

---

Ilka Schmooch, 21141878

**Charakterisierung und Verbreitung von  
Wölbackerböden in Niedersachsen**

**Characterization and distribution of  
ridge and furrow in Lower Saxony**

Masterarbeit im wissenschaftlichen Studiengang Agrarwissenschaften  
an der Georg-August-Universität Göttingen,  
Fakultät für Agrarwissenschaften  
Studienrichtung: Ressourcenmanagement

1. Prüfer: Dr. Peter Gernandt

2. Prüfer: Dr. Christian Ahl

Abgabetermin: 15.06.2017

Angefertigt im Department für Nutzpflanzenwissenschaften,  
Abteilung Agrarpedologie  
in Zusammenarbeit mit dem Landesamt  
für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover  
Dr. Ernst Gehrt

---

### Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung der Masterarbeit unterstützt haben.

Im vergangenen Jahr durfte ich den Geländekurs Bodenwissenschaften als studentische Hilfskraft unter Leitung von Herrn Dr. Christian Ahl und Herrn Dr. Peter Gernandt begleiten. Damals wurde mein Interesse für Wölbäcker durch die Exkursion *Bodengeschichte* geweckt. Während der Erstellung meiner Masterarbeit begleiteten mich beide Prüfer bei Geländetätigkeiten, regten inhaltliche Diskussionen an und haben mich stets motiviert. Für diese Unterstützung möchte ich beiden Prüfern herzlich danken.

Die Bearbeitung der Fragestellung wurde mir durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie unter Leitung von Herrn Dr. Ernst Gehrt ermöglicht. Für die konstruktive Kritik und die hilfreichen Anregungen sowie die kontinuierliche Unterstützung zur Erstellung der Masterarbeit möchte ich auch ihm herzlich danken. Dem Referat *Geologie und Boden* (LBEG) danke ich für die Möglichkeit der zeitweiligen Raumnutzung in Hannover und die stetige Hilfsbereitschaft bei Büchersendungen, Literaturbestellungen und der Bereitstellung von Labordaten.

Durch das Institut für Historische Landesforschung der Georg-August-Universität Göttingen war es mir möglich, historische Literatur, Kartenmaterial und digitale Daten zur Siedlungsgeschichte zu erhalten. Für die freundlichen Antworten auf meine Fragen und die Hilfe bei der Literatursuche gilt mein Dank Herrn Dr. Niels Petersen.

Des Weiteren möchte ich mich bei meiner Kommilitonin Rahel Sutterlütli bedanken, die mir mit viel Geduld und großer Hilfsbereitschaft beiseite stand. Ein besonderer Dank gilt außerdem meinen Freunden Andrea Dehoff, Charlotte Weddigen von Knapp, Greta Becker, Jan-Christoph Rattay und Johannes Altmeyer durch deren Anregungen ich meine Arbeit fortwährend verbessern konnte. Abