / Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung und Gefüge gegliedert. Die einzelnen Teilbereiche sind durch Schrägstriche voneinander getrennt. Die vorgeschriebene Reihenfolge der Parameter wird strikt eingehalten. Bei fehlenden Teilbereichen wird dennoch der Schrägstrich gesetzt, um vor jeder Angabe die Anzahl von Schrägstrichen zu gewährleisten (z. B. Tiefe / Stratigraphie // Genese / Farbe / Konsistenz /). Im Einzelnen lauten die Teilbereiche wie folgt:

### 1. Tiefe //

Die Dimension wird in Metern [m] und Zentimetern [cm] angegeben.

### 2. / Stratigraphie //

/q	Quartär
/qh	Holozän
/qp	Pleistozän
/qw	Weichsel–Kaltzeit (Weichsel-Glazial)
/qee	Eem–Warmzeit
/qs	Saale–Komplex

### 3. // Petrographie //

*Hauptbestandteile:*

Die Hauptbestandteile werden mit einem Semikolon von den Nebenbestandteilen getrennt.

//X	Steine	//Fhf	Feindetritusmudde
//G	Kies	//Ftm	Tonmudde
//gG	Grobkies	//Fum	Schluffmudde
//mG	Mittelkies	//Fsm	Sandmudde
//fG	Feinkies	//Hn	Niedermoortorf
//gS	Grobsand	//Hh	Hochmoortorf
//mS	Mittelsand	//Hc	Seggentorf
//fS	Feinsand	//Hp	Schilftorf
//U	Schluff	//Hle	Erlenbruchtorf
//T	Ton	//Hlb	Birkenbruchtorf
		//Psg	Sphagnum

## A.1 Geologischer Symbolschlüssel

*Nebenbestandteile (Beimengungen und Attribute):*

Die Nebenbestandteile werden gemäß Symbolschlüssel durch ein Komma voneinander getrennt.

//t	tonig	//kf	kalkfrei
//u	schluffig	//kve	Kernverlust
//s	sandig	//bt	Bioturbat
//fs	feinsandig	//hw	durchwurzelt
//ms	mittelsandig	//wrz	Wurzelreste
//gs	grobsandig	//pf	Pflanzenreste
//g	kiesig	//hz	Holzreste
//fg	feinkiesig	//hc	Seggen–Radizellen
//mg	mittelkiesig	//hlb	Birkenholzreste
//gg	grobkiesig	//hle	Erlenholzreste
//x	steinig	//hs	<i>Sphagnum</i> -Reste
//k	kalkhaltig	//hpr	Schilfrhizome
//h	humos	//he	<i>Eriophorum</i> –Fasern (Wollgras)
//hm	anmoorig	//nf	Nachfall

*Attribute zur Petrographie:*

//hg1 – 10 Humositätsgrad 1 (sehr gering), 2 – 4 (gering), 5 (mäßig), 6 – 8 (hoch), 9 – 10 (sehr stark)

Minerale und Festgesteine als Nebenbestandteile:

“gl“	Glimmer	“b“	Biotit	“m“	Muskovit
^if	Flint	^k	Kalkstein	*Gn	Gneis
+Gr	Granit				

Quantifikatoren als Stärke und Qualifikatoren stehen nach den Nebenbestandteilen:

Quantifikatoren (Stärke):

1	sehr schwach
2	schwach
3	mittlere Stärke
4	stark
5	sehr stark

Qualifikatoren:

?	fraglich
!	sicher

*zusätzliche Angaben:*

ab()	abnehmend	oba()	oben abnehmend	un()	unten
bei()	bei	obz()	oben zunehmend	una()	unten abnehmend
fle()	fleckig	slr()	schlierig	unz()	unten zunehmend
flev()	Flecken von	slrv()	Schlieren von	zu()	zunehmend
lw()	lagenweise	sf()	streifig	zt ()	zum Teil
ob()	oben	voe()	vereinzelt	F:	Farbe
kant	kantig	org	organisch		

*zusätzlich für alle Schichten:*

//wf1 – 5 1 (wasserfrei), 2 (erdfeucht), 3 (feucht), 4 (nass), 5 (wassergesättigt) sowie die unter Petrographie verwendeten Abkürzungen.

## A.1 Geologischer Symbolschlüssel

### 4. /// Genese ////

///f	fluviatil	///Mg	Geschiebemergel
///gf	glazifluviatil	///Lg	Geschiebelehm
///gl	glazilimnisch	///og	organogen
///y	anthropogene (künstliche) Auffüllung	///l	limnisch
///bo	Boden	///a	äolisch

### 5. //// Farbe ///

Hauptfarben:

////bl	blau	////ro	rot	////ge	gelb
////bn	braun	////sw	schwarz	////gn	grün
////gr	grau	////we	weiß		

Mischfarben (Sonderfarben):

////be	beige	////oc	ocker
////or	orange	////rf	rostfarben
////bu	bunt		

Zusätze (in Kombination mit anderen Farben)

Zusätze (nicht kombinierbar, stehen immer alleine)

Farb-Vorsilben:

d	dunkel
h	hell
sm	schmutzig

Farb-Nachsilben:

slr	schlierig
fl	–fleckig [veraltet]
–	bis (zwischen zwei Farben bzw. anderen Angaben)
li	–lich (hinter die Farbangabe setzen)

### 6. ///// Konsistenz /

nur bei bindigen Schichten:

/////bre	breiig	/////stf	steif
/////wh	weich	/////sth	halbfest
/////ps3	plastisch	/////fe	fest
/////sla	schlammig		

### 7. ///// Schichtung

//ssu	ungeschichtet	A.2.1-1 <sub>1</sub>	cm–geschichtet
//ss	geschichtet	//ssmm	mm–geschichtet
//ssdm	dm–geschichtet	//bnv	Bänder von

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.1 Pultermoor

(Hochwert: 5916416,22; Rechtswert: 3403328,11)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF1-B 1

Hochwert: 5916418,53

Rechtswert: 3403329,64

Höhe: 0,89 m

Datum: 27.03.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,40/ /kve///  
1,60/ qh/Hn;hc,Makroreste(hp,wrz),hg3-4,ab 1,20m(hg4-5)/og/dbn-robn//  
2,00/ qh/Fum;fs1,h1//bn//  
2,25/ /kve///  
2,50/ qw/Fum;fs1,h1-2//bn-gebn//  
3,05/ qw/fS;u1-2,h2,kf/a/dbn,lw(gebn)//  
3,70/ qw/fS;u1,lw(u2),ab 2,57m(ms1)/a/gr,lw(dgr)//  
5,40/ qs/U;s,x,k,Kalkstückchen/Mg/gr/sth-fe/

##### HF1-B 1a Nachbohrung

Hochwert: 5916417,76

Rechtswert: 3403322,73

Höhe: 0,89 m

Datum: 13.09.2008

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

1,70/ qh/Hh;Torfmoose,Makroreste,hg5-6,ab 1,00m(hg7-8)/og/swbn/ab 1,00m(bre)/  
2,35/ qh-qw/Fum;h,s1,Makroreste,pf,wrz//orbn-bn//  
3,00/ qs/U;x2,s1,t1,lw(s2-3),kf/Lg/hgr-grbn/wh,pl3/

##### HF1-B 2

Hochwert: 5916406,24

Rechtswert: 3403270,50

Höhe: 1,43 m

Datum: 27.03.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,37/ qh/fS;u2-3,h/y-bo/dbn//  
1,20/ qw/fS;u2,h1-2,ab 0,50m(wf5)/a/bn-oc,un(grbn)//  
1,50/ qw/fS;u1,h1/a/grbn//  
2,50/ qw/Fum;fs,h2,lw(h3-4),kf//dgrbn,lw(robn)//  
2,80/ qw/Fum;fs1,h1,kf//grbn//  
2,90/ qs/mS;gs/gf/bu//  
5,60/ qs/U;t2,s2-3,lw(s3-4),x,G,kf/Lg/gr/wh-sth/  
6,00/ qs/U;s,x,k,Kalkstückchen,voe(X)/Mg/gr/sth/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.1 Pultermoor

(Hochwert: 5916416,22; Rechtswert: 3403328,11)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF1-B 3

Hochwert: 5916418,53

Rechtswert: 3403176,79

Höhe: 1,71 m

Datum: 27.03.2007

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**  
0,45/ qh/fs;u4,h3-4/y-bo/dbn-swbn//

##### HF1-B 3

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

2,86/ qw/fs;u1-2,lw(gs,fg),slr(bnro),ab 2,70m(zu(u3-4)),ab 2,80m(u4)/a/be,lw(gr),ab 2,80m(bebn),

2,97/ qs/fs;u4,gs,fg/gl/gr//

5,00/ qs/U;s,lw(ms1,gs1),x,voe(X),kf/Lg/gr/wh-sth/

##### HF1-B 4

Hochwert: 5916419,30

Rechtswert: 3403361,13

Höhe: 1,04 m

Datum: 28.03.2007

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,40/ qh/U;fs1,wrz/y-bo/dbn-sw//

0,76/ qh/Hn;Makroreste,hp),wrz,hg/og/dbn-sw//

1,90/ qw/fs;u,h1-2/a/bn-dbe//

2,50/ qw/fs;u1,lw(gs,ms1),lw(u2)/a/gr-bngr//

3,17/ qw/U;fs1-2,lw(ms,gs),2,70-2,75m(gs,fg)/l/grbn//

3,50/ qw/mS;gs,fs1,unz(u1)/f/grbn//

3,65/ qw/fs;u,gs1/l/grbn//

7,00/ qs/U;s,t1,gg,X,lw(gs),k3-4,Kalkstückchen/Mg/gr/sth-fe/

##### HF1-B 5

Hochwert: 5916469,99

Rechtswert: 3403326,57

Höhe: 1,29 m

Datum: 28.03.2007

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,47/ qh/Hn;hg1,wrz/og/dbn//

0,64/ qw/Fsm;h,wrz1/l/bn//

1,20/ qw/fs;u2,lw(u),h1/a/ob(robn),un(gngrbn)//

2,36/ qw/fs;u,lw(u4)/a/gr//

3,00/ qs/U;s,x,kf/Lg/gr/sth-fe/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.1 Pultermoor

(Hochwert: 5916416,22; Rechtswert: 3403328,11)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF1-B 6

Hochwert: 5916443,11  
Rechtswert: 3403330,41  
Höhe: 1,05 m  
Datum: 28.03.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/ qh/Hn;wrz,hg/og/dbn//  
0,70/ qw/Fsm;h1,lw(h),pf/l/bn,lw(dbn)//  
1,50/ qw/fS;ms,lw(gs),u2,lw(u)/a/begr//  
2,50/ qw/fS;u2,lw(u)/a/gr//  
3,30/ qs/U;s,lw(gs,fg),x,kf/Lg/dgr/sth/  
5,00/ qs/U;s,x,k,unz(k4-5),Kalkstückchen/Mg/dgr/sth/

##### HF1-B 7

Hochwert: 5916383,96  
Rechtswert: 3403322,73  
Höhe: 1,09 m  
Datum: 28.03.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,40/ qh/Hn;hc,lw(F),Schilf,hg1-2,lw(hg5-6)/og/swbn//  
0,70/ qw/Fsm;u2,h3-4/l/dbn//  
2,30/ qh/Hc;hc,hg1-2,un(hg4-5),ab 0,85m(hg5),0,95m(hg6),1,80m(hg8),2,20-2,25m(hg2,  
Moospflanzen)/og/dbn,lw(sw),lw(or)//  
2,60/ qw/Fsm;h3-4/l/bn//  
3,50/ qw/fS;u2,lw(fg,gs),unz(u,t1),unz(x)/a/ob(bngr),lw(bn),ab 2,77m(gr)//  
4,30/ qs/U;s,x,lw(gs,fg),kf/Lg/bngr/wh-sth/  
4,54/ qs/U;s,x,lw(fg),k,Kalkstückchen/Mg/dbngr/sth/  
4,90/ qs/mS;gs,fs2,lw(gs4)/gf/hgr//  
5,00/ qs/fS;u2,gs1/gl/grbe//  
7,00/ qs/U;s,x,lw(gs,fg),cmlw(gs),sscm(gg),X,k,Kalkstückchen/Mg/gr/fe/

##### HF1-B 7a Nachbohrung

Hochwert: 5916383,20  
Rechtswert: 3403316,58  
Höhe: 1,09 m  
Datum: 13.09.2008

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/ qh/U;fs,wrz,pf,wf1/y-bo/swbn-dbn//  
0,80/ qh/Hn;wf1-wf3,hg4,lw(hg2-3),lw(hg6-7)/og/swbn//  
1,00/ qh/Fum;h,s1-2,wrz,Binsen/l/dbn-bn//  
1,30/ qh/Hh;wf5,hg7-8/og/swbn-dgrbn/bre/  
1,55/ qw/Fum;h,ob(h4),s2,ob(s1),voe(Makroreste)/l/ob(swbn),dbn/wh/  
3,00/ qs/U;s,lw(gs),un(t1-2),voe(fG),kf/Lg/gr,ab 2,50m(dgr)/wh,ps3/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.1 Pultermoor

(Hochwert: 5916416,22; Rechtswert: 3403328,11)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF1-B 8

Hochwert: 5916422,37

Rechtswert: 3403343,47

Höhe: 1,10 m

Datum: 29.03.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,40/	qh/fS;u,h/y-bo/dbn-swbn//
0,60/	qh/fS;u2,h,Ziegelbruch,Ziegelbruchstücke/y-bo/dbn-swbn/
1,00/	qh/Hn;hc,ab 0,70m(hp),ob(hg1-2),0,75-0,80m(hg) 0,90-1,00m(hg4)/og/robn,lw(or)//
1,20/	/kve///
1,50/	qh/Hn;hg4,1,30-1,35m(hg5),ab 1,35m(hg)/og/robn,ab 1,35m(orbn)//
1,75/	qw/Fsm;u2,h//bn-robn//
1,90/	qw/fS;u4/a/bngegr//
2,60/	qw/Fsm;h,pf//bn-robn//
2,75/	qw/fS;u1,lw(gs)/a/gr/
3,00/	qs/U;s,lw(gs),kf/Lg/bngr/sth-fe/

##### HF1-B 9

Hochwert: 5916357,85

Rechtswert: 3403318,89

Höhe: 1,72 m

Datum: 29.03.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,50/	qh/U;fs1,Ziegelbruchstücke/y-bo/swbn/
1,00/	qh/fS;u,h1,x1//robn,lw(swbn)//
1,50/	qw/fS;u,ms1/a/oc//
1,70/	qw/U;fs3-4,"gl"//grbn//
2,00/	qw/fS;u,lw(ms),lw(gs),x,ab 1,80m(zu(u))/a/grbn//
3,00/	qs/U;s2,x1,lw(ms,gs),kf/Lg/gr/sth-fe/

##### HF1-B 10

Hochwert: 5916422,37

Rechtswert: 3403398,00

Höhe: 1,66 m

Datum: 29.03.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,50/	qh/U;fs,h/y-bo/dbn//
1,30/	qh/fS;u,lw(G),lw(ms,gs),lw(fg)/y/oc//
1,40/	qh/Wurzeltopf/y/dbn//
2,40/	qw/fS;u,lw(G),lw(ms,gs),lw(fg)/a/oc,ab 1,50m(grlibn)//
2,60/	qw/Fsm;h2//bn-dbn//
4,00/	qs/U;s,fg1,lw(fs,ms),lw(fg),kf/Lg/gr/ob(wh),un(sth)/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF2-B 1

Hochwert: 5916847,79

Rechtswert: 3403282,79

Höhe: 1,20 m

Datum: 26.10.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,70/	qh/fS;u,h,pf,Wurzel,Makroreste,wf5/y-bo/dbn//
2,30/	qh/Hh;Binsen,Torfmoose,Makroreste,wf5,hg4,lw(hg3),ab 2,00m(hg7-8)/og/dbn-swbn,lw(orbn)//
3,00/	qh/Fum;s1,lw(fs),h2,lw(fs;Makroreste)//ob(swbn),ab 2,60m(gnlibn)/wh/
3,93/	qh/Hh;Binsen,Torfmoose,Makroreste,wf5,hg7-8/og/swbn-sw//
4,15/	qh/Fum;s,h2-3,pf,Makroreste//gnlibn//
4,20/	qw/mS;fs,gs,fg,wf5/f/blligr//
4,30/	qw/fS;ms,u1,wf5//gr//
4,85/	qw/fS;u1,lw(gs),lw(ms),kf,wf5/a/gr//
5,00/	qs/U;s,g2,t1,kf/Lg/blligr/wh/
5,15/	qs/fS;u1,ms2,kf,wf5/gl/hgr,lw(bu)//
5,50/	qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/gr/wh/
9,00/	qs/U;s,x,k,lw(k4),voe(X),lw(S),Kalkstückchen/Mg/gr-dgr,ab 7,00m(gr)/fe/

##### HF2-B 2

Hochwert: 5916821,02

Rechtswert: 3403283,55

Höhe: 1,26 m

Datum: 26.10. u. 27.10.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
2,60/	qh/Hh;Makroreste,Torfmoose,wrz,Binsen,Wollgras,hg4-5,ab 2,00m(hg7-8)/og/swbn-sw//
2,85/	qh/Hh;hz(hle?),Makroreste,hg(7-8),lw(hg2-3)/og/swbn,lw(or)//
3,00/	qh/Fum;s,h2,lw(S),Makroreste//dbn//
4,25/	qh/Hh;Makroreste,hz,hg(5-6),lw(hg7-8)/og/swbn,lw(or)/bre/
4,70/	qh/Fum;s,h2-3,lw(S),Makroreste//dbn//
5,00/	qh/Hh;hz,Makroreste,hg3-4,lw(hg5-6)/og/swbn,lw(sw),lw(bn)//
5,84/	qh-qw/Fum;s2,h,Makroreste//dgeb/wh/
6,00/	qw/fS;ms1,u2,wf5/a/hgr//
6,12/	qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/gr/wh/
7,20/	qs/fS;u2,lw(u),lw(fg,gs),ab 6,80m(zu(u)),6,60-6,65m(fS;u),wf5/gl/hgr//
9,00/	qs/U;s,x,g,k,Kalkstückchen,X/Mg/gr/fe/

##### HF2-B 3

Hochwert: 5916764,95

Rechtswert: 3403279,71

Höhe: 1,19 m

Datum: 27.10.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,50/	qh/fS;u,h,pf/y-bo/swbn//
0,70/	qh/Hh;Makroreste,hg3-4/og/dbn//
1,00/	qh/Fum;h2,s1,Makroreste//dbn,un(bn)//

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF2-B 3

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
1,50/	/kve///
2,00/	qh/Fum;h2,s1,lw(h),Makroreste,Moose?//dbn,bn//
2,50/	qw/fS;u2,ms1-2,lw(fg,gs),kf,wf5/a/hgr//
2,60/	qw/U;s4,h1-2,pf//bngr//
2,90/	qw/fS;u2,ms2,lw(gs1),wf5/a/gr//
3,00/	qw/Hh;Binsen?,Torfmoose?,pf,hg/og/orbn//
3,10/	qw/fS;u2,wf5/a/hgebn//
3,44/	qw/mS;gs,fg1,fs1,lw(u),lw(fg),unz(gs4),wf5/f/hgebn//
3,50/	qw/gS;fg,bei 3,50m(fG;gs4,mg2),wf5/f/grbn,bei 3,50m(bn)//
5,00/	qs/U;s,x2,g2,kf/Lg/ob(gnligr),ab 4,00m(gngr)/wh/

##### HF2-B 4

Hochwert: 5916702,73  
Rechtswert: 3403277,41  
Höhe: 1,50 m  
Datum: 27.10.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,45/	qh/fS;u2,h2,pf,wf3/y-bo/swbn//
1,16/	qw/fS;ms,u2,lw(U)/a/oc-gebn,bnfl,ab 0,95m(grbn)//
1,35/	qw/fS;u2,lw(gs1,fg1),wf5/a/or-orbn//
1,50/	qw/fS;ms,u1,fg1,wf5/a/bngr//
1,54/	qw/fS;u2,wf5/a/grbn//
1,63/	qw/Fum;s2,h2,Makroreste,Moose//bn,ab 1,53m(gr)//
2,40/	qw/mS;u2,lw(u),ab 2,00m lw(gs,fg1),wf5/f/bngr//
2,60/	qw/fS;u2-3,bei 2,55m (X:'^if'),wf5//bngr//
2,88/	qw/Fum;h,s2,ob(s3-4),pf//ob(bn),un(swbn)//
3,50/	qw/fS;ms,u2,ab 3,00m(zu(u3-4)),wf5/a/gr-hgr,ab 3,00m(bngr)//
6,75/	qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/gnligr,ab 4,50m(gngr),ab 5,00m(blgr)/wh/
7,00/	qs/U;s,x,k,Kalkstückchen,bei 6,90m(X)/Mg/blgr/fe/

##### HF2-B 5

Hochwert: 5916841,76  
Rechtswert: 3403245,92  
Höhe: 1,39 m  
Datum: 28.10.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,50/	qh/fS;u,h,pf,wrz/y-bo/swbn-sw//
0,60/	qh/H;Makroreste,pf,wf1,hg3-4/og/swbn-sw//
0,85/	qh/Fum;s2,h2-3,pf//bn-dbn//
1,50/	qw/fS;ms,u2,lw(fg,gs)//hbngr//
1,68/	qw/fS;ms,lw(fg),gs,fg1//bnligr//
1,95/	qw/fS;u2,ssmm(h,pf),bei 1,77m(X),1,77-1,85m(mG)/a/gr,ssmm(orbn)//
2,10/	qw/fS;ms,u1,gs1//bngr//
2,18/	qw/gS;fg,mg/f/bn-gebn//
2,30/	qw/fS;ms,u2//bngr//
2,45/	qw/mS;fs2,u1,gs,bei 2,40m(X)/f/bn-hgr//
2,57/	qw/Fum;h,s2,ob(hg2),pf//dbn//

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF2-B 5

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**  
2,68/ qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/gnlibn/wh/  
2,80/ qs/fS;h2-3,u1-2,pf/gl/dbn-orbn//  
6,21/ qs/U;s,x2,t1,ab 3,00m lw(fG;gs),voe(X),lw(S),5,18m(X),kf/Lg/blligr/wh/  
7,00/ qs/U;s,x,k,ab 6,50m(k4),Kalkstückchen/Mg/dgr/fe/

##### HF2-B 6

Hochwert: 5916842,52  
Rechtswert: 3403223,64  
Höhe: 1,76 m  
Datum: 28.10.2007

#### **Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,46/ qh/fS;u2,h2-3,pf,wrz,ef/y-bo/ob(sw),lw(robn),un(swbn)//  
0,90/ qw/fS;u2,lw(ms1),wf1-ef/a/ob(file(orbn)),ab 0,60m(oc),un(gebn)//  
1,42/ qw/fS;u2,ms1-2,gs1,0,90-0,92m(mS,fg,gs2),ab 1,00m lw(fg2),wf5/a/gebn,slr(orbn)//  
2,20/ qw/Fum;h2,s1,lwmm(h3-4),pf(Moose?)/l/gr,lwcm(dbn-bn)//  
2,30/ qw/mS;fs,gs1,h1,pf,Makroreste,pf,wf5/f/hgr,lw(orbn)//  
2,56/ qw/fS;u2,ms1,bei 2,50m(X),wf5/a/hgr/  
2,70/ qw/mS;gs,fg,h1-2,lw(gs4),wf5/f/bn//  
2,90/ qw//kve////  
3,30/ qw/mS;fs,u1,gs1,voe(fG),bei 3,15m(G),bei 3,23m(G),bei 3,27m(G),wf5/f/dbn,lw(bu),ab 3,00m(hgr)//  
3,70/ qw/mS;fs,u1,wf5/f/bn/  
5,00/ qs/U;s,x2,g2,t1,kf/Lg/gr-dgr/wh/

##### HF2-B 7

Hochwert: 5916840,99  
Rechtswert: 3403193,69  
Höhe: 2,18 m  
Datum: 28.10.2007

#### **Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,50/ qh/fS;u,h,pf,wrz,wf1/y-bo/swgr//  
1,46/ qw/fS;u2,wf1/a/ob(robn-rfrobn),un(oc),ab 1,20m(gebn),hgebn//  
1,60/ qw/Fum;s2,pf//bngr//  
3,12/ qw/fS;u2,ms1,lw(gs,ms),lw(u),lwmm(fg),1,80-1,83m(lwmm(Makroreste)),ab 1,50m(wf5)/a/hgeligr,lwmm(orbn)//  
3,23/ qw/mS;gs,fg1,wf5/f/bn//  
3,26/ qw/X;g,s1,wf5/f/bu/  
3,38/ qw/Fsm;ms,h//dorbn/  
3,47/ qw/Fsm;h4//swbn-sw//  
3,94/ qw/Fsm;ms,h//dorbn//  
6,00/ qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/blligr,ab 4,00m(dgr)/wh/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF2-B 8

Hochwert: 5916887,07

Rechtswert: 3403289,70

Höhe: 1,28 m

Datum: 28.10.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
1,75/	qh/Hh;Makroreste,Binsen?,Torfmoose?,hg4-5,ab 1,00m(hg7-8),0,75-0,80m(Fum;s1)/og/dbn,lw(orbn),0,75-0,80m(bn)//
1,84/	qw/fS;u2,wf5,kf//gebn//
2,20/	qw/fS;ms,u1,1,90-2,05m(fg,gs2),wf5//bngr//
2,85/	qw/gS;fg4,gs,lw(u),lw(mg),h2,bei 2,30m(X),bei 2,60m(X),wf5/f/dgrbn//
3,40/	qw/fS;u2,h2-3,wf5/a/swbn//
3,50/	qw/mS;fg,voe(G),wf5/f/gr//
4,73/	qs/U;x,s,t1-2,ab 4,00m(t2),kf/Lg/blligr/wh/
4,84/	qs/fS;u2-3,wf5/gl/hgr//
5,00/	qs/U;s,x2,t1-2,kf/Lg/gr-dgr/wh/

##### HF2-B 9

Hochwert: 5916921,64

Rechtswert: 3403295,84

Höhe: 1,88 m

Datum: 30.10.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,60/	qh/fS;u,h,pf,wrz,wf1/y-bo/swbn//
1,60/	qw/fS;u2,wf1,ef,ab 1,50m(wf5)/a/bis 0,80m(hgebn,lw(be)),gebn//
1,75/	qw/fS;u2,1,70-1,75m(fg,gs2),wf5/a/hgr//
1,80/	qw/gS;fg,ms,wf5/f/hgr-bn//
1,90/	qw/fS;u1,wf5/a/hgr//
2,00/	qw/Fum;s2,h1,lw(h),pf,Makroreste//gr,lw(bn)//
2,40/	qw/fS;u2,lw(u),2,31-2,34m(h,pf)//hgr,lw(bn)//
2,76/	qw/Fum;s2,pf//hgr,ab 2,50m(bn)//
3,15/	qw/fS;ms,u2,lw(h2),wf5//dbngr,lw(bn)//
3,50/	qw/mS;fs,gs1,u1,wf5//bngr,lw(bn)//
4,00/	qw/gS;fg2,lw(fg),lw(u1-2),h1,bei 3,65m(pf),wf5/f/bngr,lw(bn)//
4,70/	qw/gS;fg2,ms1,u1,lw(fg),4,50-4,55m(fG;gs,mg1),bei 3,34m(X),bei 4,53m(X),gl("b","m"),wf5/f/hgr-bn,lw(dblligr),4,50m-4,55m(dgr)//
4,75/	qs/mG;fg,wf5/gf/bn//
6,00/	qs/U;s,x2,g2,t1,kf/Lg/gr/wh/

##### HF2-B 10

Hochwert: 5916965,42

Rechtswert: 3403298,15

Höhe: 2,36 m

Datum: 30.10.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,50/	qh/fS;u2,h,pf,wrz,wf1/y-bo/dbn-swbn//
2,46/	qw/fS;u1-2,1,72-1,74m(fg4,gs),1,76-1,79m(gs4,fg1),bei 2,34m(fG),ef,ab 1,50m(wf5)/a/gebn,ab 2,00m(hgebn)//

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF2-B 10

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
2,57/	qw/Fum;h2,u1//bn-dbn//
2,70/	qw/fS;u2,lw(U;h2,F:bn)/a/hgr//
3,07/	qw/Fum;h,s2,lw(h1),hz,Makroreste//bn-dbn//
3,17/	qw/U;h1,s1,wf5//dbngr//
3,50/	qw/fS;u2,lw(ms1),kf,wf5/a/bngr//
4,00/	/kve///
7,64/	qs/U;s,x2,fg2,bis 4,50m(s4),voe(fG),6,00-6,50m(s4-5),6,95-7,04m(S;u),7,00-7,50m(s4-5), 6,50-7,50m(t2-3),t1-2,kf/Lg/gr-dgr,6,95-7,04m(bn)/wh/
8,00/	qs/U;s,x,fg,k3-4,Kalkstückchen/Mg/gr/fe/

##### HF2-B 11

Hochwert: 5917039,93

Rechtswert: 3403303,53

Höhe: 2,57 m

Datum: 31.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,60/	qh/fS;u,h,pf,wrz/y-bo/swbn-sw//
1,80/	qw/fS;u2,ab 1,70m(gs,ms),wf1,ab 1,00m(wf5)/a/robn-oc,ab 0,86m(hgebn),ab 1,00m (orgebn),ab 1,50m(hgr)//
2,40/	qw/Fum;s2,h1-2,lw(h2-3),Makroreste//dgr,lw(bn-dbn)//
2,50/	qw/fS;u2,h1,lw(h2),ab 2,50m(wf5)/a/gebn,lw (bn)//
2,80/	qw/Fum;s1,h2,lw(h),Makroreste//bn,lw(dbn)//
3,50/	qw/fS;u2,lw(ms),lw(gs),wf5/a/hgrbn//
3,65/	qw/fS;u2,h1-2,wf5/a/hbn//
3,90/	qw/Fum;h2,s1,Makroreste//dbn//
4,50/	qw/fS;u2,h1,wf5/a/grgebn//
5,20/	qee/Hh;Makroreste,Binsen?,Samen,hg6-7,lw(hg)/og/dbn-swbn,ab 5,00m(swbn-sw)//
5,45/	qee/Fum;s,hg2,Makroreste//bng//
5,50/	qee/fS;h1,wf5//gr,slr(bn)//
6,00/	/kve///
6,75/	qee/fS;u2,lw(h2),lw(u)//grbn,lw(bn)//
6,82/	qee/Fum;h2,s2//dbn//
7,20/	qee/mS;gs,fg,mg1,lw(fg4),lw(gs4),bei 7,15m(gG),bei 7,05m(fG)/f/bn//
7,30/	qs/U;s,x,t1,kf/Lg/gr/wh/
7,50/	qs/gS;fg,mg2,un(fg3-4),u1,wf5/gf/dbn-bn//
8,00/	/kve///
9,25/	qs/U;s,x2,lw(g),voe(fG),kf/Lg/blligr/wh/
9,40/	qs/fS;u2,fg2/gl/bn//
9,50/	qs/U;s,x2,lw(g),voe(fG),kf/Lg/blligr/wh/

##### HF2-B 12

Hochwert: 5916849,44

Rechtswert: 3403310,44

Höhe: 1,41 m

Datum: 31.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/	qh/U;fs,h,wf3,pf,wrz/y-bo/dbn-swbn/
-------	-------------------------------------

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF2-B 12

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,70/	qh/fS;u2,h1/y/swbn,lw(gebn)//
1,00/	qh/Hh;he,Makroreste,Torfmoos,hg3-4/og/bis 0,75m(sw),swbn/
1,50/	/kve////
2,20/	qh/Hh;he,Makroreste,hg7-8,lw(hg3-4)/og/ob(swbn),un(bn),lw(ornb)//
2,30/	qh/fS;u1,lw(Fum,h,s1)/l/gebn,lw(bn)//
2,80/	qh/Fum;h,s1,lw(s),Makroreste,wrz/l/dbn//
3,75/	qh/Fum;h1-2,s1,Makroreste,pf/l/smgrbn,lwmm(robn)//
4,10/	qw/fS;ms,u2,h1,wf5/l/smgrbn,slr(bn)//
4,24/	qw/fS;u1,wf5/a/hgrbn//
4,27/	qwF;gs,fg1,wf5/l/hgrbn//
5,10/	qs/U;s,x2,g2,t1-2,kf/Lg/blgr/wh/
7,00/	qs/U;s,x,k,ab 6,00m(k4),Kalkstückchen/Mg/gr/wh,ab 6,00m(fe)/

##### HF2-B 13

Hochwert: 5916848,67

Rechtswert: 3403337,32

Höhe: 1,70 m

Datum: 01.11.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,58/	qh/fS;u2,h,pf,wrz/y-bo/swbn-sw//
0,77/	qh/fS;u2,ef/y-bo/robn-oc,slr(sw)//
0,90/	qh/fS;u2,ef/y-bo/gebn//
1,00/	qw/Fum;h,s1,pf,wf3/l/dbn//
1,35/	qw/fS;gs,fg2,voe(fG),h1,wf5/l/hrolibn//
1,87/	qw/fS;u2,lw(ms),lw(gs),ab 1,70m(zu(u)),ab 1,10m(wf5)/a/ob(be),un(hgr)//
2,00/	qw/fS;u4,voe(pf),wf5/a/gr//
2,20/	qw/mS;fg,x,gG,h1,wf5/f/bn//
2,86/	qw/fS;u2,2,42-2,46m(ms),ab 2,60m(zu(u)),bei 2,40m(mG),wf5/a/hgr//
3,05/	qw/fS;u4,s1,wf5/a/gr//
3,08/	qw/Fum;h,s1/l/bn//
5,22/	qs/U;g2,x2,t1-2,kf/Lg/blgr/wh/
6,00/	qs/U;g,x,k3-4,Kalkstückchen,5,60-5,64m(fS;u2,wf5),ab 5,50m(lw(s4))/Mg/blgr,ab 5,32m(gr)/wh,ab 5,31m(fe)/

##### HF2-B 14

Hochwert: 5916847,13

Rechtswert: 3403384,18

Höhe: 1,82 m

Datum: 01.11.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/	qh/fS;u,h,pf,wrz/y-bo/swbn-sw//
0,80/	qw/fS;u2,h1,lw(h2-3),lw(pf)/a/bis 0,80m(robn),oc,un(gebn),slr(ornb)//
0,87/	qw/fS;u3-4,lw(h),wf1/a/gebn-be,lwmm(bn)//
0,95/	qw/fS;u2,lw(h,pf),wf1/a/gebn-be,lwmm(bn)//
1,00/	qw/fS;u,wf1/a/gebn//
1,55/	qw/fS;u2,ef/a/gebn-be//
2,00/	qw/Fum;s1,h1-2,lw(h2),1,60-1,70m(pf,h),Makroreste/l/bngr,lw(bn)//

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF2-B 14

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

2,50/ qw/fS;u2,h1,Makroreste,wf5/a/bngr,lw(bn)//  
3,10/ qw/Fum;s1,h1,lw(h2),lw(s2),lw(s),Makroreste/l/bngr,lw(bn)//  
4,57/ qs/U;s,x2,g2,t2,kf/Lg/blgr/wh/  
6,00/ qs/U;s,g,x2,k,un(k4),Kalkstückchen/Mg/ob(bnligr),gr/fe/

##### HF2-B 15

Hochwert: 5916835,61

Rechtswert: 3403453,31

Höhe: 2,51 m

Datum: 01.11.2007

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,64/ qh/fS;u2,h2,lw(h),pf,wrz,wf1/y-bo/dbn,0,36-0,46m(gebn),swbn//  
1,00/ qw/fS;u2,ef,ab 0,90m(wf5)/a/robn,slr(sw)//  
1,50/ qw/fS;u2,lw(gs),lw(u),h1,lw(h,pf),slr(h),wf5/a/bngr//  
1,65/ qw/fS;u2,ms1/a/bngr//  
1,70/ qw/Fum;s2,h1,Makroreste/l/hbn//  
1,80/ qw/fS;u2,h1,Makroreste/a/bnligr//  
2,38/ qw/Fum;h2,s1,Makroreste,ab 1,90m(H2S-Geruch)/l/bn,ab 1,90m(dgr)//  
2,70/ qw/fS;u2,lw(u),bei 2,60m(Makroreste)/l/smgr//  
2,80/ qs/U;s,g2,t2,kf/Lg/gnligr/wh/  
2,86/ qs/fS;u2,ms2,kf,wf5/gl/gnligr//  
3,10/ qs/U;s,g2,t2,kf/Lg/gnligr/wh/  
3,37/ qs/fS;u2,ms1,kf,wf5/gl/gnlibngr//  
7,40/ qs/U;s,g2,lw(s4),t2,voe(gG),kf/Lg/blgr/wh,lw(bre)/  
8,00/ qs/U;s,x,g,fG,lw(S),k,un(k4),Kalkstückchen/Mg/dgr/fe/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF3-B 1

Hochwert: 5917244,24

Rechtswert: 3403371,89

Höhe: 1,58 m

Datum: 30.03.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,55/ qh/U;fs,h,pf,wrz/y-bo/bn-robn-grbn//  
0,70/ qh/fS;u2,h2,un(h3),wrz/y-bo/robn,lw(swbn)//  
1,00/ qh/Hn;hc,hg2,Makroreste(hp),ab 0,90m(hg2-3),wrz/og/dbn-swbn//  
1,50/ /kve///  
2,75/ qh/Hn;wrz,sla-wh,hg7-8/og/sw-swbn//  
3,00/ qh/Hh;Moose,wrz,Makroreste/og/robn-swbn//  
3,50/ /kve///  
3,80/ qh/Hh;wrz,Makroreste,hg3-4/og/dbn-robn//  
4,25/ qh/Hh;hg6-7/og/dbn-swbn//  
4,32/ qh/fS;u,h1/l/bngr//  
4,40/ qh/Hh;Moose,wrz,hg3-4/og/or,robn//  
5,00/ qw/fS;u4,lw(mS;gs)/l/gr//  
7,00/ qs/U;s,lw(gs),lw(fg),x2,X,Kalkstückchen/Mg/gr//

##### HF3-B 2

Hochwert: 5917212,75

Rechtswert: 3403354,99

Höhe: 1,55 m

Datum: 30.03.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,60/ qh/fS;u2-3,h3-4,un(h2-3),wrz/y-bo/dbn,un(rolibn)//  
0,70/ qh/Hh;hc,hg1,Makroreste(Schilf),Psg/og/or-oc//  
5,00/ qh/Hh;hc1-2,Makroreste,Psg,wrz,ab 2,00m(hg5-6),lw(hg1-2),  
2,45-2,55m(Psg,F:or),hg3-4/og/drobn-dbn,ab 2,00m(swbn-sw),lw(or)/  
5,80/ /kve///  
6,40/ qh/Hh;hg7-8,lw(hg3-4),lw(hg1),Makroreste/og/swbn-sw,lw(or),lw(grbn)//  
6,80/ qw/Fum;s2,h2/l/grbn,lw(bn)//  
7,80/ qw/fS;lw(gs),lw(ms1)/f/grbn,lw(bn)//  
8,25/ qw/mS;fs,u1,bei 8,12m(X:'^if')/f/gr//  
8,37/ qw/mS;s,u2-3/gf/gr//  
8,44/ qs/U;fs2/Lg/dgr//  
8,60/ qs/fS;u,lw(ms)/gl/gr//  
8,70/ qs/mS;s,u2/gf/gr//  
9,60/ qs/U;t,g1,lw(fs,ms),kf/Lg/dgr/wh/  
9,70/ qs/U;fs,g2,t1,k/Mg/dgr/sth/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF3-B 2a Nachbohrung

Hochwert: 5917213,52

Rechtswert: 3403368,05

Höhe: 1,55 m

Datum: 12.09.2008

##### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

9,60/ qh/Hh; Makroreste, Binsen, Torfmoose, wf5, hg7-8, lw(hg4-5)/og/swbn/bre/

9,95/ qw/Fum; h, s2, Makroreste//bn//

11,00/ qw/fS; u-u4, ms2, lw(ms), lw(u4), bei 10,00m(X: ^if, kant), wf5//blgr, lw(bn)/wh/

##### HF3-B 2b Nachbohrung

Hochwert: 5917226,58

Rechtswert: 3403358,06

Höhe: 1,55 m

Datum: 12.09.2008

##### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

8,75/ qh/Hh; Torfmoose, Binsen, Makroreste, hg3-4, lw(hg2-3), ab 3,00m(hg7-8, lw(hg4-5)), ab 3,50m(hg8-9, lw(hg5-6)), ab 3,50m(wf5)/og/ob(swbn), ab 1,60m(orbn), lw(swbn), lw(or), slr (swbn)/ab3,50m(bre)/

10,00/ qw/Fum; h, s2, wh, Makroreste//dbn-bn/ps3/

10,80/ qw/fS; ms, u2, bei 10,10m(X), bei 10,30m(X), lw(u), lw(ms4), bei 10,40m(X: ^if), 10,10-10,30m (mG, fG; F: bu)//l/gr//

##### HF3-B 3

Hochwert: 5917284,95

Rechtswert: 3403361,90

Höhe: 2,23 m

Datum: 31.03.2007

##### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/ qh/U; fs, h3-4, g1, wrz/y-bo/dbn-swbn//

0,75/ qh/fS; h2, u1//l/robn//

0,88/ qw/U; fs//l/hbe-gebn//

3,50/ qw/fS; u1-2, lwcm(u2-3), lw(h2), ab 2,50m(lw(gs)), kf/a/ob(gr), ab 0,93m(be), ab 2,00m(gr), lw(bn), ab 3,00m(be)//

3,64/ qs/mS; fs, u1/gf/hgr//

4,08/ qs/U; s, fg, x1, kf/Lg/gr//

4,23/ qs/mS; fs, u1, kf/gf/hgr//

4,42/ qs/U; s, fg1, lw(gs), kf/Lg/gr//

4,52/ qs/mS; fs, u1, kf/gf/hgr//

5,00/ qs/U; s, lw(gs), lw(fg), kf/Lg/gr//

5,10/ qs/fS; u1, ms1, kf/gl/hgr//

5,40/ qs/mS; gs, fs2, u1, un(u1-2), lw(fg), ab 5,30m(G), kf/gf/hgr//

5,50/ qs/fS; u2, kf/gl/hgr//

5,90/ qs/U; s, fg1, kf/Lg/dgr/wh/

6,10/ qs/mS; fs, u1/gf/hgr//

7,00/ qs/U; s, x, k, Kalkstückchen/Mg/dgr/sth/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF3-B 4

Hochwert: 5917203,53

Rechtswert: 3403321,19

Höhe: 1,74 m

Datum: 02.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

1,00/ qh/Hh; Makroreste(wrz), bis 0,50m(h2), hg3-4, ab 0,80m(hg4)/og/drobn//  
1,46/ /kve///  
1,60/ qh/Hh;h, Makroreste(wrz), hg3-4/og/drobn//  
1,90/ /kve///  
2,80/ qh/Hh; Makroreste(Torfmoose, Binsen), wrz, hg4, lw(hg2-3)  
/og/drobn, lw(swbn)//  
2,90/ /kve///  
4,10/ qh/Hh; Makroreste(Binsen), wrz, hg2-3, lw(hg3-4), ab 3,00m(hg3-4),  
ab 4,00m(hg4)/og/drobn//  
4,35/ qw/Fum;h2,s1, wrz/l/oc//  
4,70/ qw/fS;u2, lw(ms), lw(gs1), unz(ms)/l/hgr, lw(grbn)//  
6,00/ qw/mS;fs,u2, lw(gs1-2), ab 5,00m(lw(fg2)), ab 5,70m(lw(gs2))/f/dgr, ab 5,00m(gr)//  
6,15/ qw/U;s2/l/bngr//  
6,28/ qw/fS;u2/l/bngr//  
6,35/ qw/U;fs4, bei 6,34m(gG:^if)/l/grbn/wh/  
6,60/ qw/fS;u/l/grbn//  
7,50/ qw/mS;fs,u1, lw(u2), 6,86-6,90m(U;t3,fs1,F:dgr-sgr), ab 6,70m(lw(u))/f/dgr, lw(swgr)//  
7,60/ qw/fS;u2/l/hgr-bngr//  
7,70/ qw/mS;fs4,u2/f/bngr//  
9,00/ qw/fS;u2, lw(u), lw(ms), lw(gs), bei 8,90-9,00m(X)/l/gr//

##### HF3-B 5

Hochwert: 5917188,17

Rechtswert: 3403268,96

Höhe: 1,73 m

Datum: 02.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,35/ qh/U;fs, wrz/y-bo/dbn//  
0,86/ qh/Hn;hc, Makroreste (wrz), hg3-4/og/drobn//  
1,00/ qh/Fsm;h2-3, wrz/l/doc//  
1,35/ qh/Hh; Makroreste (Binsen), hg4/og/dbnsw, un(oc)//  
1,80/ qw/fS;u2/l/oc, ab 1,60m(bngr)//  
2,50/ qw/fS;u2, lw(gs)/l/hgr//  
2,80/ /kve///  
3,50/ qw/fS;ms1,u1, un(gs1,fg1), bis 3,00m(zu(gs,ms))/l/be//  
4,00/ /kve///  
4,50/ qw/mS;fs,u1/f/be-grbn//  
4,75/ qw/fS;ms,u1/l/be//  
5,00/ qw/fS;u1, lw(ms)/a/hgr//  
Bemerkung: Abbruch, weil kein Bohrfortschritt.

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF3-B 6

Hochwert: 5917175,88

Rechtswert: 3403221,34

Höhe: 1,87 m

Datum: 03.04.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,50/	qh/fs;u,h3-4,wrz/y-bo/swbn//
0,60/	qh/Hn;hg3-4/og/swbn//
1,40/	qh/fs;u2,lw(u),bis 0,80m(pf)/l/doc-robn,un(hgebn)//
1,55/	qw/fs;u2,ms2/a/bngr//
2,30/	qw/fs;u2,lw(u3),lw(ms,gs1),unz(ms,u1)/a/bngr//
2,65/	qw/fs;u,s1,h1,2,52-2,65m(h2)/a/bn//
2,68/	qw/gS;fg,mg1,gg1,fs1/f/bn-grbn//
3,00/	qw/fs;u2/a/ob(hgr),un(grbn)//
3,30/	qw/mS;fs,u1,lw(fg)/f/hgr//
3,88/	qw/fs;u2,lw(ms),3,65-3,85m(Makroreste:org,Faser-mm:hp),ab 3,60m (Faser,F:robn)// hgebn,ab 3,60m lw(robn)//
4,30/	/kve///
4,50/	qw/fs;u2-3,ms1/l/hgr//
5,00/	/kve///
5,50/	qw/fs;u2-3/l/hgr//
7,00/	qw/kve/// (vermutlich: /fs;u2-3,lw(ms)/l/hgr//)

##### HF3-B 7

Hochwert: 5917159,75

Rechtswert: 3403161,43

Höhe: 2,00 m

Datum: 03.04.2007

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,60/	qh/fs;h,u2,wrz/y-bo/swbn,ob(dbn)//
0,70/	qh/fs;u2, h1,wrz/y/rolibn-robn//
0,80/	qh/Hn;hc,Makroreste,pf,hg3-4/og/drobn-swbn//
1,90/	qw/fs;u2,ms1,lw(gs,fg),lw(ms2)/a/robn,ab 1,00m(oc),ab 1,50m(gebn)//
2,10/	qw/fs;u,un(u4)/a/grbn//
2,17/	qw/U;s1,t1/l/gnigrbn//
3,00/	qw/mS;fs,u1,lw(fg1),2,54-2,56 m(u,h2,F:bn),2,63-2,66m(u,h2,F:bn)/f/gnigrbn//
3,92/	qw/fs;u2,lw(ms)/l/grgn//
4,06/	qw/mS;fs,lwmm(Makroreste,F:or)/f/grbn,lw(or)//
4,25/	qw/fs;ms,lw(fg),lw(gs),bnvmm(pf,F:robn)/l/grbn//
4,36/	qw/U;fs4,h1,bis 4,30m(bnvmm(pf,F:robn))/l/gngr//ssmm
4,53/	qw/fs;u2/l/hgr//
4,63/	qw/U;h2,fs1,t1,pf/l/bn//
4,70/	qw/fs;u2-3,ms1/l/gr//
5,00/	/kve///

Bemerkung: Abbruch, weil schwer zu bohren. Bohrstangen nur sehr schwer zu ziehen.

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF3-B 8

Hochwert: 5917221,97

Rechtswert: 3403413,36

Höhe: 1,63 m

Datum: 03.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/	qh/fS;u2,h2/y-bo/oc//
1,00/	qh/Hh;Makroreste(Binsen),hg3-4,ab 0,75m(hg4-5)/og/robn,lw(or), ab 0,75m(dbn-swbn)//
1,50/	/kve////
2,25/	qh/Hh;Makroreste(Binsen),hg7-8,lw(hg5-6)/og/swbn//
2,40/	qh/Hn;hz(hle),hg1-2/og/or,lw(swbn)//
3,00/	qw/Fsm;h2,u2,lw(gs)/l/ob(gebn),lw(bn),un(bngr)//
3,50/	/kve////
4,20/	qw/Fum;fs2,h2,t1,pf/l/bn-oc/bre/
4,35/	qw/fS;ms,u1,unz(ms3-4)/l/hgr//
4,50/	qw/mS;fs,u1,lw(u2-3)/f/gr//
5,00/	/kve////
5,26/	qw/mS;fs3-4,u2-3,fg1,kf/l/gr//
7,00/	qs/U;s,fg,x,k,Kalkstückchen,voe(X),Kalkeinschlüsse/Mg/gr//

##### HF3-B 9

Hochwert: 5917231,95

Rechtswert: 3403449,47

Höhe: 2,37 m

Datum: 03.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,60/	qh/fS;u,h,wrz/y-bo/swbn//
1,50/	qw/mS;fs2-3,u1,fg1,unz(fs)/f/ob(doc),ab 0,80m(oc-robn)//
2,23/	qw/Fum;h2,s1,lw(s),lw(fs),1,90-2,00m(fS,u1,F:gr),pf,Makroreste/l/oc-bn//ssmm
2,35/	qw/fS;ms,u1/l/dgr//
2,40/	qw/U;fs,h1,pf,Makroreste(Schilf?)/l/bn//
2,60/	qw/fS;u2,ms1/l/grbn//
5,00/	qs/U;s4,t1,fg1,kf/Lg/blgr/sth/

##### HF3-B 10

Hochwert: 5917240,40

Rechtswert: 3403485,57

Höhe: 3,21 m

Datum: 04.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,60/	qh/fS;u,h/y-bo/swbn//
1,44/	qw/fS;mg2,u1-2,fg1,gs1,gg1,lw(gs,fg),bis 1,00m(lw(mg))/f/oc,ab 0,75m(gebn),ab 1,20m (hgebn),ab 1,50m(hbe)//
1,60/	qw/U;fs4,lw(ms1)/l/hgr-wegr//
1,80/	qw/fS;u2,ms1,unz(ms2-3),1,79-1,80m(mS;fs,u1)/l/hgebn//
1,86/	qw/U;fs4/l/hgr-wegr//
1,95/	qw/fS;u2,ms1/l/hgebn//

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF3-B 10

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

2,00/	qw/U;fs,t1//hgr//
2,40/	qw/fS;u2,ms1//hgebn//
2,45/	qw/Fum;fs2,bis 2,42m(h2)//bn,un(gr)//
2,55/	qw/fS;u//hgr//
2,80/	qw/U;fs3-4,t1,bei 2,74m(Makrorest)//grbn//
2,93/	qw/Fum;h2,lw(h),s1,Makrorest(Schilf)//bn,un(gr)//
3,00/	qw/fS;ms,u2,gs1,fg1//grbn//
3,25/	qw/Fum;h1,s1//grbn//
3,53/	qw/mS;fs,gs2,lw(fg1)/f/gr//
4,00/	qs/U;s,gg2,fg1,t1,lw(fg),kf/Lg/blgr/wh/
4,45/	qs/fS;u2,fg1,lw(ms),voe(gG)/gl/hgrbn//
5,93/	qs/U;s4,g2,un(s),lw(g),voe(X),kf/Lg/blgr,lw(dblgr)/wh/
6,00/	qs/fS;u2,ms2,fg1/gl/bngr//

##### HF3-B 11

Hochwert: 5917178,95

Rechtswert: 3403391,09

Höhe: 1,54 m

Datum: 04.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,77/	qh/fS;u2,pf/y/ob(dbnsw),un(oc),lw(swbn)//
1,00/	qh/Hh,Makroreste(Binsen),hg3-4,lw(hg4)/og/swbn,lw(or)//
1,40/	/kve/////
4,05/	qh/Hn;Makroreste(Binsen),hg7-8,lw(hg3-4)/og/swbn,lw(or)//
4,15/	qh/Fum;h,Makroreste//bn-grbn,slr(sw),lw(swbn)//
4,18/	qh/H;hg3-4,Makroreste/og/orbn//
5,00/	qs/U;s,g1,lw(fs),kf,wh/Lg/blgr,un(gr)//
7,00/	qs/U;s,g,6,45-6,50m(S;fg1,F:hgebn),k,Kalkstückchen,lw(k4)/Mg/gr/fe/

##### HF3-B 12

Hochwert: 5917160,52

Rechtswert: 3403394,93

Höhe: 1,83 m

Datum: 04.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/	qh/fS;u,h,wrz,pf/y-bo/grbn,lw(dbn)//
2,50/	qh/Hh;Makroreste(Binsen),hg4,lw(hg3-4),ab 1,50m(hg7-8)/og/swbn//
4,00/	qw/Fum;h2,s1,Makroreste,Faser//bngr//
5,37/	qs/U;s,fg2,lw(s4),voe(X),kf,wh/Lg/blgr//
7,00/	qs/U;s,g2,lw(s4),k,Kalkstücke/Mg/blgr,lw(gr)/sth-fe/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF3-B 13

Hochwert: 5917124,42

Rechtswert: 3403402,61

Höhe: 2,06 m

Datum: 05.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,40/ qh/fS;u,h2,0,35-0,39m(fS;u2,F:gebnd),pf,wrz/y-bo/hbnsd-dbn//  
0,50/ qh/Hh;Makroreste,hg4/og/swbn,lw(sw)//  
0,88/ qh/Fsm;u2,ob(h4),un(h)/l/ob(swbn),ab 0,62m(oc),un(robn),slr(sw)//  
0,92/ qw/Fum;s,h,pf/l/bn,lw(or)//  
0,95/ qw/mS;gs/f/hgebnd//  
1,00/ qw/U;fs,h1-2/l/bn//  
1,50/ qw/fS;u2,h2/l/hbngr,lw(swbn-sw),lw(dbn),lw(orbn)//  
2,06/ qw/fS;u,lw(u4),lw(h2,pf),h1,ab 1,80m(zu(ms))/l/hgr//  
2,17/ qw/Fum;h2-3,s1,pf/l/bn//  
2,35/ qw/fS;u2/l/hgebnd-be//  
2,60/ qw/gS;ms,fg1,lw(u1)/f/dbe//  
2,92/ qs/U;s3-4,g1-2,voe(gG),kf,wh/Lg/blgr//  
3,00/ qs/gS;fg,ms2,fs1,mg1/gf/dbe//  
6,63/ qs/U;s,X,gG,fg,mg2,lw(s4),kf/Lg/blgr/ob(wh),un(sth)/  
7,00/ qs/U;s,t2,k,lw(k4),Kalkstücke/Mg/dgr-gr/fe/

##### HF3-B 14

Hochwert: 5917086,78

Rechtswert: 3403404,92

Höhe: 2,79 m

Datum: 05.04.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/ qh/fS;u4,h,lw(h4)/y-bo/dbn-swbn//  
1,63/ qw/fS;u1-2,0,94-0,97m(fg3-4,mg2),ab 1,00m(lw(fg,mg2)),voe(gG)/l/oc-robn,un(gebnd)//  
1,74/ qw/fS;u2,un(ms2)/l/hgebnd,un(hbe-wegr)//  
1,90/ qw/Fum;h2-3,s1/l/bn,lw(grbn)//  
2,20/ qw/fS;u2,ms1/l/be//  
2,55/ qw/F;h,s1/l/bngr//  
2,70/ qw/Fum;h,s1/l/bn//  
2,87/ qw/U;s1/l/hbngr//  
3,00/ qw/fS;u2,ms1,un(lw(fg,mg))/l/be//  
3,05/ qw/fS,gG/f/gebnd//  
3,17/ qw/fS;u3-4/l/hbngr//  
3,28/ qs/U;s,fg,X,kf/Lg/gr/wh/  
3,40/ qs/mS;fs,gs2,u1/gf/be//  
3,55/ qs/U;s,g1,kf/Lg/hgr/wh/  
3,65/ qs/mS;gs,fg2,fs1/gf/bngr//  
4,00/ qs/U;s,fg2,kf/Lg/gr/wh/  
4,50/ qs/mS;fs,fg2,lw(gs),lw(fg2-3,ms1),mg1,gg1,voe(X,gG),4,40-4,45m(U;fs,F:gr)/gf/grbn-bu//  
4,60/ qs/U;fs/Lg/dgr//  
4,73/ qs/fS;ms,gs,g2/gl/bngr//  
6,00/ qs/U;s,lw(s4),fg,voe(gG),kf/Lg/gr/wh/  
6,57/ qs/gS;ms,fg2,fs1,u1,mg1,voe(X)/gf/bngr-bu//  
7,80/ qs/U;s,lw(s2,t1),fg1,kf/Lg/gr/wh,un(sth)/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF3-B 14

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**  
8,00/ qs/U;s,k,Kalkstücke/Mg/grbn/sth-fe/

##### HF3-B 15

Hochwert: 5917267,29

Rechtswert: 3403364,21

Höhe: 2,08 m

Datum: 05.04.2007

#### **Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,50/ qh/fS;u,h,wrz,pf/y-bo/swbn//  
0,75/ qh/fS;u2,h,lw(h),pf/y-bo/oc,lw(swbn)//  
1,90/ qh/Hh;bis 1,00m(s1),ab 1,00m(h2),Makroreste,hg4,ab 1,00m(hg2-3)/og/swbn//  
2,00/ qw/gS;ms,fg2/f/bu//  
2,10/ qw/U;s4,fg/l/gr//  
2,33/ qw/Fum;h2-3,s1/l/bn//  
2,50/ qw/fS;ms,u2/l/grbn//  
2,60/ qw/F;u,s1,h1,pf(Makroreste)/l/grbn//  
2,68/ qw/Fum;h2-3,s1/l/bn//  
2,80/ qw/F;u,s1,h1/l/grbn//  
3,00/ qw/U;fs,t1/l/gr-bn//  
3,26/ qw/fS;u3-4/l/grbn//  
3,40/ qw/U;s1,h1/l/grbn//  
3,64/ qw/fS;ms,u1/l/gr//  
3,70/ qw/Fum;h,s2/l/bn//  
3,90/ qw/mS;fs,lw(gs),fg1,u1,voe(gG)/f/grbn-bu//  
4,64/ qs/U;s,g1,kf/Lg/blgr/wh/  
4,80/ qs/fG;ms,gg,x,unz(gs),voe(X)/gf/bu//  
5,00/ qs/U;s,g2,kf/Lg/blgr/wh/  
5,20/ qs/fG;ms,x,gg1,voe(gG)/gf/bu//  
6,70/ qs/U;s,lw(s4),fg,kf/Lg/blgr/wh,un(sth)/  
7,00/ qs/U;s,g1,k,lw(k4)/Mg/gr/sth/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.4 Erlenstraße

(Hochwert: 5917678,99; Rechtswert: 3404196,83)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF4-B 1

Hochwert: 5917675,92

Rechtswert: 3404187,62

Höhe: 2,67 m

Datum: 23.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/	/kve///
1,00/	qh/H;hc,hg4-5,lw(hg3-4),pf/og/dbn-sw//
1,50/	/kve,ab 1,50m(wf5)///
1,80/	qh/Hh;Makroreste,hg4-5/og/dbn/bre/
2,10/	qh/Hh;Makroreste,Psg,Binsen?,hg6-7,lw(hg7-8),lw(hg4)/og/dbn-sw/bre/
2,50/	qh/Fum;h2//dbn//
2,80/	qh/Hh;Makroreste,Psg,Binsen?,hg6-7,lw(hg7-8),lw(hg4)/og/dbn-sw/bre/
3,00/	qw/Fum;h2,s1//bn//
4,00/	/kve///
4,10/	qw/fS;u,kf,wf5/a/bn//
4,60/	qs/U;fs,t1,voe(X),kf/Lg/blligr/wh/
5,20/	qs/fS;u,lw(ms1),lw(u2-3),kf,wf5/gl/gr,lw(gegr),un(grbn)//
5,50/	qs/U;fs,lw(fs3-4),lw(ms2),voe(X),kf/Lg/gr/wh/
5,64/	qs/fS;u1-2,kf,wf5/gl/be//
6,06/	qs/U;fs,x,k,Kalkstückchen/Mg/gr/fe/
6,35/	qs/fS;u1,kf,wf5/gl/hgr//
7,00/	qs/U;s,x,k,Kalkstückchen/Mg/gr/fe/

##### HF4-B 2

Hochwert: 5917641,35

Rechtswert: 3404186,85

Höhe: 2,91 m

Datum: 23.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,40/	/kve///
0,60/	qh/Hn;hc,hz,wrz,hg3-4/og/dbn-swbn//
0,70/	qh/Fum;h,s1//dbn//
1,00/	qh/Fsm;u2,h1,wf1//oc//
1,40/	qh/Fum;h,s1,pf//dbn-swbn//
1,80/	qh/Fsm;h,u1-2//oc//
2,20/	qw/fS;h2,u1//bn,slr(gr)//
2,50/	qw/fS;u1,lw(ms1),lw(gs1)//gr//
3,00/	qs/U;s,x1,t1,kf/Lg/blgr/wh/

##### HF4-B 3

Hochwert: 5917619,08

Rechtswert: 3404187,62

Höhe: 3,71 m

Datum: 23.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/	qh/fS;h,wrz,ef/y-bo/dbn//
-------	---------------------------

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.4 Erlenstraße

(Hochwert: 5917678,99; Rechtswert: 3404196,83)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF4-B 3

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
2,80/	qw/fS;u1,lw(ms1),2,16-2,19m(gs-fg),ef,ab 2,00m(wf5)/a/ob(gebn),be//
2,86/	qw/fG;x,mg,gs1,wf5/f/bn//
3,00/	qw/fS;ms,u1,wf5/a/hgr//
3,30/	qw/fS;u1,kf,wf5/a/hbe//
3,40/	qs/fS;u1,kf,wf5/gl/gr//
3,64/	qs/U;s,x,t1,X(^if),kf/Lg/gr/wh/
3,80/	qs/fS;u1,kf,wf5/gl/hgrbe//
4,00/	qs/U;s,x,t1,kf/Lg/hgr/wh/
4,50/	qs/fS;u2,ms1,wf5/gl/gr//
7,00/	qs/U;s,x1,lw(fs),t1,kf/Lg/gr,5,24-5,27m(orro-oc),5,80-5,86m(orrfro-oc),6,00-6,50m(gngr)/wh/
8,00/	qs/U;s,x,k,Kalkstückchen,un(k4)/Mg/gr-dgr/fe/

##### HF4-B 4

Hochwert: 5917693,59

Rechtswert: 3404204,51

Höhe: 2,86 m

Datum: 24.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/	qh/U;s,h,wf3/y-bo/swbn//
0,90/	qh/fS;h,lw(Hn;hg4)/y/robn-oc//
1,90/	qh/Hn;lw(F;h,u1),pf,wrz,hg3-4,lw(hg)/og/swbn,lw(sw)//
2,70/	qw/fS;u1,h1,wf5/a/bn//
3,50/	qw/fS;u1,2,76m(lw fG;gs),lw(gs,fg),ab 3,00m(fg,gs,u)/a/hgrbl-gr//
4,00/	qs/U;s,t1,kf/Lg/hgrbl/wh/
4,33/	qs/fS;u1-2,kf,wf5/gl/hgrgnli//
4,44/	qs/U;s,t1,X(+Gr),kf,wh/Lg/blgr//
4,50/	qs/fS;u2,kf,wf5/gl/hgr//
7,00/	qs/U;s,x,k,lw(k4),Kalkstückchen,voe(X:^if)/Mg/dgr/fe/

##### HF4-B 5

Hochwert: 5917702,80

Rechtswert: 3404185,31

Höhe: 3,28 m

Datum: 24.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,57/	qh/U;fs,h,wf1/y-bo/swbn//
0,70/	qh/Hh;Makroreste,pf,hg3/og/robn//
2,50/	qh/fS;u1,h1,2,26-2,33m(fg,gs2,mg2),wf5/l/oc-bn,ab 2,45m(gebn)//
3,00/	qw/kve (fS;u1,wf5)/a/gebn//

Bemerkung: Bohrabbruch, weil zu schwer zu bohren.

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.4 Erlenstraße

(Hochwert: 5917678,99; Rechtswert: 3404196,83)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

**HF4-B 5a** um ca. 5 Meter zu B 5 versetzt

Hochwert: 5917702,82

Rechtswert: 3404180,11

Höhe: 3,28 m

Datum: 24.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,50/ qh/U;fs3-4,h,wrz,ef/y-bo/swbn-sw/

2,00/ qw/fS;u1,ms1,h1,lw(fg,gs),1,63-1,67m(fG;gs,mg,F:bn),1,67-1,74m(fg,mg2),ef,unz(wf3-wf5)/a/robn,ab 1,50m(gebn),lw(robn)//

2,12/ qw/fS;u2,lw(u),wf3-wf5/a/hgr//

2,50/ qw/fS;u1-2,wf5/a/gebn//

3,00/ /kve///

3,70/ qw/fS;u2,kf,wf5/a/gebn//

3,80/ qw/fG;mg,wf5/f/bn,bu//

3,85/ qw/fS;u2,kf,wf5/a/gebn//

4,85/ /kve///

5,00/ qw/fS;u,lw(u2-3),lw(fg,gs),wf5/a/gegr-gebn//

Bemerkung: Bohrstangen sehr schwer zu ziehen

#### HF4-B 6

Hochwert: 5917727,97

Rechtswert: 3404176,30

Höhe: 3,55 m

Datum: 24.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,40/ qh/fS;u,h,wrz,pf,ef/y-bo/swbn//

0,50/ qh/fS;u1,h1,ef/l/oc//

1,60/ qw/fS;u1,lw(gs),ef/a/gebn//

1,80/ qw/fS;u2-3,wf3/a/hgrbn//

2,00/ qw/mS;gs,fs1,fg1,wf3/f/gebn//

2,50/ qw/fS;u1-2,lw(u),lw(ms,gs),wf3,ab 2,50m(wf5)/a/grbn//

3,00/ qw/fS;u1,wf5/a/hgr//

Bemerkung: Abbruch weil schwer zu bohren. Bohrstangen waren sehr schwer zu ziehen.

#### HF4-B 7

Hochwert: 5917681,30

Rechtswert: 3404232,17

Höhe: 3,00 m

Datum: 25.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,60/ qh/fS;u3-4,h3-4,wrz,ef/y-bo/swbngr//

2,00/ qh/fS;u1,lw(u2-3),ef/y/gebn,slr(or),lw(grblli),lw(or),ab 2,00m(blligr)//

2,70/ qh/Fum;h,fs,lw(pf)/l/robn,lw(dbn),un(bn)//

4,00/ qw/fS;u1-2,lw(u),kf,wf5/a/hbe//

4,10/ qw/fS;u,lw(fg,gs),lw(ms),kf,wf5/a/hgr,orbnfle//

5,00/ qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/grbl/wh/

5,30/ qs/fS;u1,ms1-2,lw(fg,gs2),kf,wf5/gl/hgr//

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.4 Erlenstraße

(Hochwert: 5917678,99; Rechtswert: 3404196,83)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF4-B 7

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**  
7,00/ qs/U;s,x,k,Kalkstückchen,ab 6,00m(k3-4),ab 6,50mX(\*Gn,^k mit Muschelbruchstücke)/Mg/gnligr/fe-stf/

##### HF4-B 8

Hochwert: 5917694,35

Rechtswert: 3404266,73

Höhe: 4,29 m

Datum: 25.10.2007

#### **Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,80/ qh/fS;u,h,ob(wrz),un(yz),wf1-ef/y-bo/swbn//  
1,20/ qw/fS;u2,lw(u),ef/a/ob(or-oc),gebn,slr(robn)//  
1,90/ qw/fS;u1,lw(u2-3),lw(gs),kf,wf5/a/hgebn,orfle//  
2,00/ qw/gS;fg,fs,u1,kf,wf5/a/orbn//  
2,85/ qw/fS;u1,wf5/a/hgebn//  
3,75/ qw/kve (fS;u1,wf5)/a/hgebn,ab 3,60m(orbn)//  
4,30/ qs/U;s,x2,t1,lw(s,fg),kf/Lg/gnligr/wh/  
4,35/ qs/fS;u2,kf,wf5/gl/hgr//  
4,54/ qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/gnligr/wh/  
4,63/ qs/fS;u1-2,kf,wf5/gl/hgr//  
5,00/ qs/U;s,x2,t1,4,73-4,75m(fS;u1,wf5,F:hgr),4,93-4,95m (fS;u1,wf5,F:hgr)/Lg/gnligr/fe/  
Bemerkung: schwer zu bohren, Bohrstangen schwer zu ziehen

##### HF4-B 9

Hochwert: 5917671,31

Rechtswert: 3404156,12

Höhe: 2,75 m

Datum: 25.10.2007

#### **Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,76/ qh/fS;u,h,wrz,ef/y-bo/swbn,lw(sw)//  
1,80/ qh/Hh;Makroreste,Binsen?,hg4-5,ab 1,00m(hg7-8),ab 1,50m(hg5-6),lw(hg3-4)/og/dbn,ab 1,00m(swbn-sw)//  
1,90/ qs/X;g/gf/bu//  
2,40/ qs/U;s,x,g,t1,kf,voe(X)/Lg/blgr/wh/  
2,60/ qs/fS;u1,un(u2-3),kf,wf5/gl/hgr//  
2,90/ qs/U;s,x2,g2,t1,lw(S;wf5,F:gr),kf/Lg/gnligr,lw(gr)/wh/  
2,95/ qs/fS;u1-2,kf,wf5/gl/hgr//  
5,30/ qs/U;x2,g2,lwcm(fs,u),ab 3,00m(t2-3),kf/Lg/gnligr,ab 4,00m(blligr)/wh/  
7,00/ qs/U;s,x,k,Kalkstückchen/Mg/gr/fe/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.4 Erlenstraße

(Hochwert: 5917678,99; Rechtswert: 3404196,83)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF4-B 10

Hochwert: 5917662,86

Rechtswert: 3404105,43

Höhe: 3,54 m

Datum: 25.10.2007

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,30/ qh/fS;h,u2,wf1/y-bo/swbn//

2,50/ qw/fS;u1,1,08-1,14m(fg,gs),1,20-1,26m(fg,gs,mg2),2,10-2,13m(fg,gs),ab 2,00m(lw  
(ms2-3)),wf1,unz(wf3),ab 1,70m(wf5)/a/gebn,ab 3,26m(hbe)//

2,90/ /kve///

3,27/ qw/fS;u1,kf,wf5/a/gebn//

3,33/ qw/mS;fs,gs,u2,fg1,wf5/f/bn//

3,66/ qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/blgr/wh/

3,80/ qs/mS;fs,u2,kf,wf5/gf/hgrbn//

4,00/ qs/gS;fg,x,mg2,wf5/gf/bu-bn,lw(oc)//

4,20/ qs/mS;fs,gs,u2,wf5/gf/blligr//

4,30/ qs/U;s,x2,t1,kf/Lg/blgr/wh/

Bemerkung: Abbruch, weil zu schwer zu bohren.

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF5-B 1

Hochwert: 5918004,67

Rechtswert: 3404194,53

Höhe: 1,41 m

Datum: 17.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,35/ qh/fS;ob(h4),ms1,h1;hz,hg3-4/y-bo/dbngr,un(hbn)//  
2,15/ qh/Hn;hc,hz1,lw(s1),0,65-0,75m(fS;u),hg8/og/dbn-swbn//  
2,85/ qh-qw/Hn;hc,hg3-4/og/robn//  
3,25/ qw/Hn;hz2,hg5/og/dbn//  
4,30/ qw/fS;u1,kf/a/hgr//  
5,32/ qee/Hn;lw(fS;ms1),hc0,hz0,hg8/og/dbn,swbn//  
5,50/ /kve/// (vermutlich: /S;h///)  
6,40/ qee/T;u,ob(h1),ssmm2(fs),ab 5,87-6,00m(U;fs)/l/ob(grbn),ab 5,64m(gr)//  
7,00/ qee/fS;u,k1/f/hgr-be//  
7,45/ qee/fS;u1-2,h1,ms1,lw(h2),kf/l/dgr//  
8,00/ qs/S,ab 7,90m(T);fs,ms,t1,kf/Lg/olbn-dgr//

##### HF5-B 1a

Hochwert: keine

Rechtswert: keine

Höhe: keine

Datum: 18.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,20/ qh/S;h,kf/y-bo/bn//  
0,35/ qh/fS;in 0,25m(bt),kf/l/oc//  
0,55/ qh/Hn;hg7-8,kf/og/dbn//  
0,65/ qh/Hn;hz,hg3-4,kf/og/dbn//  
1,00/ qh/Hn;hz,hzb,kf/og/dbn//  
Bemerkung: Mit Gutz-Bohrer gebohrt.

##### HF5-B 1c

Hochwert: keine

Rechtswert: keine

Höhe: keine

Datum: 18.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,90/ qh/S;h,kf/y-bo/bn//  
1,70/ qh/F;hz,hg3-4/l/drorbn//  
2,45/ qh/Hc;hg3-4/og/orbn//  
2,73/ qh/Hle;hg3-4/og/dgr//  
2,75/ qh/F;s///  
2,90/ qh/fS/l/gr//  
Bemerkung: Mit Gutz-Bohrer gebohrt.

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF5-B 1D

Hochwert: 5918004,67

Rechtswert: 3404193,53

Höhe: 1,41 m

Datum: 22.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,33/ qh//y//

0,38/ qh/S;h4/y-bo/dbn-rolibn//

0,83/ qh/Hn;hz(hze),hc2,hg4/og/drolibn//

0,93/ qh/F;u//dbn-swbn/

2,85/ qh-qw/Hn;hc2,ab 2,00m(hg3-4),hg6-7/og/drolibn,ab 2,00m(or-orbn)/

3,05/ qw/kerniges,grobes Sediment/?/sbn//

Bemerkung: In Nachbarschaft zu B 1, mit Gutz-Bohrer gebohrt.

##### HF5-B 2

Hochwert: 5917996,22

Rechtswert: 3404170,72

Höhe: 1,62 m

Datum: 18.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,15/ qh/fS;ms,kf/y-bo/dbn//

0,57/ qh/Hn;hc5,hz,lw(fs1),hg7,wf3/og/swbn//

0,62/ qh/Hn;fs4,kf/og/dbngr,un(hbe)//

0,80/ qh/Fsm;h4-5,fs3-4,kf//oc-hbn//

1,00/ qh/fS;u2,kf//oc//

Bemerkung: Mit Gutz-Bohrer gebohrt.

##### HF5-B 3

Hochwert: 5917977,05

Rechtswert: 3404148,44

Höhe: 2,27 m

Datum: 19.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,25/ qh/fS;ms/y-bo/dbn/

1,63/ qw/fS;u1,lw(g),un(fg,gs),lw(fS;u,F:gr),wf3/a/be,un(gr)//sscm1-2

2,30/ qw/fS;u1,lw(F;u1/Fsm,F:bn),kf,wf5//bngr//

2,40/ qw/fS;ms,gs1,un(u1),kf,wf5//gr-hgr//

4,65/ qw/fS;u2,un(ms1),4,38-4,42m(ms2),wf5//gr-be//

5,07/ qee/Fum;h,u,kf,wf5//dbn//

5,70/ qee/fS;h1,ms1,kf,wf5//grbn//

6,18/ qee/Fum;h,hg8-9,kf//swbn/ps3/

6,38/ qee/fS;h2,u1,kf,wf5//dbn-swbn//

6,90/ qee/T;u,lw(fs1),kf//gr/ps3/ssmm1

8,57/ qs/fs,ms,u1,lw(ms4),t1,kf,wf5/Lg/gr//

10,00/ qs/fS;u,kf,wf5/gf/dgrbn,un(grbn)//

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF5-B 4

Hochwert: 5917962,42

Rechtswert: 3404110,81

Höhe: 3,08 m

Datum: 20.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,46/	qh/fs;u,h1/y-bo/dbn-swbn//
1,50/	qw/fs;u1,ms1,lw(gs-mS),sf(gs)/a/hbeoc,unz(gn)//
1,72/	qw/Fum:U-fS;h1-2,t1//smgrbn//
1,81/	qw/fs;u2/a/hgr//
2,20/	qw/fs-U;t2,h1/a/bnligr,ob(bn)//
2,95/	qw/Fum:U;fs,h1//dgr,lw(bn),un(bngr)//
4,85/	qw/fs;u2,ms2,lw 3,15-3,25m(h2),ab 4,00m(ms3-4)/f/belihgr//
4,95/	qee/U;fs,h2//dbn//
5,25/	qee/fs;u2/f/be-hgr,un(bn)/
5,66/	qee/fs;h1,unz(h4)/f/bn,un(dbn)//
6,20/	qee/H-F;voe(hz)/og/dbn-swbn//
6,80/	qee/fs;h2,lw(hz)//smbngr,lw(swbn)//
7,40/	qee/Hn;hz2,hg7-8,lw(hg3-4)/og/swbn//
7,65/	qee/fs;u,h2//dbn//
8,00/	qee/T;lw(fs2)//gr,sf(dgr)/sscm
8,90/	qee/mS;u1,lw(gs,fg1)/f/grbn,lw(dgr)//
9,00/	qs/fs3-4,u3-4,ms1,t1,kf/Lg/gr-dgr//

##### HF5-B 5

Hochwert: 5917919,41

Rechtswert: 3404202,98

Höhe: 1,73 m

Datum: 20.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,10/	qh/Hn;s,hc3-4,hg6-7/og/swbn//
0,50/	qh/Hn;unz(s),hg10/og/dbn-swbn//
0,70/	qw/fs;u2/a/oc//
2,00/	qw/fs/a/oc,un(hbnlibe),un(smhbn)/
3,00/	qw/fs;1,95-2,00m(U;fs2,F:hbn),2,07-2,20m(U;fs2,h1,F:hbn)/a/belihgr//
3,90/	qw/fs;lw(gs),unz(lw(ms))/a/belihgr//
4,00/	qee/U;fs,h2//dbn-swbn//
4,10/	qee/fs;u1//beligr/
4,33/	qee/fs;u2,unz(s),ob(h2),un(h1)/f/dbn//
4,46/	qee/U;s2//dbn//
5,00/	qee/fs;u2//gr//
7,45/	qee/Hn;hg8-9,lw(hg5-6)/og/dbn-swbn/fe/ Bemerkung: mit Gutz-Bohrer bis 1,00 m u.GOK gebohrt. Bohrabbruch in 7,45 m u.GOK, weil Hn nicht zu durchteufen ist.

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF5-B 6

Hochwert: 5917883,31

Rechtswert: 3404209,89

Höhe: 3,10 m

Datum: 21.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,30/ qh/fS;h/y-bo/dgr-swbn//  
0,40/ qh/fS;bo-Ac/robn//  
0,75/ qw/fS;lw(ms1,gs1)/a/oc-hrobn,un(hocbn)//  
1,75/ qw/fS;u1,unz(gs,ms),1,30-1,35m(gS)/a/hbegr//  
1,80/ qw/U;h2//bngr//  
2,80/ qw/fS;u2,lw(U,h1),2,44-2,48m(U;h1-2)/a/dbegr//  
2,86/ qw/U;h1-2//bngr//  
4,70/ qw/fS;u2,lw(u3-4),lw(gs)/a/be-bn,slr(bnro),un(lw(dgr))//ab 4,00m(sscm)  
4,80/ qw/fS;u2,h1/a/dbn//  
4,90/ /kve////  
4,95/ qw/U;h2,fs1,t1//dbn//  
5,10/ qw/fS;ms2,u1/f/begr//  
5,15/ qw/fS;h3-4,u2/f/dbn//  
5,40/ qw/gS-mS,fs,h2/f/dbn-bu//  
6,00/ qw/fS;u2/f/begr//  
6,70/ qw/gS;ms4,fs1,fg1/f/bngr,zt(bu)//  
6,90/ qee/Hn;h,hc1,hz1,pf,hg4/og/dorbn//  
8,00/ qee/Hn;hg8-9,lw(hg4-5)/og/swbn//  
Bemerkung: Abbruch in 8,00 m u.GOK, weil Hn nicht zu durchteufen ist.

##### HF5-B 7

Hochwert: 5917977,02

Rechtswert: 3404196,07

Höhe: 1,44 m

Datum: 21.10.2006

#### Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge

0,25/ qh/S;h2,pf/y-bo/dbn//  
1,05/ qh/Hn-F;hz(hze?,hzb?),hg9-10/og/dbn-swbn//  
1,55/ qh/Hn;hc,hle,hg3-4/og/orbn//  
1,65/ qh/Fum;h//bn//  
1,84/ qh/Hn;hc,hle,hg3-4/og/orbn//  
2,05/ qh/grobes Material////  
2,20/ qh/Fhf;u2-3//bngr//  
4,10/ qw/fS;u2,bis 3,00m(zu(u))/a/hgrbe//  
4,15/ qee/fS;u2,h1/f/dbn//  
4,20/ qee/fS;u2-3/f/grbe//  
4,40/ qee/fS;h2,u1-2/f/dgrbn//  
4,75/ qee/U;h4,fs1-2//swbn-bn//  
4,80/ qee/fS;u1/f/grbe//  
5,00/ qee/fS;h4,u2-3/f/swbn//  
5,51/ qee/fS;u1-2,h1-2,lw(h2-3)//f/smgrbn//  
6,95/ qee/Hn;ab 6,00m(lw(u)),hg8/og/swbn//  
7,45/ /kve////

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

##### HF5-B 7

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

7,90/ qee/T;lw(s)/l/gr//

8,00/ qee/fS-mS/f/grbe//

##### HF5-B 8

Hochwert: 5918039,23

Rechtswert: 3404309,74

Höhe: 3,33 m

Datum: 22.10.2006

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,10/ qh/fS;h/y-bo/dbn//

1,50/ qh/fS;ms,u1/y/bn//

4,15/ qw/fS;u1,lw(ms,u2)/a/hgrbe,ab 2,00m(oc),un(grbe),ab 3,00m(hgrbe)//

4,26/ qw/fS;u1,ms1/a/grbn//

4,36/ qw/mS;fs2,u1,gs1/f/bngr//

4,40/ qw/fS;u1,ms1/a/hgrbe//

4,45/ qw/fS;u2,h2/l/dbn//

4,80/ qw/fS;u1/a/hbegr//

4,97/ qw/gS;ms3-4,h,fg1,lw(u1)/f/dbn-bu//

5,00/ qs/S;u4,fs,kf/Lg/gr//

##### HF5-B 9

Hochwert: 5917954,74

Rechtswert: 3404041,68

Höhe: 2,50 m

Datum: 13.09.2008

**Tiefe [m]/ Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge**

0,55/ qh/fS;u,h,pf,wrz,wf1/y-bo/swbn,un(dbn)//

0,80/ qw/fS;ms2,u1,ef/a/gebn,slr(dbn)//

0,85/ qw/Fum;h,s1,wf1-ef/l/dbn//

1,20/ qw/fS;u,h1,ef,ab 0,90m(wf5)/a/dgebn//

1,70/ qw/Fum;h1,lwmm(h),Makroreste//grbn,lwmm(orbn)/wh/

2,00/ qw/fS;u2,ms1,lw(u),wf5/a/hgr//

2,50/ qw/fS;ms2,u1,lw(h2),lw(gs),lw(ms)/f/hgebn,lw(dbn)//

3,25/ qw/fS;ms,u2,lw(gs),wf5/f/gr,ab 3,00m(grbn)//

3,35/ qw/mS;gs,fs2,fg2,u1,wf5/f/bu-grbn//

4,00/ qs/U;s,t1,fg1,ab 3,95m(fg3-4),kf/Lg/grbl/wh/

## A.2 Schichtenverzeichnisse der Hohlformen im Timmelerfeld

### A.2.6 Reitplatzweg

(Hochwert: 5917910; Rechtswert: 3403958)

#### Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrungen

(Altdaten von Juli 1989)

##### Bohrung 10

Hochwert: 5917910,07

Rechtswert: 3403958,39

Höhe: 2,00 m

Datum: 14.07.1989

Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
1,00/	qh/S;u/y-bo//
1,35/	qh/U;s/y-bo//
1,40/	qh/Vegetationszone/y-bo//
1,90/	qh/Hn;hg3-4;lw(he)/og//
2,20/	qh/Hn(Hp);hg5-6/og/hbn-bn//
3,00/	qh/F-H;u,voe(Samen)/og-l/hbn-geli//
3,40/	qh/F-H;u,voe(Samen)/og-l/hbn-geli//
4,00/	qs/U;s,fg,kf/Lg/blgr//
4,50/	qs/U;s/Lg//
5,00/	qs/U;s,fg,kf/Lg/blgr//

##### Bohrung 11

Hochwert: 5917857,50

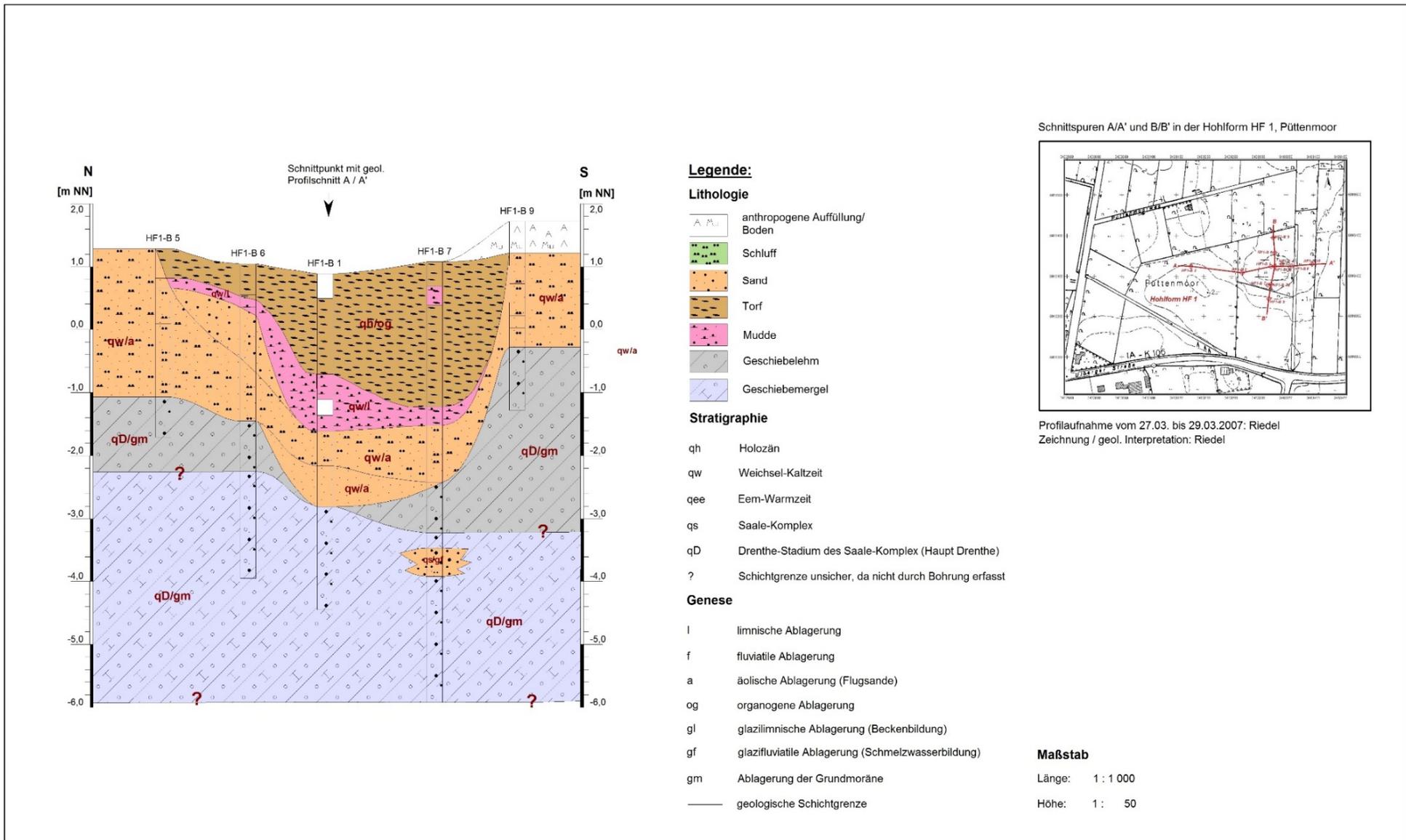
Rechtswert: 3403985,05

Höhe: 2,50 m

Datum: 14.07.1989

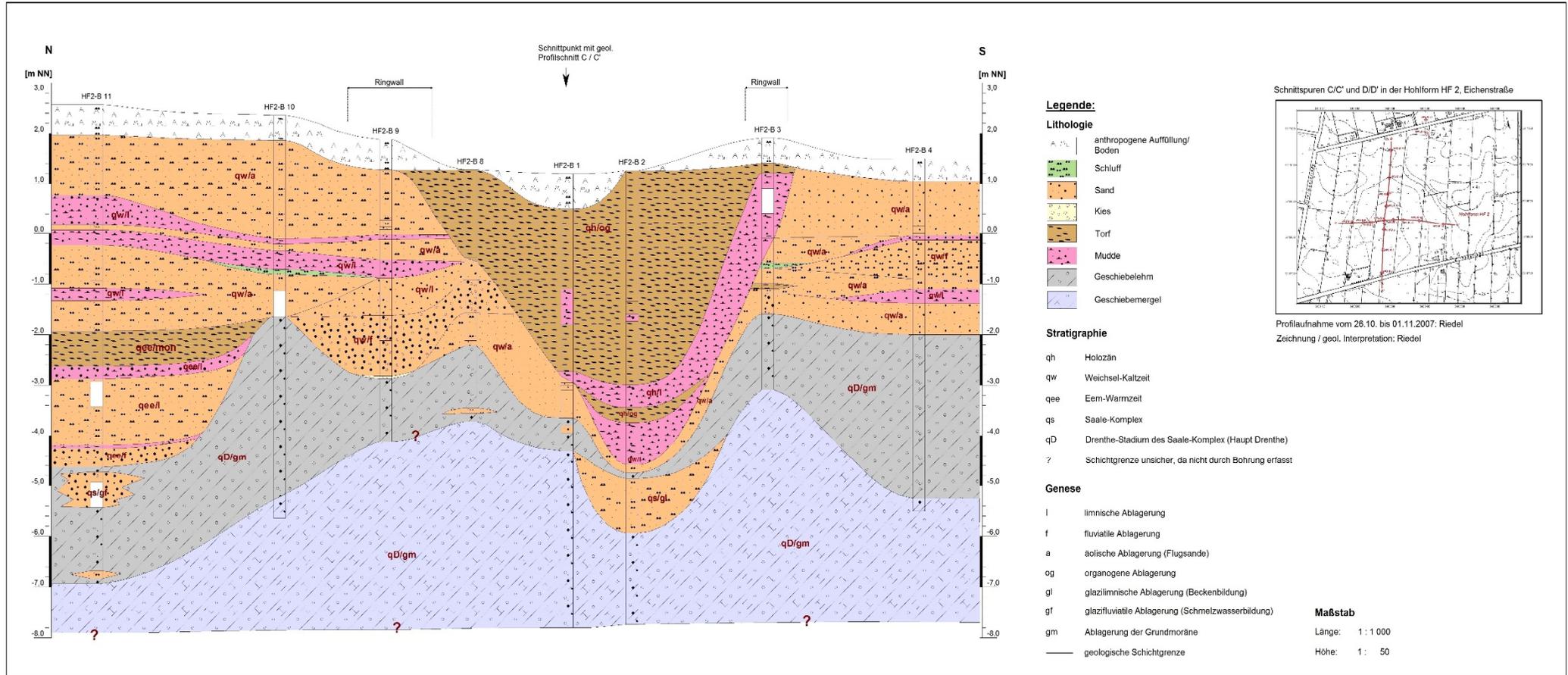
Tiefe [m]/	Stratigraphie / Petrographie / Genese / Farbe / Konsistenz / Lagerung / Gefüge
0,30/	qh/Mu;fs,h/bo//
0,45/	qh/mS;gs/f/bn//
0,55/	qh/H/og//
0,65/	qh/mS/bo-Eoe/bn//
0,70/	qw/mS;fg/f/ge//
1,00/	qw/mS;fs,u/f/bn//
2,00/	qw/S;fs/f/ge//
2,20/	qw/S;fs/f/ge//
2,50/	qs/U;s,mg,kf/Lg//
3,00/	qs/U;s,t2,unz(t),kf/Lg//ps3/

## A.3 Geologische Profilschnitte der Hohlformen im Timmelfeld, Profilaufnahme: 2006 – 2008



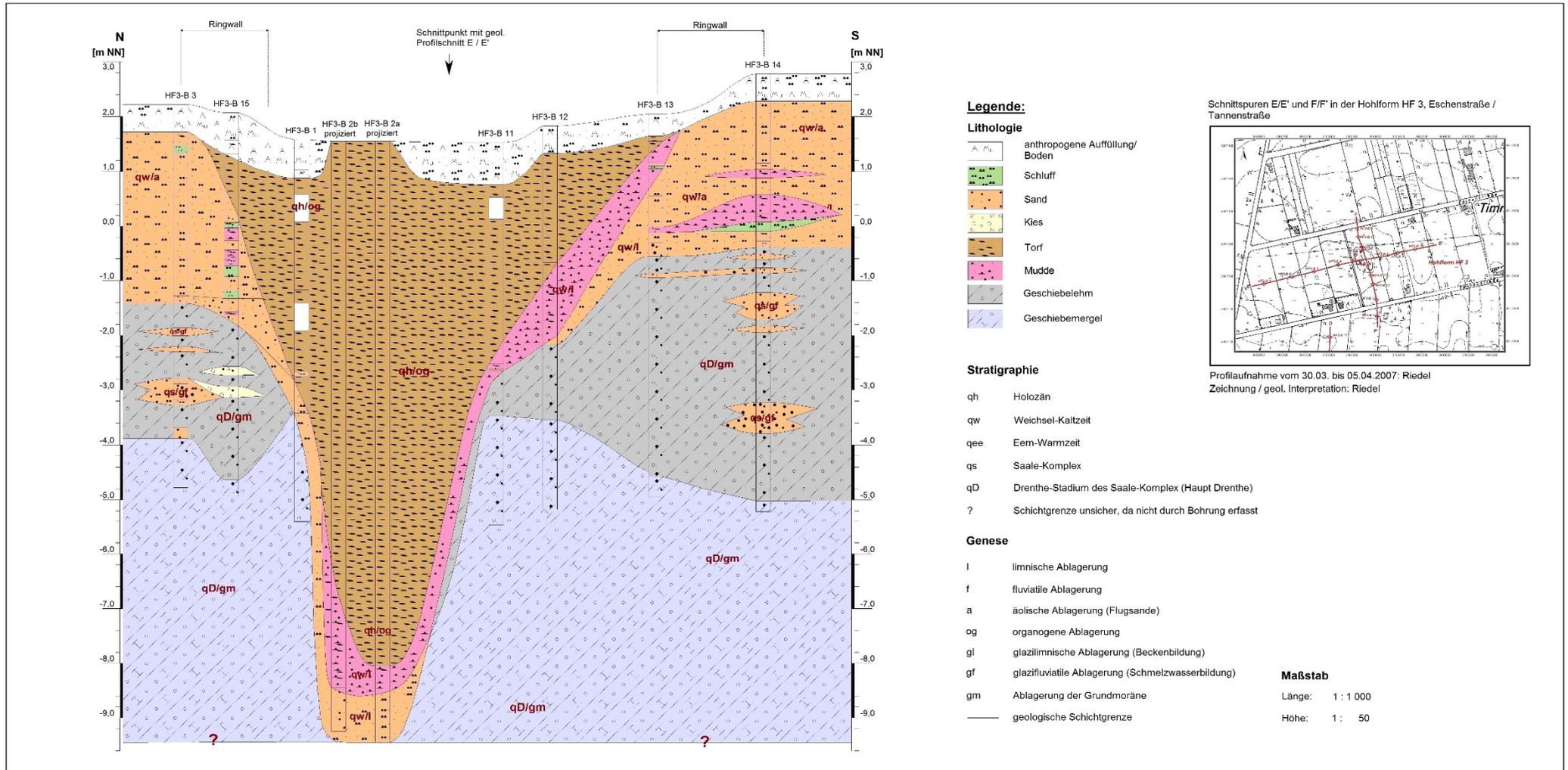
A.3.1 Geologischer Profilschnitt B/B' (N-S) Pultermoor

### A.3 Geologische Profilschnitte der Hohlformen im Timmelfeld, Profilaufnahme: 2006 – 2008



### A.3.2 Geologischer Profilschnitt D/D' (N-S) Ostermoor

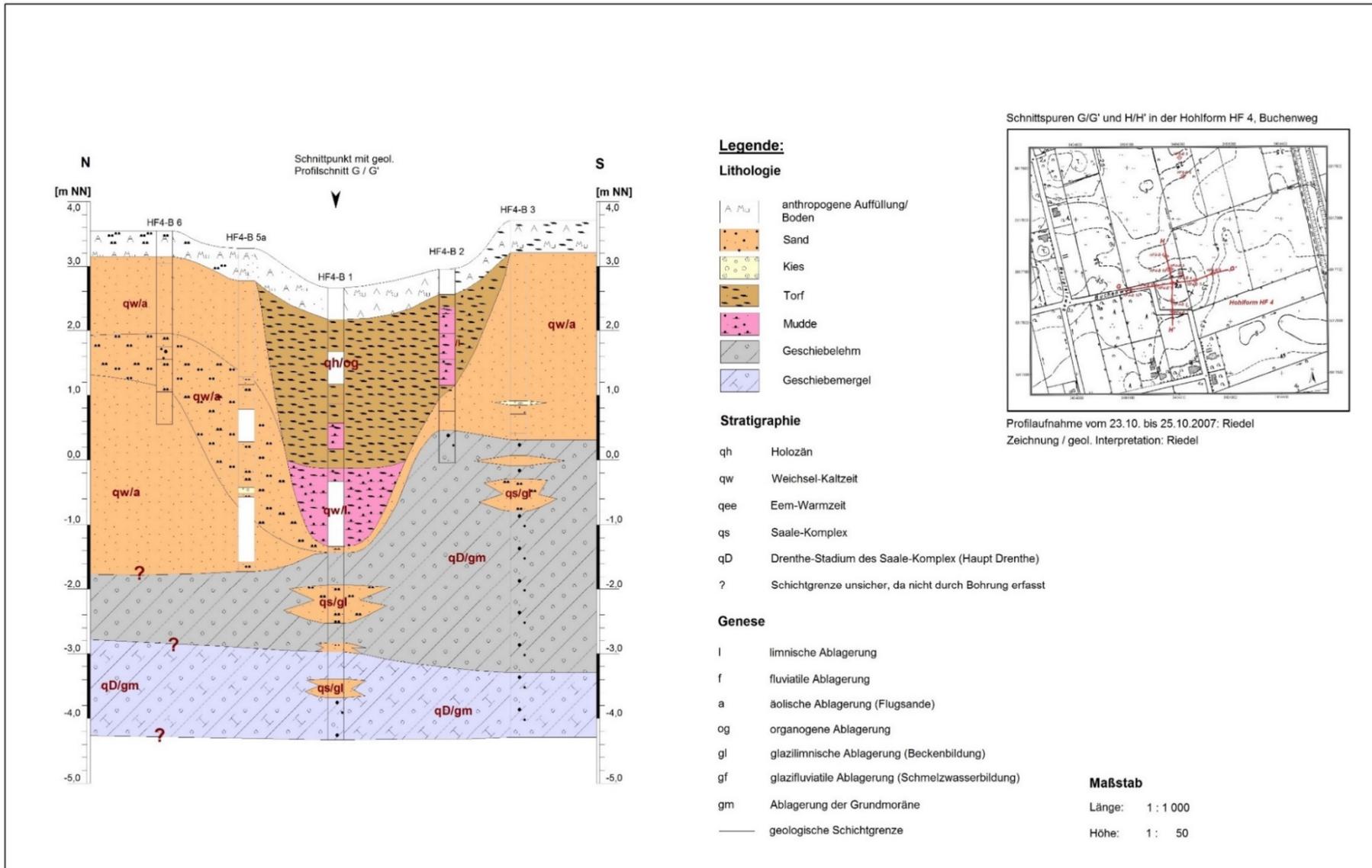
## A.3 Geologische Profilschnitte der Hohlformen im Timmelfeld, Profilaufnahme: 2006 – 2008



### A.3.3 Geologischer Profilschnitt F/F' (N-S) Kolk

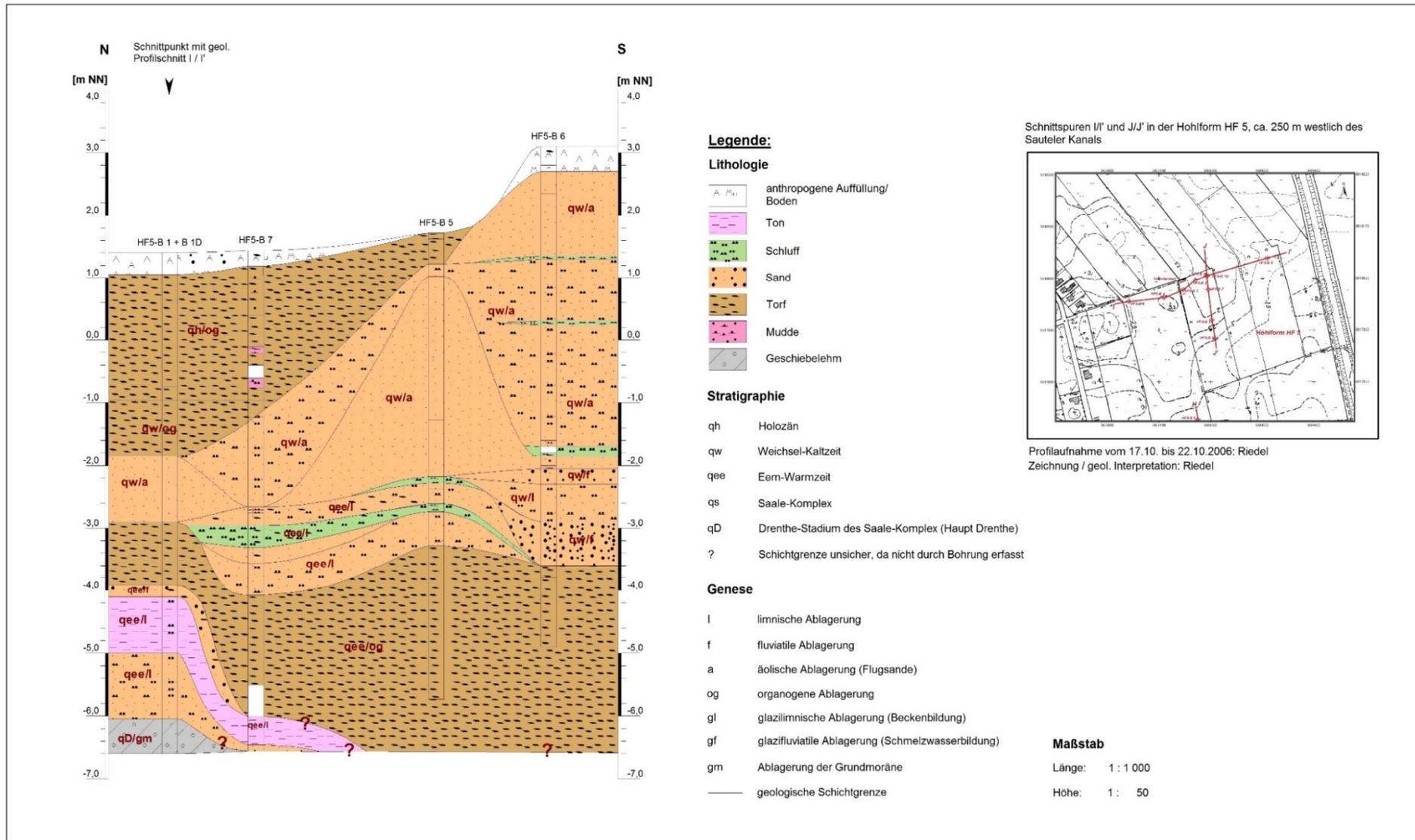
A.3.3-3

## A.3 Geologische Profilschnitte der Hohlformen im Timmelfeld, Profilaufnahme: 2006 – 2008



### A.3.4 Geologischer Profilschnitt H/H' (N-S) Erlenstraße

## A.3 Geologische Profilschnitte der Hohlformen im Timmelerfeld, Profilaufnahme: 2006 – 2008



A.3.5 Geologischer Profilschnitt J/J' (N-S) Osterweide

## Anhang A.4 Hoch- und Rechtswerte sowie Höhen

### A.4.1 Pultermoor

(Hochwert: 5916416,22; Rechtswert: 3403328,11)

Bohrung	Hochwert	Rechtswert	Höhe [m NN]
HF1-B1	5916418	3403330	0,89
HF1-B1a	5916418	3403323	0,89
HF1-B2	5916406	3403270	1,43
HF1-B3	5916418	3403177	1,71
HF1-B4	5916419	3403361	1,04
HF1-B5	5916470	3403327	1,29
HF1-B6	5916443	3403330	1,05
HF1-B7	5916384	3403323	1,09
HF1-B7a	5916383	3403317	1,09
HF1-B8	5916422	3403343	1,10
HF1-B9	5916358	3403319	1,72
HF1-B10	5916422	3403398	1,66
MP HF1	5916416	3403328	--

Anmerkung: --: keine Angabe      MP: Mittelpunkt Hohlform

### A.4.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

Bohrung	Hochwert	Rechtswert	Höhe [m NN]
HF2-B1	5916848	3403283	1,20
HF2-B2	5916821	3403283	1,26
HF2-B3	5916765	3403280	1,19
HF2-B4	5916702	3403277	1,50
HF2-B5	5916842	3403246	1,39
HF2-B6	5916842	3403224	1,76
HF2-B7	5916841	3403194	2,18
HF2-B8	5916887	3403290	1,28
HF2-B9	5916922	3403296	1,88
HF2-B10	5916965	3403298	2,36
HF2-B11	5917040	3403303	2,57
HF2-B12	5916849	3403310	1,41
HF2-B13	5916849	3403337	1,70
HF2-B14	5916847	3403384	1,82
HF2-B15	5916836	3403453	2,51
MP HF2	5916812	3403287	--

Anmerkung: --: keine Angabe      MP: Mittelpunkt Hohlform

## Anhang A.4 Hoch- und Rechtswerte sowie Höhen

### A.4.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

Bohrung	Hochwert	Rechtswert	Höhe [m NN]
HF3-B1	5917244	3403372	1,58
HF3-B2	5917213	3403355	1,55
HF3-B2a	5917213	3403368	1,55
HF3-B2b	5917227	3403358	1,55
HF3-B3	5917285	3403362	2,23
HF3-B4	5917203	3403321	1,74
HF3-B5	5917188	3403269	1,73
HF3-B6	5917176	3403221	1,87
HF3-B7	5917160	3403161	2,00
HF3-B8	5917222	3403413	1,63
HF3-B9	5917232	3403449	2,37
HF3-B10	5917240	3403486	3,21
HF3-B11	5917179	3403391	1,54
HF3-B12	5917160	3403395	1,83
HF3-B13	5917124	3403403	2,06
HF3-B14	5917087	3403405	2,79
HF3-B15	5917267	3403364	2,08
MP HF3	5917198	3403320	--

Anmerkung: --: keine Angabe      MP: Mittelpunkt Hohlform

### A.4.4 Erlenstraße

(Hochwert: 5917678,99; Rechtswert: 3404196,83)

Bohrung	Hochwert	Rechtswert	Höhe [m NN]
HF4-B1	5917676	3404188	2,67
HF4-B2	5917641	3404187	2,91
HF4-B3	5917619	3404188	3,71
HF4-B4	5917694	3404204	2,86
HF4-B5	5917703	3404185	3,28
HF4-B5a	5917703	3404180	3,28
HF4-B6	5917728	3404176	3,55
HF4-B7	5917681	3404232	3,00
HF4-B8	5917694	3404267	4,29
HF4-B9	5917671	3404156	2,75
HF4-B10	5917663	3404105	3,54
MP HF4	5917679	3404197	--

Anmerkung: --: keine Angabe      MP: Mittelpunkt Hohlform

## Anhang A.4 Hoch- und Rechtswerte sowie Höhen

### A.4.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

Bohrung	Hochwert	Rechtswert	Höhe [m NN]
HF5-B1	5918005	3404194	1,41
HF5-B1D	5918005	3404193	1,41
HF5-B2	5917996	3404171	1,62
HF5-B3	5917977	3404148	2,27
HF5-B4	5917962	3404111	3,08
HF5-B5	5917919	3404203	1,73
HF5-B6	5917883	3404210	3,10
HF5-B7	5917977	3404196	1,44
HF5-B8	5918039	3404310	3,33
HF5-B9	5917955	3404042	2,50
MP HF5	5917973	3404182	--

Anmerkung: --: keine Angabe      MP: Mittelpunkt Hohlform

### A.4.6 Reitplatzweg

(Hochwert: 5917910; Rechtswert: 3403958)

Bohrung	Hochwert	Rechtswert	Höhe [m NN]
B 10	5917 910	3403 958	2,00
B 11	5917 858	3403 985	2,50

## B.1 Probenliste

### B.1.1 Pultermoor

(Hochwert: 5916416,22; Rechtswert: 3403328,11)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

#### Bohrung B 1

**B 1/1: 0,50 - 0,55 m**

B 1/2: 0,55 - 0,60 m

B 1/3: 0,60 - 0,65 m

B 1/4: 0,65 - 0,70 m

**B 1/5: 0,70 - 0,75 m**

B 1/6: 0,75 - 0,80 m

B 1/7: 0,80 - 0,85 m

B 1/8: 0,85 - 0,90 m

**B 1/9: 1,00 - 1,05 m**

B 1/10: 1,05 - 1,10 m

B 1/11: 1,10 - 1,15 m

B 1/12: 1,15 - 1,20 m

**B 1/13: 1,20 - 1,25 m**

B 1/14: 1,25 - 1,30 m

B 1/15: 1,30 - 1,35 m

**B 1/16: 1,35 - 1,40 m**

#### Bohrung B 2

B 2/1: 1,70 - 1,80 m

B 2/2: 2,25 - 2,35 m

#### Bohrung B 4

B 4/1: 0,55 - 0,60 m

B 4/2: 0,60 - 0,65 m

B 4/3: 0,65 - 0,70 m

B 4/4: 0,70 - 0,75 m

#### Bohrung B 7

B 7/1: 0,40 - 0,45 m

B 7/2: 0,55 - 0,60 m

B 7/3: 0,65 - 0,70 m

B 7/4: 0,70 - 0,75 m

B 7/5: 0,75 - 0,80 m

B 7/6: 0,80 - 0,85 m

B 7/7: 0,85 - 0,90 m

B 7/8: 0,90 - 0,95 m

B 7/9: 0,95 - 1,00 m

B 7/10: 1,00 - 1,05 m

#### Bohrung B 7

**B 7/11: 1,80 - 1,85 m**

B 7/12: 1,85 - 1,90 m

B 7/13: 1,90 - 1,95 m

B 7/14: 1,95 - 2,00 m

**B 7/15: 2,00 - 2,05 m**

B 7/16: 2,05 - 2,10 m

B 7/17: 2,10 - 2,15 m

B 7/18: 2,15 - 2,20 m

**B 7/19: 2,20 - 2,25 m**

**B 7/20: 2,25 - 2,30 m**

#### Bohrung B 8

B 8/1: 0,60 - 0,65 m

B 8/2: 0,65 - 0,70 m

B 8/3: 0,70 - 0,75 m

B 8/4: 0,75 - 0,80 m

B 8/5: 0,80 - 0,85 m

B 8/6: 0,85 - 0,90 m

B 8/7: 0,90 - 0,95 m

#### Bohrung B 8

B 8/8: 0,95 - 1,00 m

B 8/9: 1,25 - 1,30 m

B 8/10: 1,30 - 1,35 m

B 8/11: 1,40 - 1,45 m

B 8/12: 1,45 - 1,50 m

B 8/13: 1,50 - 1,55 m

#### Bohrung B 1a

**B 1a/1: 1,70 - 1,75 m**

B 1a/2: 1,75 - 1,80 m

**B 1a/3: 1,80 - 1,85 m**

B 1a/4: 1,85 - 1,90 m

**B 1a/5: 1,90 - 1,95 m**

B 1a/6: 2,05 - 2,10 m

#### Bohrung B 1a

**B 1a/7: 2,10 - 2,15 m**

B 1a/8: 2,15 - 2,20 m

**B 1a/9: 2,20 - 2,25 m**

B 1a/10: 2,25 - 2,30 m

**B 1a/11: 2,30 - 2,35 m**

#### Bohrung B 7a

**B 7a/1: 1,30 - 1,35 m**

B 7a/2: 1,35 - 1,40 m

**B 7a/3: 1,40 - 1,45 m**

B 7a/4: 1,45 - 1,50 m

**B 7a/5: 1,50 - 1,55 m**

## B.1 Probenliste

### B.1.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

#### Bohrung B 1

B 1/1: 0,75 -0,80 m  
B 1/2: 0,80 -0,85 m  
B 1/3: 0,85 -0,90 m  
B 1/4: 0,90 -0,95 m  
B 1/5: 0,95 -1,00 m  
B 1/6: 1,25 -1,30 m  
B 1/7: 1,30 -1,35 m  
B 1/8: 1,35 -1,40 m  
B 1/9: 1,40 -1,45 m  
B 1/10: 1,45 -1,50 m  
B 1/11: 1,55 -1,60 m  
B 1/12: 1,60 -1,65 m  
B 1/13: 1,65 -1,70 m  
B 1/14: 1,70 -1,75 m  
B 1/15: 1,75 -1,80 m  
B 1/16: 1,80 -1,85 m

#### Bohrung B 1

B 1/17: 1,85 -1,90 m  
B 1/18: 1,90 -1,95 m  
B 1/19: 2,05 -2,10 m  
B 1/20: 2,10 -2,15 m  
B 1/21: 2,15 -2,20 m  
B 1/22: 2,20 -2,25 m  
B 1/23: 2,25 -2,30 m  
B 1/24: 2,30 -2,35 m  
B 1/25: 2,35 -2,40 m  
B 1/26: 2,40 -2,45 m  
B 1/27: 2,55 -2,60 m  
B 1/28: 2,60 -2,65 m  
B 1/29: 2,65 -2,70 m  
B 1/30: 2,70 -2,75 m  
B 1/31: 2,75 -2,80 m  
B 1/32: 2,80 -2,85 m

#### Bohrung B 1

B 1/33: 2,85 -2,90 m  
B 1/34: 2,90 -2,95 m  
B 1/35: 3,30 -3,35 m  
B 1/36: 3,35 -3,40 m  
B 1/37: 3,40 -3,45 m  
B 1/38: 3,45 -3,50 m  
B 1/39: 3,55 -3,60 m  
B 1/40: 3,60 -3,65 m  
B 1/41: 3,65 -3,70 m  
B 1/42: 3,70 -3,75 m  
B 1/43: 3,75 -3,80 m  
B 1/44: 3,80 -3,85 m  
B 1/45: 3,85 -3,90 m  
B 1/46: 3,90 -3,95 m  
B 1/47: 4,05 -4,10 m

#### Bohrung B 2

**B 2/1: 0,35 - 0,40 m**  
B 2/2: 0,40 - 0,45 m  
B 2/3: 0,45 - 0,50 m  
**B 2/4: 0,55 - 0,60 m**  
B 2/5: 0,60 - 0,65 m  
B 2/6: 0,65 - 0,70 m  
B 2/7: 0,70 - 0,75 m  
**B 2/8: 0,75 - 0,80 m**  
**B 2/8A: 0,75 - 0,80 m**  
B 2/9: 0,80 - 0,85 m  
B 2/10: 0,85 - 0,90 m  
**B 2/11: 0,90 - 0,95 m**  
**B 2/12: 1,35 - 1,40 m**  
B 2/13: 1,40 - 1,45 m  
**B 2/14: 1,55 - 1,60 m**  
B 2/15: 1,60 - 1,65 m  
B 2/16: 1,65 - 1,70 m  
B 2/17: 1,70 - 1,75 m  
**B 2/18: 1,75 - 1,80 m**  
B 2/19: 1,80 - 1,85 m  
B 2/20: 1,85 - 1,90 m  
**B 2/21: 1,90 - 1,95 m**  
B 2/22: 2,05 - 2,10 m

#### Bohrung B 2

**B 2/23: 2,10 - 2,15 m**  
B 2/24: 2,15 - 2,20 m  
B 2/25: 2,20 - 2,25 m  
B 2/26: 2,25 - 2,30 m  
**B 2/27: 2,30 - 2,35 m**  
B 2/28: 2,35 - 2,40 m  
B 2/29: 2,40 - 2,45 m  
**B 2/30: 2,45 - 2,50 m**  
B 2/31: 2,55 - 2,60 m  
B 2/32: 2,60 - 2,65 m  
**B 2/33: 2,65 - 2,70 m**  
B 2/34: 2,70 - 2,75 m  
B 2/35: 2,75 - 2,80 m  
B 2/36: 2,80 - 2,85 m  
**B 2/37: 2,85 - 2,90 m**  
B 2/38: 2,90 - 2,95 m  
**B 2/39: 3,40 - 3,45 m**  
B 2/40: 3,45 - 3,50 m  
B 2/41: 3,55 - 3,60 m  
**B 2/42: 3,60 - 3,65 m**  
B 2/43: 3,65 - 3,70 m  
B 2/44: 3,70 - 3,75 m  
B 2/45: 3,75 - 3,80 m

#### Bohrung B 2

**B 2/46: 3,80 - 3,85 m**  
B 2/47: 3,85 - 3,90 m  
B 2/48: 3,90 - 3,95 m  
**B 2/49: 4,05 - 4,10 m**  
B 2/50: 4,10 - 4,15 m  
B 2/51: 4,15 - 4,20 m  
B 2/52: 4,20 - 4,25 m  
**B 2/53: 4,25 - 4,30 m**  
B 2/54: 4,30 - 4,35 m  
B 2/55: 4,35 - 4,40 m  
**B 2/56: 4,40 - 4,45 m**  
B 2/57: 4,55 - 4,60 m  
**B 2/58: 4,60 - 4,65 m**  
B 2/59: 4,65 - 4,70 m  
B 2/60: 4,70 - 4,75 m  
B 2/61: 4,75 - 4,80 m  
**B 2/62: 4,80 - 4,85 m**  
B 2/63: 4,85 - 4,90 m  
**B 2/64: 4,90 - 4,95 m**  
**B 2/65: 5,55 - 5,65 m**  
B 2/66: 5,65 - 5,75 m  
**B 2/67: 5,75 - 5,85 m**

## B.1 Probenliste

### B.1.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

#### Bohrung B 3

B 3/1: 0,55 - 0,60 m  
B 3/2: 0,60 - 0,65 m  
B 3/3: 0,65 - 0,70 m  
B 3/4: 0,70 - 0,75 m  
B 3/5: 0,75 - 0,80 m  
B 3/6: 0,80 - 0,85 m  
B 3/7: 0,85 - 0,90 m  
B 3/8: 0,90 - 0,95 m  
B 3/9: 1,55 - 1,60 m

#### Bohrung B 3

B 3/10: 1,60 - 1,65 m  
B 3/11: 1,65 - 1,70 m  
B 3/12: 1,70 - 1,75 m  
B 3/13: 1,75 - 1,80 m  
B 3/14: 1,80 - 1,85 m  
B 3/15: 1,85 - 1,90 m  
B 3/16: 1,90 - 1,95 m  
B 3/17: 2,55 - 2,60 m  
B 3/18: 2,90 - 2,95 m

#### Bohrung B 4

B 4/1: 2,60 - 2,65 m  
B 4/2: 2,65 - 2,70 m  
B 4/3: 2,70 - 2,75 m  
B 4/4: 2,75 - 2,80 m  
B 4/5: 2,80 - 2,85 m

#### Bohrung B 5

B 5/1: 0,55 - 0,60 m  
B 5/2: 0,60 - 0,65 m  
B 5/3: 0,65 - 0,70 m  
B 5/4: 0,70 - 0,75 m  
B 5/5: 0,75 - 0,80 m  
B 5/6: 0,80 - 0,85 m  
B 5/7: 1,68 - 1,73 m

#### Bohrung B 5

B 5/8: 1,73 - 1,78 m  
B 5/9: 1,78 - 1,83 m  
B 5/10: 1,83 - 1,88 m  
B 5/11: 1,88 - 1,93 m  
B 5/12: 2,53 - 2,57 m  
B 5/13: 2,70 - 2,80 m

#### Bohrung B 6

B 6/1: 1,42 - 1,50 m  
B 6/2: 1,55 - 1,65 m  
B 6/3: 1,65 - 1,75 m  
B 6/4: 1,75 - 1,85 m  
B 6/5: 1,85 - 1,95 m  
B 6/6: 2,05 - 2,15 m  
B 6/7: 2,15 - 2,20 m  
B 6/8: 2,20 - 2,25 m  
B 6/9: 2,60 - 2,70 m  
B 6/10: 3,36 - 3,46 m  
B 6/11: 3,55 - 3,65 m  
B 6/12: 3,65 - 3,73 m

#### Bohrung B 7

B 7/1: 3,40 - 3,45 m

## B.1 Probenliste

### B.1.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

#### Bohrung B 8

B 8/1: 0,35 - 0,40 m  
B 8/2: 0,40 - 0,45 m  
B 8/3: 0,55 - 0,60 m  
B 8/4: 0,60 - 0,65 m  
B 8/5: 0,65 - 0,70 m  
B 8/6: 0,70 - 0,75 m  
B 8/7: 0,75 - 0,80 m  
B 8/8: 0,80 - 0,85 m  
B 8/9: 0,85 - 0,90 m  
B 8/10: 0,90 - 0,95 m  
B 8/11: 1,40 - 1,45 m

#### Bohrung B 8

B 8/12: 1,55 - 1,60 m  
B 8/13: 1,60 - 1,65 m  
B 8/14: 1,65 - 1,70 m  
B 8/15: 1,70 - 1,75 m  
B 8/16: 2,25 - 2,35 m  
B 8/17: 2,35 - 2,45 m  
B 8/18: 2,55 - 2,65 m  
B 8/19: 2,65 - 2,75 m  
B 8/20: 2,75 - 2,85 m  
B 8/21: 2,85 - 2,95 m

#### Bohrung B 9

B 9/1: 2,55 - 2,60 m  
B 9/2: 2,60 - 2,65 m  
B 9/3: 2,65 - 2,70 m  
B 9/4: 2,70 - 2,75 m  
B 9/5: 3,60 - 3,70 m  
B 9/6: 3,70 - 3,80 m

#### Bohrung 10

B 10/1: 2,70 - 2,75 m  
B 10/2: 2,75 - 2,80 m  
B 10/3: 2,80 - 2,85 m  
B 10/4: 2,85 - 2,90 m  
B 10/5: 2,90 - 2,95 m  
B 10/6: 3,02 - 3,07 m

#### Bohrung B 11

**B 11/1: 2,55 - 2,60 m**  
B 11/2: 2,60 - 2,65 m  
B 11/3: 2,65 - 2,70 m  
B 11/4: 2,70 - 2,75 m  
**B 11/5: 2,75 - 2,80 m**  
**B 11/6: 3,65 - 3,70 m**  
B 11/7: 3,70 - 3,75 m  
**B 11/8: 3,75 - 3,80 m**  
B 11/9: 3,80 - 3,85 m  
B 11/10: 3,85 - 3,90 m  
**B 11/11: 3,90 - 3,95 m**  
**B 11/12: 4,55 - 4,60 m**

#### Bohrung B 11

B 11/13: 4,60 - 4,65 m  
B 11/14: 4,65 - 4,70 m  
B 11/15: 4,70 - 4,75 m  
**B 11/16: 4,75 - 4,80 m**  
B 11/17: 4,80 - 4,85 m  
B 11/18: 4,85 - 4,90 m  
**B 11/19: 4,90 - 4,95 m**  
B 11/20: 5,05 - 5,10 m  
B 11/21: 5,10 - 5,15 m  
**B 11/22: 5,15 - 5,20 m**  
B 11/23: 5,20 - 5,30 m  
**B 11/24: 5,30 - 5,40 m**

#### Bohrung B 11

**B 11/25: 6,75 - 6,82 m**

## B.1 Probenliste

### B.1.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

#### Bohrung B 12

B 12/1: 0,70 - 0,75 m  
B 12/2: 0,75 - 0,80 m  
B 12/3: 0,80 - 0,85 m  
B 12/4: 0,85 - 0,90 m  
B 12/5: 0,90 - 0,95 m  
B 12/6: 1,55 - 1,60 m  
B 12/7: 1,60 - 1,65 m  
B 12/8: 1,65 - 1,70 m  
B 12/9: 1,70 - 1,75 m  
B 12/10: 1,75 - 1,80 m  
B 12/11: 1,80 - 1,85 m  
B 12/12: 1,85 - 1,90 m  
B 12/13: 1,90 - 1,95 m

#### Bohrung B 12

B 12/14: 2,05 - 2,10 m  
B 12/15: 2,10 - 2,15 m  
B 12/16: 2,15 - 2,20 m  
B 12/17: 2,30 - 2,40 m  
B 12/18: 2,40 - 2,50 m  
B 12/19: 2,60 - 2,65 m  
B 12/20: 2,65 - 2,70 m  
B 12/21: 2,70 - 2,75 m  
B 12/22: 2,75 - 2,80 m  
B 12/23: 2,80 - 2,90 m  
B 12/24: 3,35 - 3,45 m  
B 12/25: 3,55 - 3,65 m  
B 12/26: 3,65 - 3,75 m

#### Bohrung 14

B 14/1: 1,60 - 1,70 m  
B 14/2: 1,70 - 1,80 m  
B 14/3: 1,80 - 1,90 m  
B 14/4: 1,90 - 1,95 m  
B 14/5: 2,30 - 2,40 m  
B 14/6: 2,55 - 2,60 m  
B 14/7: 2,60 - 2,65 m  
B 14/8: 2,65 - 2,70 m

#### Bohrung 14

B 14/9: 2,70 - 2,75 m  
B 14/10: 2,75 - 2,80 m  
B 14/11: 2,80 - 2,85 m  
B 14/12: 2,85 - 2,90 m  
B 14/13: 2,90 - 2,95 m  
B 14/14: 3,05 - 3,10 m

#### Bohrung B 15

B 15/1: 1,80 - 1,85 m  
B 15/2: 1,85 - 1,90 m  
B 15/3: 1,90 - 1,95 m  
B 15/4: 2,10 - 2,15 m  
B 15/5: 2,15 - 2,20 m  
B 15/6: 2,20 - 2,25 m  
B 15/7: 2,25 - 2,30 m  
B 15/8: 2,30 - 2,35 m

## B.1 Probenliste

### B.1.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

**grün:** Proben von B2a/1 bis B2a/16 nicht palynologisch untersuchen, da bis 8.00 m überbohrt wurde, ohne meterweise die Nut zu ziehen. Proben sind fehlerbehaftet. Die 2m-Nut beinhaltet vermutlich nur den 4. und 5. Bohrmeter.

#### Bohrung B 1

B 1/1: 0,70 - 0,75 m  
B 1/2: 0,75 - 0,80 m  
B 1/3: 0,80 - 0,85 m  
B 1/4: 0,85 - 0,90 m  
B 1/5: 0,90 - 0,95 m  
B 1/6: 1,60 - 1,65 m  
B 1/7: 1,65 - 1,70 m  
B 1/8: 1,70 - 1,75 m  
B 1/9: 1,75 - 1,80 m  
B 1/10: 1,80 - 1,85 m  
B 1/11: 1,85 - 1,90 m  
B 1/12: 1,90 - 1,95 m

#### Bohrung B 1

B 1/13: 1,95 - 2,00 m  
B 1/14: 2,05 - 2,10 m  
B 1/15: 2,10 - 2,15 m  
B 1/16: 2,15 - 2,20 m  
B 1/17: 2,20 - 2,25 m  
B 1/18: 2,25 - 2,30 m  
B 1/19: 2,30 - 2,35 m  
B 1/20: 2,35 - 2,40 m  
B 1/21: 2,40 - 2,45 m  
B 1/22: 2,50 - 2,55 m  
B 1/23: 2,55 - 2,60 m  
B 1/24: 2,60 - 2,65 m

#### Bohrung B 1

B 1/25: 2,65 - 2,70 m  
B 1/26: 2,70 - 2,75 m  
B 1/27: 2,74 - 2,80 m  
B 1/28: 2,80 - 2,85 m  
B 1/29: 2,85 - 2,90 m  
B 1/30: 2,90 - 2,95 m  
B 1/31: 3,65 - 3,70 m  
B 1/32: 3,70 - 3,75 m  
B 1/33: 3,75 - 3,80 m  
B 1/34: 4,35 - 4,40 m

#### Bohrung B 2

**B 2/1: 0,60 - 0,65 m**  
B 2/2: 0,65 - 0,70 m  
B 2/3: 0,70 - 0,75 m  
B 2/4: 0,75 - 0,80 m  
**B 2/5: 0,80 - 0,85 m**  
B 2/6: 0,85 - 0,90 m  
**B 2/7: 0,90 - 0,95 m**  
**B 2/8: 1,30 - 1,35 m**  
B 2/9: 1,35 - 1,40 m  
B 2/10: 1,40 - 1,45 m  
**B 2/11: 1,45 - 1,50 m**  
B 2/12: 1,55 - 1,60 m  
B 2/13: 1,60 - 1,65 m  
**B 2/14: 1,65 - 1,70 m**  
B 2/15: 1,70 - 1,75 m  
B 2/16: 1,75 - 1,80 m  
B 2/17: 1,80 - 1,85 m  
**B 2/18: 1,85 - 1,90 m**  
B 2/19: 1,90 - 1,95 m

#### Bohrung B 2

**B 2/21: 2,05 - 2,10 m**  
B 2/22: 2,10 - 2,15 m  
**B 2/23: 2,25 - 2,30 m**  
B 2/24: 2,30 - 2,35 m  
B 2/25: 2,35 - 2,40 m  
**B 2/26: 2,40 - 2,45 m**  
B 2/27: 2,50 - 2,55 m  
B 2/28: 2,55 - 2,60 m  
**B 2/29: 2,60 - 2,65 m**  
B 2/30: 2,65 - 2,70 m  
B 2/31: 2,70 - 2,75 m  
B 2/32: 2,75 - 2,80 m  
**B 2/33: 2,80 - 2,85 m**  
B 2/34: 2,85 - 2,90 m  
**B 2/35: 2,90 - 2,95 m**  
**B 2/36: 3,40 - 3,45 m**  
B 2/37: 3,45 - 3,50 m  
**B 2/38: 3,55 - 3,60 m**  
**B 2/39: 3,85 - 3,90 m**

#### Bohrung B 2

B 2/41: 3,95 - 4,00 m  
**B 2/42: 4,05 - 4,10 m**  
B 2/43: 4,10 - 4,15 m  
B 2/44: 4,20 - 4,25 m  
**B 2/45: 4,25 - 4,30 m**  
B 2/46: 4,30 - 4,35 m  
**B 2/47: 4,35 - 4,40 m**  
B 2/48: 4,65 - 4,70 m  
**B 2/49: 4,70 - 4,75 m**  
B 2/50: 4,75 - 4,80 m  
B 2/51: 4,80 - 4,85 m  
B 2/52: 4,85 - 4,90 m  
**B 2/53: 4,90 - 4,95 m**  
**B 2/54: 6,15 - 6,20 m**  
B 2/55: 6,20 - 6,25 m  
B 2/56: 6,25 - 6,30 m  
**B 2/57: 6,30 - 6,35 m**  
B 2/58: 6,35 - 6,40 m  
**B 2/59: 6,60 - 6,80 m**

#### Bohrung B 3

B 3/1: 0,80 - 0,85 m

## B.1 Probenliste

### B.1.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

**grün:** Proben von B2a/1 bis B2a/16 nicht palynologisch untersuchen, da bis 8.00 m überbohrt wurde, ohne meterweise die Nut zu ziehen. Proben sind fehlerbehaftet. Die 2m-Nut beinhaltet vermutlich nur den 4. und 5. Bohrmeter.

#### Bohrung B 4

B 4/1: 0,30 - 0,35 m  
B 4/2: 0,35 - 0,40 m  
B 4/3: 0,40 - 0,45 m  
B 4/4: 0,45 - 0,50 m  
B 4/5: 0,55 - 0,60 m  
B 4/6: 0,60 - 0,65 m  
B 4/7: 0,65 - 0,70 m  
B 4/8: 0,70 - 0,75 m  
B 4/9: 0,75 - 0,80 m  
B 4/10: 0,80 - 0,85 m  
B 4/11: 0,85 - 0,90 m  
B 4/12: 0,90 - 1,00 m  
B 4/13: 1,47 - 1,58 m  
B 4/14: 1,90 - 1,95 m

#### Bohrung B 4

B 4/16: 2,05 - 2,10 m  
B 4/17: 2,10 - 2,15 m  
B 4/18: 2,15 - 2,20 m  
B 4/19: 2,20 - 2,25 m  
B 4/20: 2,25 - 2,30 m  
B 4/21: 2,30 - 2,35 m  
B 4/22: 2,35 - 2,40 m  
B 4/23: 2,40 - 2,45 m  
B 4/24: 2,55 - 2,60 m  
B 4/25: 2,60 - 2,65 m  
B 4/26: 2,65 - 2,70 m  
B 4/27: 2,70 - 2,75 m  
B 4/28: 2,75 - 2,80 m  
B 4/29: 2,95 - 3,00 m

#### Bohrung B 4

B 4/31: 3,35 - 3,40 m  
B 4/32: 3,40 - 3,45 m  
B 4/33: 3,45 - 3,50 m  
B 4/34: 3,55 - 3,60 m  
B 4/35: 3,60 - 3,65 m  
B 4/36: 3,65 - 3,70 m  
B 4/37: 3,70 - 3,75 m  
B 4/38: 3,75 - 3,80 m  
B 4/39: 3,80 - 3,85 m  
B 4/40: 3,85 - 3,90 m  
B 4/41: 3,90 - 3,95 m  
B 4/42: 4,10 - 4,20 m  
B 4/43: 4,20 - 4,30 m  
B 4/44: 6,86 - 6,90 m

#### Bohrung B 5

B 5/1: 0,40 - 0,45 m  
B 5/2: 0,45 - 0,50 m  
B 5/3: 0,55 - 0,60 m  
B 5/4: 0,60 - 0,65 m  
B 5/5: 0,65 - 0,70 m

#### Bohrung B 5

B 5/6: 0,70 - 0,75 m  
B 5/7: 0,75 - 0,80 m  
B 5/8: 0,80 - 0,85 m  
B 5/9: 1,15 - 1,20 m  
B 5/10: 1,20 - 1,25 m

#### Bohrung B 6

B 6/1: 0,30 - 0,35 m  
B 6/2: 0,35 - 0,40 m  
B 6/3: 0,40 - 0,45 m  
B 6/4: 0,55 - 0,60 m  
B 6/5: 2,52 - 2,58 m  
B 6/6: 2,58 - 2,65 m  
B 6/7: 3,65 - 3,85 m

#### Bohrung B 7

B 7/1: 0,72 - 0,77 m  
B 7/2: 2,63 - 2,66 m  
**B 7/5: 3,93 - 3,95 m**  
**B 7/4: 4,30 - 4,37 m**  
**B 7/3: 4,54 - 4,63 m**

## B.1 Probenliste

### B.1.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

**grün:** Proben von B2a/1 bis B2a/16 nicht palynologisch untersuchen, da bis 8.00 m überbohrt wurde, ohne meterweise die Nut zu ziehen. Proben sind fehlerbehaftet. Die 2m-Nut beinhaltet vermutlich nur den 4. und 5. Bohrmeter.

#### Bohrung B 8

B 8/1: 0,55 - 0,60 m  
B 8/2: 0,60 - 0,65 m  
B 8/3: 0,65 - 0,70 m  
B 8/4: 0,70 - 0,75 m  
B 8/5: 0,75 - 0,80 m  
B 8/6: 0,80 - 0,85 m  
B 8/7: 0,85 - 0,90 m  
B 8/8: 0,90 - 0,95 m

#### Bohrung B 8

B 8/9: 1,55 - 1,60 m  
B 8/10: 1,60 - 1,65 m  
B 8/11: 1,65 - 1,70 m  
B 8/12: 1,70 - 1,75 m  
B 8/13: 1,75 - 1,80 m  
B 8/14: 1,80 - 1,85 m  
B 8/15: 1,85 - 1,90 m  
B 8/16: 1,90 - 1,95 m

#### Bohrung B 8

B 8/17: 2,05 - 2,10 m  
B 8/18: 2,10 - 2,15 m  
B 8/19: 2,15 - 2,20 m  
B 8/20: 2,20 - 2,25 m  
B 8/21: 2,25 - 2,30 m  
B 8/22: 2,30 - 2,35 m  
B 8/23: 2,35 - 2,40 m  
B 8/24: 4,05 - 4,15 m

#### Bohrung B 9

B 9/1: 1,60 - 1,70 m  
B 9/2: 1,70 - 1,80 m  
B 9/3: 1,80 - 1,90 m  
B 9/4: 2,05 - 2,15 m  
B 9/5: 2,15 - 2,25 m

#### Bohrung B 10

B 10/1: 2,40 - 2,45 m  
**B 10/2: 2,80 - 2,86 m**  
**B 10/3: 2,86 - 2,91 m**  
**B 10/4: 3,07 - 3,17 m**

#### Bohrung B 11

B 11/1: 0,80 - 0,85 m  
B 11/2: 0,85 - 0,90 m  
B 11/3: 0,90 - 0,95 m  
B 11/4: 1,40 - 1,45 m  
B 11/5: 1,55 - 1,60 m  
B 11/6: 1,60 - 1,65 m  
B 11/7: 1,65 - 1,70 m  
B 11/8: 1,70 - 1,75 m  
B 11/9: 1,75 - 1,80 m  
B 11/10: 1,80 - 1,85 m  
B 11/11: 1,85 - 1,90 m  
B 11/12: 1,90 - 1,95 m  
B 11/13: 2,05 - 2,10 m  
B 11/14: 2,10 - 2,15 m

#### Bohrung B 11

B 11/15: 2,15 - 2,20 m  
B 11/16: 2,20 - 2,25 m  
B 11/17: 2,25 - 2,30 m  
B 11/18: 2,30 - 2,35 m  
B 11/19: 2,35 - 2,40 m  
B 11/20: 2,40 - 2,45 m  
B 11/21: 2,55 - 2,60 m  
B 11/22: 2,60 - 2,65 m  
B 11/23: 2,65 - 2,70 m  
B 11/24: 2,70 - 2,75 m  
B 11/25: 2,75 - 2,80 m  
B 11/26: 2,80 - 2,85 m  
B 11/27: 2,85 - 2,90 m  
B 11/28: 2,90 - 2,95 m

#### Bohrung B 11

B 11/29: 3,30 - 3,35 m  
B 11/30: 3,35 - 3,40 m  
B 11/31: 3,40 - 3,45 m  
B 11/32: 3,55 - 3,60 m  
B 11/33: 3,60 - 3,65 m  
B 11/34: 3,65 - 3,70 m  
B 11/35: 3,70 - 3,75 m  
B 11/36: 3,75 - 3,80 m  
B 11/37: 3,80 - 3,85 m  
B 11/38: 3,85 - 3,90 m  
B 11/39: 3,90 - 3,95 m  
B 11/40: 4,05 - 4,14 m

## B.1 Probenliste

### B.1.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

**grün:** Proben von B2a/1 bis B2a/16 nicht palynologisch untersuchen, da bis 8.00 m überbohrt wurde, ohne meterweise die Nut zu ziehen. Proben sind fehlerbehaftet. Die 2m-Nut beinhaltet vermutlich nur den 4. und 5. Bohrmeter.

#### Bohrung B 12

B 12/1: 0,55 - 0,60 m  
B 12/2: 0,60 - 0,65 m  
B 12/3: 0,65 - 0,70 m  
B 12/4: 0,70 - 0,75 m  
B 12/5: 0,75 - 0,80 m  
B 12/6: 0,80 - 0,85 m  
B 12/7: 0,85 - 0,90 m  
B 12/8: 0,90 - 0,95 m  
B 12/9: 1,45 - 1,45 m  
B 12/10: 1,45 - 1,50 m  
B 12/11: 1,55 - 1,60 m  
B 12/12: 1,60 - 1,65 m  
B 12/13: 1,65 - 1,70 m  
B 12/14: 1,70 - 1,75 m  
B 12/15: 1,75 - 1,80 m  
B 12/16: 1,80 - 1,85 m

#### Bohrung B 12

B 12/18: 1,90 - 1,95 m  
B 12/19: 2,05 - 2,10 m  
B 12/20: 2,10 - 2,15 m  
B 12/21: 2,15 - 2,20 m  
B 12/22: 2,20 - 2,25 m  
B 12/23: 2,25 - 2,30 m  
B 12/24: 2,30 - 2,35 m  
B 12/25: 2,35 - 2,40 m  
B 12/26: 2,40 - 2,45 m  
B 12/27: 2,45 - 2,50 m  
**B 12/28: 2,55 - 2,65 m**  
**B 12/29: 2,65 - 2,75 m**  
B 12/30: 2,75 - 2,85 m  
**B 12/31: 2,85 - 2,95 m**  
**B 12/32: 3,60 - 3,70 m**  
B 12/33: 3,70 - 3,80 m

#### Bohrung B 13

B 13/1: 2,06 - 2,11 m  
B 13/2: 2,11 - 2,17 m

#### Bohrung B 14

B 14/1: 1,74 - 1,76 m  
B 14/2: 1,80 - 1,85 m  
B 14/3: 1,85 - 1,90 m  
B 14/4: 2,60 - 2,70 m

#### Bohrung B 2a

**B 2a/1: 7,05 - 7,10 m**  
**B 2a/2: 7,10 - 7,15 m**  
**B 2a/3: 7,15 - 7,20 m**  
**B 2a/4: 7,20 - 7,25 m**  
**B 2a/5: 7,25 - 7,30 m**  
**B 2a/6: 7,30 - 7,35 m**  
**B 2a/7: 7,35 - 7,40 m**  
**B 2a/8: 7,40 - 7,45 m**  
**B 2a/9: 7,55 - 7,60 m**  
**B 2a/10: 7,60 - 7,65 m**  
**B 2a/11: 7,65 - 7,70 m**  
**B 2a/12: 7,70 - 7,75 m**  
**B 2a/13: 7,75 - 7,80 m**  
**B 2a/14: 7,80 - 7,85 m**  
**B 2a/15: 7,85 - 7,90 m**  
**B 2a/16: 7,90 - 7,95 m**

#### Bohrung B 2a

B 2a/17: 9,55 - 9,60 m  
B 2a/18: 9,60 - 9,65 m  
B 2a/19: 9,65 - 9,70 m  
B 2a/20: 9,70 - 9,75 m  
B 2a/21: 9,75 - 9,80 m  
**B 2a/22: 9,80 - 9,85 m**  
B 2a/23: 9,85 - 9,90 m  
**B 2a/24: 9,90 - 9,95 m**

#### Bohrung B 2b

B 2b/1: 8,80 - 8,85 m  
B 2b/2: 8,85 - 8,90 m  
**B 2b/3: 8,90 - 8,95 m**  
B 2b/4: 9,40 - 9,45 m  
B 2b/5: 9,60 - 9,65 m  
**B 2b/6: 9,65 - 9,70 m**  
**B 2b/7: 9,70 - 9,75 m**  
**B 2b/8: 9,85 - 9,90 m**  
**B 2b/9: 9,90 - 9,95 m**

## B.1 Probenliste

### B.1.4 Erlenstraße

(Hochwert: 5917678,99; Rechtswert: 3404196,83)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

#### Bohrung B 1

B 1/1: 0,50 - 0,55 m  
B 1/2: 0,55 - 0,60 m  
B 1/3: 0,60 - 0,65 m  
B 1/4: 0,65 - 0,70 m  
B 1/5: 0,70 - 0,75 m  
B 1/6: 0,75 - 0,80 m  
B 1/7: 0,80 - 0,85 m  
B 1/8: 0,85 - 0,90 m  
B 1/9: 0,90 - 0,95 m  
**B 1/10: 1,55 - 1,60 m**  
B 1/11: 1,60 - 1,65 m  
B 1/12: 1,65 - 1,70 m  
B 1/13: 1,70 - 1,75 m  
**B 1/14: 1,75 - 1,80 m**  
B 1/15: 1,80 - 1,85 m

#### Bohrung B 1

B 1/16: 1,85 - 1,90 m  
**B 1/17: 1,90 - 1,95 m**  
B 1/18: 1,95 - 2,00 m  
keine Probeentnahme  
**B 1/19: 2,10 - 2,20 m**  
B 1/20: 2,20 - 2,30 m  
**B 1/21: 2,30 - 2,40 m**  
B 1/22: 2,55 - 2,65 m  
**B 1/23: 2,65 - 2,70 m**  
B 1/24: 2,70 - 2,75 m  
B 1/25: 2,40 - 2,45 m  
B 1/26: 2,75 - 2,80 m  
**B 1/27: 2,80 - 2,85 m**  
B 1/28: 2,85 - 2,90 m  
**B 1/29: 2,90 - 2,95 m**

#### Bohrung B 4

B 4/1: 0,90 - 0,95 m  
B 4/2: 1,30 - 1,35 m  
B 4/3: 1,35 - 1,40 m  
B 4/4: 1,55 - 1,60 m  
B 4/5: 1,60 - 1,65 m  
B 4/6: 1,65 - 1,70 m  
B 4/7: 1,70 - 1,75 m  
B 4/8: 1,75 - 1,80 m  
B 4/9: 1,80 - 1,85 m  
B 4/10: 1,85 - 1,90 m

#### Bohrung B 7

**B 7/1: 2,15 - 2,20 m**  
B 7/2: 2,20 - 2,25 m  
B 7/3: 2,25 - 2,30 m  
B 7/4: 2,30 - 2,35 m  
**B 7/5: 2,35 - 2,40 m**  
B 7/6: 2,40 - 2,45 m  
B 7/7: 2,45 - 2,50 m  
**B 7/8: 2,55 - 2,60 m**

#### Bohrung B 9

B 9/1: 0,80 - 0,85 m  
B 9/2: 0,85 - 0,90 m  
B 9/3: 0,90 - 0,95 m  
B 9/4: 1,30 - 1,35 m  
B 9/5: 1,35 - 1,40 m  
B 9/6: 1,40 - 1,45 m  
B 9/7: 1,45 - 1,50 m  
B 9/8: 1,55 - 1,60 m  
B 9/9: 1,60 - 1,65 m  
B 9/10: 1,65 - 1,70 m  
B 9/11: 1,70 - 1,75 m  
B 9/12: 1,75 - 1,80 m

# B.1 Probenliste

## B.1.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

### Bohrung B 1

B 1/1: 5,10 - 5,15 m  
B 1/2: 5,15 - 5,20 m  
B 1/3: 5,20 - 5,25 m  
B 1/4: 5,25 - 5,30 m  
B 1/5: 5,30 - 5,32 m  
B 1/6: 7,15 - 7,20 m

### Bohrung B 1

B 1/7: 7,20 - 7,25 m  
B 1/8: 7,25 - 7,30 m  
B 1/9: 7,30 - 7,35 m  
B 1/10: 7,35 - 7,40 m  
B 1/11: 7,40 - 7,45 m

### Bohrung B 1c

B 1c: 2,45 - 2,75 m

### Bohrung B 1D

B 1D/1: 0,38 - 0,40 m  
B 1D/2: 0,40 - 0,45 m  
**B 1D/3: 0,45 - 0,50 m**  
B 1D/4: 0,50 - 0,55 m  
**B 1D/5: 0,55 - 0,60 m**  
B 1D/6: 0,60 - 0,65 m  
**B 1D/7: 0,65 - 0,70 m**  
B 1D/8: 0,70 - 0,75 m  
**B 1D/9: 0,75 - 0,80 m**  
B 1D/10: 0,80 - 0,85 m  
**B 1D/11: 0,85 - 0,90 m**  
B 1D/12: 0,90 - 0,95 m  
**B 1D/13: 0,95 - 1,00 m**  
B 1D/14: 1,00 - 1,05 m  
**B 1D/15: 1,05 - 1,10 m**  
**B 1D/16: 1,10 - 1,15 m**  
B 1D/17: 1,15 - 1,20 m  
B 1D/18: 1,20 - 1,25 m

### Bohrung B 1D

B 1D/19: 1,25 - 1,30 m  
**B 1D/20: 1,30 - 1,35 m**  
B 1D/21: 1,35 - 1,40 m  
B 1D/22: 1,40 - 1,45 m  
B 1D/23: 1,45 - 1,50 m  
**B 1D/24: 1,50 - 1,55 m**  
B 1D/25: 1,55 - 1,60 m  
B 1D/26: 1,60 - 1,65 m  
B 1D/27: 1,65 - 1,70 m  
**B 1D/28: 1,70 - 1,75 m**  
B 1D/29: 1,75 - 1,80 m  
B 1D/30: 1,80 - 1,85 m  
B 1D/31: 1,85 - 1,90 m  
**B 1D/32: 1,90 - 1,95 m**  
B 1D/33: 1,95 - 2,00 m  
B 1D/34: 2,00 - 2,05 m  
B 1D/35: 2,05 - 2,10 m  
**B 1D/36: 2,10 - 2,15 m**

### Bohrung B 1D

B 1D/37: 2,15 - 2,20 m  
B 1D/38: 2,20 - 2,25 m  
B 1D/39: 2,25 - 2,30 m  
**B 1D/40: 2,30 - 2,35 m**  
B 1D/41: 2,35 - 2,40 m  
B 1D/42: 2,40 - 2,45 m  
B 1D/43: 2,45 - 2,50 m  
**B 1D/44: 2,50 - 2,55 m**  
B 1D/45: 2,55 - 2,60 m  
**B 1D/46: 2,60 - 2,65 m**  
B 1D/47: 2,65 - 2,70 m  
**B 1D/48: 2,70 - 2,75 m**  
B 1D/49: 2,75 - 2,80 m  
**B 1D/50: 2,80 - 2,85 m**  
B 1D/51: 2,85 - 2,90 m  
**B 1D/52: 2,90 - 2,95 m**  
B 1D/53: 2,95 - 3,00 m  
**B 1D/54: 3,00 - 3,05 m**

### Bohrung B 3

B 3/1: 1,63 - 1,68 m  
B 3/2: 1,73 - 1,78 m  
B 3/3: 1,90 - 1,95 m  
B 3/4: 1,95 - 2,00 m  
B 3/5: 2,20 - 2,30 m  
B 3/6: 4,70 - 4,75 m

### Bohrung B 3

B 3/7: 4,75 - 4,80 m  
B 3/8: 4,80 - 4,85 m  
B 3/9: 4,85 - 4,90 m  
B 3/10: 4,90 - 4,95 m  
B 3/11: 4,95 - 5,00 m  
B 3/12: 4,38 - 4,43 m

### Bohrung B 3

B 3/13: 5,80 - 5,85 m  
B 3/14: 5,85 - 5,90 m  
B 3/15: 5,90 - 5,95 m  
B 3/16: 5,95 - 6,00 m  
B 3/17: 6,00 - 6,05 m  
B 3/18: 6,05 - 6,10 m

## B.1 Probenliste

### B.1.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

#### Bohrung B 4

B 4/1: 1,60 - 1,70 m  
B 4/2: 1,88 - 2,00 m  
B 4/3: 2,30 - 2,40 m  
B 4/4: 2,60 - 2,80 m  
B 4/5: 4,85 - 4,90 m  
B 4/6: 5,75 - 5,80 m  
B 4/7: 5,80 - 5,85 m  
B 4/8: 5,85 - 5,90 m  
B 4/9: 5,90 - 5,95 m  
B 4/10: 5,95 - 6,00 m

#### Bohrung B 4

B 4/11: 6,10 - 6,15 m  
B 4/11a: 6,15 - 6,20 m  
B 4/12: 6,40 - 6,45 m  
B 4/13: 6,80 - 6,85 m  
B 4/14: 6,85 - 6,90 m  
B 4/15: 6,90 - 6,95 m  
B 4/16: 6,95 - 7,00 m  
B 4/17: 7,05 - 7,10 m  
B 4/18: 7,10 - 7,15 m  
B 4/19: 7,15 - 7,20 m

#### Bohrung B 4

B 4/20: 7,20 - 7,25 m  
B 4/21: 7,25 - 7,30 m  
B 4/22: 7,30 - 7,35 m  
B 4/23: 7,35 - 7,40 m  
B 4/24: 7,40 - 7,45 m  
B 4/25: 7,45 - 7,50 m  
B 4/26: 7,50 - 7,55 m  
B 4/27: 7,55 - 7,60 m

#### Bohrung B 5

B 5/1: 2,10 - 2,15 m  
B 5/2: 3,90 - 3,95 m  
B 5/3: 3,95 - 4,00 m  
B 5/6: 4,15 - 4,20 m  
B 5/7: 4,20 - 4,25 m  
B 5/4: 4,36 - 4,41 m  
B 5/5: 4,41 - 4,46 m  
**B 5/8: 5,10 - 5,15 m**  
B 5/9: 5,15 - 5,20 m  
**B 5/10: 5,20 - 5,25 m**  
B 5/11: 5,25 - 5,30 m  
**B 5/12: 5,30 - 5,35 m**  
B 5/13: 5,35 - 5,40 m  
**B 5/14: 5,40 - 5,45 m**  
B 5/15: 5,45 - 5,50 m  
**B 5/16: 5,50 - 5,55 m**  
B 5/17: 5,55 - 5,60 m

#### Bohrung B 5

B 5/18: 5,60 - 5,65 m  
B 5/19: 5,65 - 5,70 m  
**B 5/20: 5,70 - 5,75 m**  
B 5/21: 5,75 - 5,80 m  
**B 5/22: 5,80 - 5,85 m**  
B 5/23: 5,85 - 5,90 m  
**B 5/24: 5,90 - 5,95 m**  
B 5/25: 6,00 - 6,05 m  
**B 5/26: 6,05 - 6,10 m**  
B 5/27: 6,10 - 6,15 m  
**B 5/28: 6,15 - 6,20 m**  
B 5/29: 6,20 - 6,25 m  
**B 5/30: 6,25 - 6,30 m**  
B 5/31: 6,30 - 6,35 m  
**B 5/32: 6,35 - 6,40 m**  
B 5/33: 6,40 - 6,45 m  
**B 5/34: 6,45 - 6,50 m**

#### Bohrung B 5

**B 5/35: 6,50 - 6,55 m**  
B 5/36: 6,55 - 6,60 m  
**B 5/37: 6,60 - 6,65 m**  
B 5/38: 6,65 - 6,70 m  
**B 5/39: 6,70 - 6,75 m**  
B 5/40: 6,75 - 6,80 m  
**B 5/41: 6,80 - 6,85 m**  
B 5/42: 6,90 - 6,95 m  
**B 5/43: 6,95 - 7,00 m**  
B 5/44: 7,00 - 7,05 m  
**B 5/45: 7,05 - 7,10 m**  
B 5/46: 7,10 - 7,15 m  
**B 5/47: 7,15 - 7,20 m**  
B 5/48: 7,20 - 7,25 m  
**B 5/49: 7,25 - 7,30 m**  
B 5/50: 7,30 - 7,35 m  
**B 5/51: 7,35 - 7,40 m**

## B.1 Probenliste

### B.1.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

Probennahmeintervall in den Torfschichten: 5 cm

Probennahmeintervall in den Muddeschichten: 10 cm

Entnahmetiefe Proben: [m]

**rot** markiert: Proben für Pollenanalyse zur biostratigraphischen Datierung

#### Bohrung B 6

**B 6/1: 6,70 - 6,75 m**

B 6/2: 6,75 - 6,80 m

B 6/3: 6,80 - 6,85 m

B 6/4: 6,85 - 6,90 m

**B 6/5: 6,90 - 6,95 m**

B 6/6: 6,95 - 7,00 m

B 6/7: 7,00 - 7,05 m

B 6/8: 7,05 - 7,10 m

**B 6/9: 7,10 - 7,15 m**

#### Bohrung B 6

B 6/10: 7,15 - 7,20 m

B 6/11: 7,20 - 7,25 m

B 6/11a: 7,25 - 7,30 m

**B 6/12: 7,30 - 7,35 m**

B 6/13: 7,35 - 7,40 m

**B 6/14: 7,40 - 7,45 m**

**B 6/15: 7,45 - 7,50 m**

**B 6/16: 7,50 - 7,55 m**

B 6/17: 7,55 - 7,60 m

#### Bohrung B 6

B 6/18: 7,60 - 7,65 m

B 6/19: 7,65 - 7,70 m

**B 6/20: 7,70 - 7,75 m**

B 6/21: 7,75 - 7,80 m

B 6/22: 7,80 - 7,85 m

B 6/23: 7,85 - 7,90 m

**B 6/24: 7,90 - 7,95 m**

**B 6/25: 7,95 - 8,00 m**

#### Bohrung B 7

B 7/1: 0,45 - 0,50 m

B 7/2: 0,70 - 0,75 m

B 7/3: 0,90 - 0,95 m

B 7/4: 1,90 - 2,00 m

B 7/5: 2,10 - 2,15 m

B 7/6: 2,15 - 2,20 m

**B 7/7: 5,60 - 5,70 m**

**B 7/8: 5,70 - 5,80 m**

B 7/9: 5,80 - 5,90 m

**B 7/10: 5,90 - 6,00 m**

#### Bohrung B 7

B 7/11: 6,00 - 6,10 m

**B 7/12: 6,10 - 6,20 m**

B 7/13: 6,20 - 6,30 m

**B 7/14: 6,30 - 6,40 m**

B 7/15: 6,40 - 6,50 m

B 7/16: 6,50 - 6,60 m

**B 7/17: 6,70 - 6,70 m**

**B 7/18: 6,70 - 6,80 m**

**B 7/19: 6,80 - 6,90 m**

#### Bohrung B 9

B 9/1: 1,20 - 1,25 m

B 9/2: 1,25 - 1,30 m

B 9/3: 1,30 - 1,35 m

B 9/4: 1,35 - 1,40 m

B 9/5: 1,40 - 1,45 m

B 9/6: 1,55 - 1,60 m

B 9/7: 1,60 - 1,65 m

B 9/8: 1,65 - 1,70 m

## Anhang B.2 Tabelle ausgezählter Pollenkörner

### B.2.1 Pultermoor

(Hochwert: 5916416,22; Rechtswert: 3403328,11)

#### Bohrung HF1-B1

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 1/1: 0,50 - 0,55	834	362
B 1/5: 0,70 - 0,75	680	353
B 1/9: 1,00 - 1,05	818	327
B 1/13: 1,20 - 1,25	749	314
B 1/16: 1,35 - 1,40	798	332

#### Bohrung HF1-B1a

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 1a/1: 1,70 - 1,75	578	338
B 1a/3: 1,80 - 1,85	628	324
B 1a/5: 1,90 - 1,95	858	385
B 1a/7: 2,10 - 2,15	689	312
B 1a/9: 2,20 - 2,25	727	321
B 1a/11: 2,30 - 2,35	288	94

### B.2.2 Ostermoor

(Hochwert: 5916859,84; Rechtswert: 3403286,55)

#### Bohrung HF2-B2

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 2/1: 0,35 - 0,40	842	359
B 2/4: 0,55 - 0,60	992	365
B 2/8A: 0,75 - 0,80	738	312
B 2/11: 0,90 - 0,95	934	386
B 2/12: 1,35 - 1,40	744	348
B 2/14: 1,55 - 1,60	940	468
B 2/18: 1,75 - 1,80	852	417
B 2/21: 1,90 - 1,95	734	383
B 2/23: 2,10 - 2,15	816	350
B 2/27: 2,30 - 2,35	652	393
B 2/30: 2,45 - 2,50	584	488
B 2/33: 2,65 - 2,70	700	373

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 2/37: 2,85 - 2,90	809	311
B 2/39: 3,40 - 3,45	886	442
B 2/42: 3,60 - 3,65	723	365
B 2/46: 3,80 - 3,85	889	361
B 2/49: 4,05 - 4,10	1.032	357
B 2/53: 4,25 - 4,30	822	337
B 2/56: 4,40 - 4,45	735	321
B 2/58: 4,60 - 4,65	649	338
B 2/62: 4,80 - 4,85	869	383
B 2/64: 4,90 - 4,95	524	347
B 2/65: 5,55 - 5,65	573	351
B 2/67: 5,75 - 5,85	60	30

### B.2.3 Kolk

(Hochwert: 5917218,39; Rechtswert: 3403381,46)

#### Bohrung HF3-B2

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 2/1: 0,60 - 0,65	1.346	324
B 2/5: 0,80 - 0,85	864	351
B 2/7: 0,90 - 0,95	1.205	349
B 2/8: 1,30 - 1,35	838	328
B 2/11: 1,45 - 1,50	824	326
B 2/14: 1,65 - 1,70	748	334
B 2/18: 1,85 - 1,90	882	339
B 2/21: 2,05 - 2,10	737	342
B 2/23: 2,25 - 2,30	775	338
B 2/26: 2,40 - 2,45	767	327
B 2/29: 2,60 - 2,65	694	355
B 2/33: 2,80 - 2,85	700	347
B 2/35: 2,90 - 2,95	637	350

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 2/36: 3,40 - 3,45	803	369
B 2/38: 3,55 - 3,60	991	407
B 2/39: 3,85 - 3,90	851	392
B 2/42: 4,05 - 4,10	817	371
B 2/45: 4,25 - 4,30	794	374
B 2/47: 4,35 - 4,40	724	341
B 2/49: 4,70 - 4,75	747	335
B 2/53: 4,90 - 4,95	683	324
B 2/54: 6,15 - 6,20	756	332
B 2/57: 6,30 - 6,35	691	349
B 2/59: 6,60 - 6,80	431	344
B 2/60: 6,70 - 6,80	500	279

## Anhang B.2 Tabelle ausgezählter Pollenkörner

### Bohrung HF3-B2a

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baupollen
B 2a/22: 9,80 - 9,85	512	331
B 2a/24: 9,90 - 9,95	616	354

### Bohrung HF3-B2b

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baupollen	Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baupollen
B 2b/3: 8,90 - 8,95	666	431	B 2b/8: 9,85 - 9,90	627	417
B 2b/6: 9,65 - 9,70	571	361	B 2b/9: 9,90 - 9,95	516	386
B 2b/7: 9,70 - 9,75	645	433			

### B.2.4 Erlenstraße

(Hochwert: 5917678,99; Rechtswert: 3404196,83)

#### Bohrung HF4-B1

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baupollen
B 1/10: 1,55 - 1,60	581	403
B 1/14: 1,75 - 1,80	618	354
B 1/17: 1,90 - 1,95	773	345
B 1/19: 2,10 - 2,20	509	414
B 1/21: 2,30 - 2,40	626	332
B 1/23: 2,65 - 2,70	572	363
B 1/27: 2,80 - 2,85	469	329
B 1/29: 2,90 - 2,95	687	317

### B.2.5 Osterweide

(Hochwert: 5917973,47; Rechtswert: 3404181,52)

#### Bohrung HF5-B1D

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baupollen	Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baupollen
B 1D/3: 0,45 - 0,50	645	364	B 1/D28: 1,70 - 1,75	478	341
B 1D/5: 0,55 - 0,60	663	346	B 1/D32: 1,90 - 1,95	605	346
B 1D/7: 0,65 - 0,70	683	331	B 1/D36: 2,10 - 2,15	1.212	334
B 1D/9: 0,75 - 0,80	575	343	B 1/D40: 2,30 - 2,35	520	333
B 1D/11: 0,85 - 0,90	637	480	B 1/D44: 2,50 - 2,55	603	338
B 1D/13: 0,95 - 1,00	592	446	B 1/D46: 2,60 - 2,65	531	326
B 1D/15: 1,05 - 1,10	707	523	B 1/D48: 2,70 - 2,75	681	320
B 1D/16: 1,10 - 1,15	665	526	B 1/D50: 2,80 - 2,85	551	339
B 1D/20: 1,30 - 1,35	499	425	B 1/D52: 2,90 - 2,95	535	301
B 1D/24: 1,50 - 1,55	735	465	B 1/D54: 3,00 - 3,05	97	35

## Anhang B.2 Tabelle ausgezählter Pollenkörner

### Bohrung HF5-B5

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen	Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 5/8: 5,10 - 5,15	679	412	B 5/32: 6,35 - 6,40	628	358
B 5/10: 5,20 - 5,25	640	328	B 5/34: 6,45 - 6,50	599	318
B 5/12: 5,30 - 5,35	609	349	B 5/35: 6,50 - 6,55	622	351
B 5/14: 5,40 - 5,45	538	324	B 5/37: 6,60 - 6,65	566	332
B 5/16: 5,50 - 5,55	596	320	B 5/39: 6,70 - 6,75	615	378
B 5/18: 5,60 - 5,65	603	375	B 5/41: 6,80 - 6,85	557	324
B 5/20: 5,70 - 5,75	737	351	B 5/43: 6,95 - 7,00	611	304
B 5/22: 5,80 - 5,85	659	305	B 5/45: 7,05 - 7,10	568	363
B 5/24: 5,90 - 5,95	621	321	B 5/47: 7,15 - 7,20	585	339
B 5/26: 6,05 - 6,10	620	353	B 5/49: 7,25 - 7,30	585	375
B 5/28: 6,15 - 6,20	575	327	B 5/51: 7,35 - 7,40	575	355
B 5/30: 6,25 - 6,30	577	347			

### Bohrung HF5-B6

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 6/1: 6,70 - 6,75	751	220
B 6/5: 6,90 - 6,95	884	367
B 6/9: 7,10 - 7,15	1.362	803
B 6/12: 7,30 - 7,35	1.195	677
B 6/14: 7,40 - 7,45	1.282	727
B 6/16: 7,50 - 7,55	968	579
B 6/20: 7,70 - 7,75	1.396	841
B 6/24: 7,90 - 7,95	709	379
B 6/25: 7,95 - 8,00	874	495

### Bohrung HF5-B7

Tiefe [m]	Anzahl $\Sigma$ Pollenkörner	Anzahl $\Sigma$ Baumpollen
B 7/7: 5,60 - 5,70	682	345
B 7/8: 5,70 - 5,80	648	361
B 7/10: 5,90 - 6,00	703	382
B 7/12: 6,10 - 6,20	782	369
B 7/14: 6,30 - 6,40	665	349
B 7/17: 6,60 - 6,70	532	344
B 7/18: 6,70 - 6,80	620	363
B 7/19: 6,80 - 6,90	603	344

## Anhang C Demonstration des Leitfadens

### C.1 Demonstration des Leitfadens an Beispielen in Ostfriesland (Fortsetzung)

Hohlförmigkeiten	Spolsener Moor-Süd	Spolsener Moor-Nord	Randweg-Ost-West	Junkermoor	Fuhrenkämper Graben
Gauß-Krüger Koordinaten	H: 5918623,856; R: 3425276,497	H: 5918830,068; R: 3425110,550	H: 5920437,322; R: 3425599,585	H: 5918725,152; R: 3426243,517	H: 5918486,976; R: 3424669,035
<b>Kriterium 1. Paläoklimatische und –geohydrologische Voraussetzungen</b>					
Periglaziales Gebiet (FRENCH 1996, 2007):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Mächtigkeit der Auftauschicht („Active Layer“): max. 2 m</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> <li>– Temperaturen nahe 0°C</li> </ul>				– Dauerhafte Wasserquelle für Genese Paläopingo ist gegeben
Paläo-Geomorphologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	--	--	--	--	Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geesthochfläche
Paläo-Hydrologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	--	--	--	--	Entwässerungsrinnen des Saale-Komplex vom Geestrücken mit stetigem Wasserdargebot
<b>Kriterium 2. Genese</b>					
Geomorphologische Prozesse (GARLEFF 1968):	Äolisch (Oberflächenform: Flugsanddepression)				Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)
Genese-Typ (GARLEFF 1968):	Äolische Kave				Kryogene Kave
Genese-Typ (MACKAY 1998):	--				Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)
<b>Kriterium 3. Auftreten</b>					
Vorkommen (EHLERS 1994, 2011):	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet				Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet
Lage (GARLEFF 1968, DE GANS 1981):	Innerhalb weichsel-kaltzeitlicher Flugsanddecken auf Nordoldenburgisch-Ostfriesischer Geesthochfläche; Ostseite				Ostseite Nordoldenburgisch-Ostfriesische Geestfläche
Anordnung Paläopingo / Flugsanddepression (DE GANS 1982, FRENCH 1996):	In Nachbarschaft vmtl. Flugsanddepressionen: Spolsener Moor-Nord, Junkermoor vmtl. Paläopingo: Fuhrenkämper Graben	In Nachbarschaft vmtl. Flugsanddepressionen: Spolsener Moor-Süd, Junkermoor vmtl. Paläopingo: Fuhrenkämper Graben	In Nachbarschaft vmtl. Flugsanddepressionen: Randweg-Süd; vmtl. Paläopingo: Kielstraat	In Nachbarschaft vmtl. Flugsanddepressionen: Spolsener Moor-Süd, Spolsener Moor-Nord; vmtl. Paläopingo: Fuhrenkämper Graben	In Nachbarschaft vmtl. Flugsanddepressionen: Spolsener Moor-Süd, Spolsener Moor-Nord, Junkermoor
<b>Kriterium 4. Geometrie</b>					
Form (FRENCH 1996):	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
Durchmesser ((MACKAY 1987): (kleiner: <100 m; mittlerer: 100 – 200 m; großer: >200 m):	Ca. 100 – 120 m (mittel)	Ca. 100 – 120 m (mittel)	Ca. 190 m (mittel)	Ca. 100 – 120 m (mittel)	Ca. 100 – 120 m (mittel)

## C.1 Demonstration des Leitfadens an Beispielen in Ostfriesland (Fortsetzung)

Hohlformen	Spolsener Moor-Süd	Spolsener Moor-Nord	Randweg-Ost-West	Junkermoor	Fuhrenkämper Graben
Tiefe (geringe: 2 – <5 m; mittlere: 5 – 10 m; große: >10 m):	1,5 m (gering)	0,6 m (gering)	2,9 m (gering)	1,4 m (gering)	2,2 m (gering), vmtl. tiefer
Wandneigung („flach“: <30°; „relativ steil“: 30 – 60°; „steil“: >60°):	Flach (ca. 15 – 25°)	Flach (ca. 7°)	Flach (ca. 22 – 27°)	Relativ steil (ca. 40°)	Steil (ca. 62°)
Formtyp (GARLEFF 1968):	Wannenförmig	Wannenförmig	Wannenförmig	Wannenförmig	Trichterförmig
Existenz Ringwall (GARLEFF 1968, DE GANS & CLEVERINGA 1981):	Unsortiertes Material: Grundmoränenmaterial: Feuersteine, kl. Geschiebe	--	--	Nicht nachgewiesen	--
Höhe / Breite Ringwall:	H.: 0,5 m ?/ B.: --	--	--	Nicht nachgewiesen	--
Kriterium 5. Datierung					
Relative Altersabfolge (Pollenanalyse)	--	--	2 Proben: 6a: 200 cm Tiefe in Torf 7a: 292 cm Tiefe in Mudde	--	--
Absolute Altersdatierung ( <sup>14</sup> C-Methode)	--	--	--	--	--
Zeitliche Zuordnung nach LBEG:	--	--	Mudde: Weichsel-Spätglazial: (14 500 – 11 560 cal J.v.h.)	--	--
Wachstum Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	--	--	--	--	--
Zerfall Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982) (zeitliche Angabe nach LBEG):	--	--	--	--	--
Entstehung Flugsanddepression (DE GANS & CLEVERINGA 1986) (zeitliche Angabe nach LBEG):	--	--	Vmtl. im Weichsel-Spätglazial (14 500 – 11 560 cal J.v.h.)	--	--
Kriterium 6. Rezente Ausbildung					
Morphologische Ausbildung:	Topographisch schwer erkennbare Hohlform, vernässt	Hohlform, trocken	Topographisch schwer erkennbare Hohlform, trocken	Topographisch schwer erkennbare Hohlform, trocken	Hohlform, vernässt
Gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung):	Hochmoor (inmitten eines Nadelforsts)	Grasfläche mit Baumbestand im Wald gelegen	Landwirtschaftliche Nutzfläche (Ackerland)	Grasfläche mit Baumbestand in Waldfläche	Vermoorte Grünfläche
Verfüllung Hohlform mit organischen bzw. organogenen Sedimenten:	Torf: 0,85 / 0,95 m, Mudde: 0,5 / 0,35 m	Torf: max. 0,3 / 0,4 m, Mudde: max. 0,15 / 0,2 m	Torf: -- Mudde: 0,4 / 1,6 / 1,3 m	Torf: 0,55 / 0,95 m, Mudde: 0,7 / -- m	Torf: 2,3 / 1,7 m, Mudde: >0,5 / >0,3 m
Mächtigkeit Verfüllung:	1,35 / 1,3 m	Ca. 0,45 / 0,6 m	0,4 / 1,6 / 1,3 m	1,25 / 0,95 m	Vmtl. >2,8 / >2 m
Kriterium 7. Geologische Einstufung					
Kriterien für Paläopingo:	Nicht erfüllt (vmtl.)	--	--	Nicht erfüllt (vmtl.)	Erfüllt (vmtl.)

## C.1 Demonstration des Leitfadens an Beispielen in Ostfriesland (Fortsetzung)

Hohlformen	Spolsener Moor-Süd	Spolsener Moor-Nord	Randweg-Ost-West	Junkermoor	Fuhrenkämper Graben
Kriterien für Flugsanddepression:	Erfüllt (vmtl.)	Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt (vmtl.)	Nicht erfüllt (vmtl.)
Geologische Einstufung:	Flugsanddepression (vmtl.)	Flugsanddepression	Flugsanddepression	Flugsanddepression (vmtl.)	Paläopingo (vmtl.)
Bewertung nach Ad-hoc-AG Geotopschutz (1996):	Schutzwürdiges Geotop (vmtl.)	Schutzwürdiges Geotop	Schutzwürdiges Geotop	Schutzwürdiges Geotop (vmtl.)	Schutzwürdiges Geotop (vmtl.)
<b>Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme</b>					
Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie:	--	--	--	--	--
Endtiefe der Bohrungen:	2 Bohrungen: PR-1.1 bis 1,5 m Tiefe, PR-1.2 bis 1,4 m Tiefe	2 Bohrungen: PR-2.1 bis 0,6 m Tiefe PR-2.2 bis 0,65 m Tiefe	3 Bohrungen: PR-6.1 bis 2,05 m Tiefe, PR-7.1 bis 2,95 m Tiefe PR-7.2 bis 3,1 m Tiefe	2 Bohrungen: PR-8.1 bis 1,4 m Tiefe, PR-8.2 bis 1 m Tiefe	2 Bohrungen: PR-5.1 bis 2,8 m Tiefe, PR-5.2 bis 2 m Tiefe Abbruch wegen Nässe
Entnahme von Sedimentproben:	--	--	Proben aus Torf und Mudde	--	--
Vermessung der Bohransatzpunkte:	Lokation der Hohlform	Lokation der Hohlform	Lokation der Hohlform	Lokation der Hohlform	Lokation der Hohlform
Geologische Aufnahme:	Erfolgt	Erfolgt, kein Kreuzprofil	Erfolgt, neue Interpretation von Geschiebelehmschicht: Anthropogener Bodenauftrag: PR-6.1: 1,6 m mächtig PR-7.1: 1,3 m mächtig PR-7.2: 1,9 m mächtig	Erfolgt	Erfolgt
Geologische Darstellung:	Erfolgt, kein Kreuzprofil	--	Erfolgt, kein Kreuzprofil	Erfolgt, kein Kreuzprofil	Erfolgt, kein Kreuzprofil
<b>Empfehlungen und Maßnahmen</b>					
Wiederholung im Sinne des Leitfadens, u. a.: Kriterium 5. Datierung Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bohrungen im Kreuzprofil bis Grundmoräne (Mg/Lg) des Saale-Komplex bzw. max. 20 m u.GOK für tiefe Paläopingos („geol. Fenster“). Kreuzpunkt beider Profile in morphologisch tiefster Bohrung</li> <li>- Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie: Abstand von mind. 50 m</li> <li>- Vermessung der Bohransatzpunkte: Nivellieren BAP nach Höhe, Lage Bohrpunkte als Gauß-Krüger-Koordinaten, aus georeferenzierter DGK 5</li> <li>- Geologische Aufnahme anhand geologischer Symbolschlüssel des LBEG in aktueller Fassung</li> <li>- Pollenanalyse mit zeitlicher Zuordnung nach FIRBAS (1949/54) aus Torf- und Muddeschichten der morphologisch tiefsten Bohrung.</li> </ul>				

## Anhang C Demonstration des Leitfadens

### C.2 Demonstration des Leitfadens an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau

Hohlformen	Stokersdobbe	Holveen	Langakkerveen	Kostverlorenveen	Ekehaar
Gauß-Krüger Koordinaten	H: 5882537,56 R: 2511808,82	H: 5885970,37 R: 2536388,21	H: 5886157,50 R: 2536483,37	H: 5886351,15 R: 2536672,57	H: 5886316,97 R: 2540012,19
<b>Kriterium 1. Paläoklimatische und –geohydrogische Voraussetzungen</b>					
Periglaziales Gebiet (FRENCH 1996, 2007):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Temperaturen nahe 0°C</li> <li>– Dauerhafte Wasserquelle für Genese Paläopingo ist gegeben</li> <li>– Auftauschicht („Active Layer“): max. 2 m mächtig</li> <li>– geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> </ul>				
Paläo-Geomorphologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	Drenthe-Plateau	Drenthe-Plateau			Drenthe-Plateau
Paläo-Hydrologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	Weitläufig verzweigtes Entwässerungssystem im ehem. Nebental des Boorne Tiefs (heute Alddijp) mit Hangneigung von <1°	Weitläufig verzweigtes Drentsche Aa Entwässerungssystem im ehemaligen Nebental des Eelder Tiefs mit leichter Hangneigung von <0,5° nach Osten			Weitläufig verzweigtes Drentsche Aa Entwässerungssystem im ehem. Nebental des Amer Tiefs, keine Hangneigung
<b>Kriterium 2. Genese</b>					
Geomorphologische Prozesse (GARLEFF 1968):	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)				
Genese-Typ (GARLEFF 1968):	Kryogene Kave				
Genese-Typ (MACKAY 1998):	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)				
<b>Kriterium 3. Auftreten</b>					
Vorkommen (EHLERS 1994, 2011):	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet				
Lage (GARLEFF 1968, DE GANS 1981):	Westrand Drenthe-Plateau	Hondsrug-System, Osthang "Rolde-Rücken"			Hondsrug-System, westlich „Rolde-Rücken“
Anordnung Paläopingo / Flugsanddepression (DE GANS 1982, FRENCH 1996):	– weitere mögliche Paläopingos benachbart	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Paläopingos Langwandveen und Blieblie benachbart</li> <li>– Aufreihung Perlenschnur</li> <li>– Flugsanddepression Donderen benachbart</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weitere Paläopingos benachbart</li> <li>– In kleinen Gruppen (Cluster)</li> <li>– Keine Flugsand-depressionen benachbart</li> </ul>

## C.2 Demonstration des Leitfadens an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau

Hohlformen	Stokersdobbe	Holveen	Langakkerveen	Kostverlorenveen	Ekehaar
<b>Kriterium 4. Geometrie</b>					
Form (FRENCH 1996):	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
Durchmesser (MACKAY 1987): (kleiner: <100 m; mittlerer: 100 – 200 m; größer: >200 m):	100 m (mittel)	150 m (mittel)	100 m (mittel)	150 m (mittel)	100 m (200 m, inkl. Rw) (mittel)
Tiefe (geringe: 2 – <5 m; mittlere: 5 – 10 m; große: >10 m), geändert nach DE GANS & SOHL (1981):	8 m (mittel)	5 m (mittel)	3,5 m (gering)	6 m (mittel)	5 m (mittel)
Wandneigung („flach“: <30°; „relativ steil“: 30 – 60°; „steil“: >60°):	„Steil“ (ca. 75°)	„Relativ steil“ (ca. 60°)	„Relativ steil“ (ca. 50°)	„Relativ steil“ (ca. 60°)	„Steil“ (ca. 70°)
Formtyp (GARLEFF 1968):	Trichterförmig	Trichterförmig	Trichterförmig	Trichterförmig	Trichterförmig
Existenz Ringwall (GARLEFF 1968, DE GANS & CLEVERINGA 1981):	– Vollständig vorhanden – Grobsand mit Tillfragmenten und Kiesband im oberen Rand	– Vollständig vorhanden – Aus unsortierten Sanden und Kiesen			– Vollständig vorhanden – Aus unsortierten Sanden mit Kiesen
Höhe / Breite Ringwall:	Ca. 1 – 2 m / 70 m	Ca. 0,5 – 1 m / 40 – 70 m	Ca. 1 – 1,4 m / 75 m	Ca. 1 – 1,4 m / 75 m	Ca. 1 m / 100 m (Basis)
<b>Kriterium 5. Datierung</b>					
Relative Altersabfolge (Pollenanalyse)	Gyttja in 592 – 555 cm Tiefe: Zone Ib (Bølling-Interstadial)	--			--
Absolute Altersdatierung ( <sup>14</sup> C-Methode)	Gyttja-Schicht unter Ringwall: GrN 8429: 18 000 ± 200 B.P.	Humose Lehmschicht unterhalb des Ringwalls: GrN 8951: 43 000 ± 1 300/1 100 B.P. (Mittel-Weichsel) GrN 10182: 31 610 ± 300 B.P. (Oberes Mittel-Weichsel)			Humose Schicht unterhalb des Ringwalls GrN 8940: 42 250 ± 800 B.P. (Mittel-Weichsel) GrN 8950: 34 640 ± 460 B.P. (Mittel-Weichsel)
Wachstum Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982)	Bis 18 000 B.P. (Phase extremer Abkühlung (oberes Mittel-Weichsel))	25 000 – 19 000 B.P. (Oberes Mittel-Weichsel: Phase extremer Abkühlung)			25 000 – 19 000 B.P. (Oberes Mittel-Weichsel: Phase extremer Abkühlung)
Zerfall Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982)	ab 18 000 – 13 000 B.P. (Weichsel-Spätglazial)	19 000 – 14 000 B.P. (DE GANS 1982) BÖLLING-Interstadial: Beginn und vollständiger Zerfall (BOHNCKE 1993; HOEK & BOHNCKE 2002)			
Entstehung Flugsanddepression (DE GANS & CLEVERINGA 1986)	--	--	--	--	--

## C.2 Demonstration des Leitfadens an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau

Hohlformen	Stokersdobbe	Holveen	Langakkerveen	Kostverlorenveen	Ekehaar
<b>Kriterium 6. Rezente Ausbildung</b>					
Morphologische Ausbildung:	Hohlform, trocken	Hohlform, wasserführend	Hohlform, wasserführend	Hohlform, z.T. wasserführend	Hohlform, trocken
Gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung):	Brachfläche mit Baumbewuchs und Schilf	See mit baumbewachsener Brachfläche	See mit baumbewachsener Brachfläche	Brachfläche mit Bewuchs	Brachfläche mit Bewuchs
Verfüllung Hohlform mit organogenen Sedimenten:	Torf: 3 m, Gytija: 4 m	Torf: 4 m, Gytija: 1 m	Torf: 2,5 m, Gytija: 1 m	Torf: 3 m, Gytija: 2 m	Torf: 3,5 m, Gytija: 1 m
Mächtigkeit Verfüllung:	7 m	5 m	3,5 m	5 m	4,5 m
<b>Kriterium 7. Geologische Einstufung</b>					
Kriterien für Paläopingo:	Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt
Kriterien für Flugsand depression:	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt
Geologische Einstufung:	Paläopingo	Paläopingo	Paläopingo	Paläopingo	Paläopingo
<b>Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme</b>					
Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie:	--	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt
Endtiefe der Bohrungen:	15 Bohrungen bis max. 6 m Tiefe	11 Bohrungen bis max. 6 m Tiefe	7 Bohrungen bis max. 4 m Tiefe	10 Bohrungen bis max. 6 m Tiefe	15 Bohrungen bis max. 5 m Tiefe
Entnahme von Sedimentproben:	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt
Vermessung der Bohransatzpunkte:	--	--	--	--	--
Geologische Aufnahme:	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt	Erfolgt
Geologische Darstellung in Profilschnitten:	Profilschnitt B/B' in W-E-NE Richtung	Profilschnitt Südwest - Nordost			Profilschnitt Nord-Süd

## C.2 Demonstration des Leitfadens an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau

Hohlformen	Hohlform A	Hohlform B	Hijkermeer	PP Ballooërveld	Papenvoort
Gauß-Krüger Koordinaten	H: 5875079,20 R: 2546998,65	H: 5875323,52 R: 2547104,21	H: 5861969,61 R: 2533159,07	H: 5876442,11 R: 2543675,01	H: 5869787,56 R: 2546497,26
<b>Kriterium 1. Paläoklimatische und –geohydrogische Voraussetzungen</b>					
Periglaziales Gebiet (FRENCH 1996, 2007):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eisfreies Gebiet außerhalb der Vergletscherungen in der Weichsel-Kaltzeit</li> <li>– Trocken kaltes und windiges Frostklima</li> <li>– Tundravegetation, ggf. vegetationslos</li> <li>– Temperaturen nahe 0°C</li> <li>– Dauerhafte Wasserquelle für Genese Paläopingo ist gegeben</li> <li>– Auftauschicht („Active Layer“): max. 2 m mächtig</li> <li>– Geringmächtiger, diskontinuierlicher Permafrost</li> </ul>				
Paläo-Geomorphologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	Drenthe-Plateau	Drenthe-Plateau	Drenthe-Plateau	Drenthe-Plateau	Drenthe-Plateau
Paläo-Hydrologie (DE GANS 1981, 1982, FRENCH 1996, 2007):	Weitäumig verzweigtes Drentsche Aa Entwässerungssystem, Nebental, aktiv bis Ende Pleniglazial	Weitäumig verzweigtes Drentsche Aa Entwässerungssystem, Nebental, aktiv bis Ende Pleniglazial	Weitäumig verzweigtes Drentsche Aa Entwässerungssystem, Tiefland zw. Looner Tief und Rolder Tief, Hangneigung von 1° im Westen und 0,5° im Osten	Weitäumig verzweigtes Drentsche Aa Entwässerungssystem, ehem. Nebental des Andersche Tiefs mit leichter Hangneigung von <0,5° nach Westen	Weitäumig verzweigtes Drentsche Aa Entwässerungssystem, ehem. Nebental des Andersche Tiefs mit leichter Hangneigung von <0,5° nach Westen
<b>Kriterium 2. Genese</b>					
Geomorphologische Prozesse (GARLEFF 1968):	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)	Kryogen (Oberflächenform: Paläopingo)
Genese-Typ (GARLEFF 1968):	Kryogene Kave	Kryogene Kave	Kryogene Kave	Kryogene Kave	Kryogene Kave
Genese-Typ (MACKAY 1998):	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)	Hydraulisch/offenes System (Ostgrönland-Typ)
<b>Kriterium 3. Auftreten</b>					
Vorkommen (EHLERS 1994, 2011):	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet	Weichsel-kaltzeitliches Periglazialgebiet
Lage (GARLEFF 1968, DE GANS 1981):	Hondsrug-System, Westseite "Hondsrug"	Drenthe-Plateau	Hondsrug-System, westlich "Rolde-Rücken"	Hondsrug-System, Westseite „Hondsrug“	Hondsrug-System, Westseite „Hondsrug“
Anordnung Paläopingo / Flugsand depression (DE GANS 1982, FRENCH 1996):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weitere Paläopingos benachbart</li> <li>– Aufreihung Perlenschnur</li> <li>– Keine Flugsanddepressionen benachbart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weitere Paläopingos benachbart</li> <li>– Keine Flugsanddepressionen benachbart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– In kleinen Gruppen (Cluster)</li> <li>– 9 Flugsanddepressionen benachbart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weitere Paläopingos benachbart</li> <li>– In kleinen Gruppen (Cluster)</li> <li>– Keine Flugsanddepressionen benachbart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weitere Paläopingos benachbart</li> <li>– In kleinen Gruppen (Cluster)</li> <li>– Keine Flugsanddepressionen benachbart</li> </ul>

## C.2 Demonstration des Leitfadens an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau

Hohlformen	Hohlform A	Hohlform B	Hijkermeer	PP Ballooërveld	Papenvoort
<b>Kriterium 4. Geometrie</b>					
Form (FRENCH 1996):	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
Durchmesser (MACKAY 1987): (kleiner: <100 m; mittlerer: 100 – 200 m; größer: >200 m):	300 m (groß)	150 m (mittel)	215 m (groß)	Ca. 70 m (klein)	100 m (mittel)
Tiefe (geringe: 2 – <5 m; mittlere: 5 – 10 m; große: >10 m), geändert nach DE GANS & SOHL (1981):	3 m (gering)	4 m (gering)	17 m (groß, im Bereich von „geologischem Fenster“)	Ca. 5,5 m (mittel)	7 m (mittel)
Wandneigung (flach: <30°; relativ steil: 30 – 60°; steil: >60°):	„Relativ steil“ (ca. 60°)	„Steil“ (ca. 75°)	--	„Steil“ (ca. 75°)	„Steil“ (ca. 75°)
Formtyp (GARLEFF 1968):	Trichterförmig	Trichterförmig	Trichterförmig	Trichterförmig	Trichterförmig
Existenz Ringwall (GARLEFF 1968, DE GANS & CLEVERINGA 1981):	– <i>Hohlform A</i> : an Südseite vorhanden, <i>Hohlform B</i> : an Nordseite vorhanden – Umgelagerte Hangablagerungen des ehem. Nebentals: unsortierte Sande mit Kiesen		--	– Vollständig vorhanden – Aus Grobsand und Kies, überlagert mit Decksand	– Vollständig vorhanden – Aus unsortierten Sanden mit Kiesen
Höhe / Breite Ringwall:	Ca. 1 m / 50 m (abgeleitet)	ca. 1 m / 50 m (abgeleitet)	--	--	Ca. 1 – 1,4 m / 75 m
<b>Kriterium 5. Datierung</b>					
Relative Altersabfolge (Pollenanalyse)	--	--	--	--	Erfolgt
Absolute Altersdatierung ( <sup>14</sup> C-Methode)	--	--	--	--	Humose Schicht unterhalb des Ringwalls GrN 8942: 37 250 ± 750 B.P. (Mittel-Weichsel) GrN 10328: 29 140 ± 250 B.P. (Oberes Mittel-Weichsel)
Wachstum Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982)	20 000 B.P. (Oberes Mittel-Weichsel: Phase extremer Abkühlung)			Ca. 30 000 – 20 000 B.P. (Oberes Mittel-Weichsel)	25 000 – 19 000 B.P. (Oberes Mittel-Weichsel: Phase extremer Abkühlung)
Zerfall Paläopingo (FRENCH 1996, 2007, DE GANS 1980, 1982)	BÖLLING–Interstadial: Beginn und vollständiger Zerfall (BOHNCKE 1993; HOEK & BOHNCKE 2002)			Ca. 20 000 – 13 000 B.P. (vollständig – Weichsel- Spätglazial)	19 000 – 14 000 B.P. (DE GANS 1982) BÖLLING–Interstadial: Beginn und vollständiger Zerfall (BOHNCKE 1993; HOEK & BOHNCKE 2002)
Entstehung Flugsanddepression: (DE GANS & CLEVERINGA 1986)	--	--	--	--	--

## C.2 Demonstration des Leitfadens an Beispielen auf dem Drenthe-Plateau

Hohlformen	Hohlform A	Hohlform B	Hijkermeer	PP Ballooërveld	Papenvoort
<b>Kriterium 6. Rezente Ausbildung</b>					
Morphologische Ausbildung:	Hohlform, wasserführend	Hohlform, trocken	Hohlform, wasserführend	Hohlform, trocken	Hohlform, wasserführend
Gegenwärtige Nutzung der Fläche (ggf. anthropogene Überprägung):	See	Vermoorte Brachfläche	See (Tiefe: 2,4 m)	Heidefläche	See mit Brachfläche umgebend
Verfüllung Hohlform mit organogenen Sedimenten:	Gyttja: 0,5 m, Torf: 1,5 m	Gyttja: 1,5 m, Torf: 1 m	--	Torf: 3,5 m, Gyttja: 1 m	Torf 3 m, Gyttja: 2 m
Mächtigkeit Verfüllung:	2 m	2,5 m	--	4,5 m	5 m
<b>Kriterium 7. Geologische Einstufung</b>					
Kriterien für Paläopingo:	Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt
Kriterien für Flugsanddepression:	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt	Nicht erfüllt
Geologische Einstufung:	Paläopingo	Paläopingo	Paläopingo	Paläopingo	Paläopingo
<b>Kriterium 8. Feldarbeiten und geologische Aufnahme</b>					
Bohransatzpunkte auf der Schnittlinie:	Erfolgt	Erfolgt	--	--	Erfolgt
Endtiefe der Bohrungen:	8 Bohrungen bis max. 4 m Tiefe	6 Bohrungen bis max. 4 m Tiefe	--	Bohrungen bis max. 5 m Tiefe	8 Bohrungen bis max. 7,5 m Tiefe
Entnahme von Sedimentproben:	--	--	--	--	Erfolgt
Vermessung der Bohransatzpunkte:	--	--	--	--	--
Geologische Aufnahme:	Erfolgt	Erfolgt	--	Erfolgt	Erfolgt
Geologische Darstellung in Profilschnitten:	Profilschnitt Nord-Süd	Profilschnitt Nord-Süd	--	Profilschnitt Südwest-Nordost	Profilschnitt West-Ost

## Anhang D Stratigraphische Tabellen

### D.1 Stratigraphische Gliederung des Holozäns und der Weichsel-Kaltzeit für Niedersachsen, verändert nach LBEG 2017, 2018 und ergänzt mit Begrifflichkeiten von EHLERS (1994), DE GANS (1980, 1982) und (LITT et al. 2007)

#	Lithostratigraphie		Klimaperioden (Holozän: nach BLYTT & SERNANDER)	Biostratigraphie FIRBAS (1949/54)	Kalibrierte Kalenderjahre vor heute (Jahresschichtenzählungen)	
Holozän			Jüngeres/Älteres Subatlantikum (Nachwärmezeit)	Zone IX/X	2 400 cal J.v.h. – heute	
			Subboreal (Späte Wärmezeit)	Zone VIII	5 660 – 2 400 cal J.v.h.	
			Atlantikum (Mittlere Wärmezeit)	Zone VI/VII	9 220 – 5 660 cal J.v.h.	
			Boreal (Frühe Wärmezeit)	Zone V	10 640 – 9 220 cal J.v.h.	
			Präboreal (Vorwärmezeit)	Zone IV	11 560 – 10 640 cal J.v.h.	
Pleistozän	Weichsel-Kaltzeit (115 000 – 11 700 J.v.h.)	Ober-Weichsel (Weichsel-Spätglazial)*	Jüngere Tundrenzeit (Jüngere Dryas)	Zone III	12 700 – 11 560 cal J.v.h.	
			Allerød-Interstadial	Zone II	13 350 – 12 700 cal J.v.h.	
			Ältere Tundrenzeit (Ältere Dryas)	Zone I Zone Ic (LITT et al. 2007)	13 480 – 13 350 cal J.v.h.	
			Bölling-Interstadial	Zone Ib (LITT et al. 2007)	13 730 – 13 480 cal J.v.h.	
			Älteste Tundrenzeit (Älteste Dryas)	Zone Ia (LITT et al. 2007)	13 860 – 13 730 cal J.v.h.	
			Meiendorf-Intervall (Erste Interstadiale Phase)		14 500 – 13 860 cal J.v.h.	
			Mecklenburger Vorstoß	Beginn, nicht ausdifferenziert, da keine weichsel-kaltzeitlichen Eisvorstöße in Niedersachsen		
					<b>Konventionelle Radiokarbonalter B.P.</b>	
		Phase extremer Abkühlung			n. z.	22 000 – 18 000 B.P.
		Denekamp-Intervall			n. z.	32 000 – 28 000 B.P.
	Hengelo-Intervall			n. z.	38 700 – 36 900 B.P.	
	Moershoofd-Intervall-Komplex			n. z.	--	
	Glinde-Intervall			n. z.	51 000 – 48 000 B.P.	
	Ebersdorf-Stadial			n. z.	--	
	Oerel-Interstadial			n. z.	57 700 – 55 400 B.P.	
	Schalkholz-Stadial			n. z.	--	
	Odderade-Interstadial			n. z.	um 74 000 B.P.	
	Rederstall-Stadial			n. z.	--	
	Brörup-Interstadial			n. z.	--	
	Herning-Stadial			n. z.	--	

#: Internationale Stufengliederung  
 \*\*: lithostratigraphischer Begriff nach DE GANS (1980, 1982)  
 J.v.h.: Jahre vor heute  
 n. z.: nicht zutreffend

\*: lithostratigraphischer Begriff nach EHLERS (1994)  
 --: keine Information  
 B.P.: Before Present

## Anhang D Stratigraphische Tabellen

### D.2 Biostratigraphische Gliederung des Eem-Interglazials nach MENKE & TYNNI (1984)

Eem-Interglazial für Nordwestdeutschland	
Bezeichnung der Zone	MENKE & TYNNI (1984)
Kiefernzeit	Zone VII
Kiefern-Fichten-Tannen-Zeit	Zone VI
Hainbuchen-Fichten-Zeit	Zone V
Hasel-Eiben-Linden-Zeit	Zone IVb
Eichenmischwald-Hasel-Zeit	Zone IVa
Kiefern-Eichenmischwald-Zeit	Zone III
Kiefern-Birken-Zeit	Zone II
Birkenzeit	Zone I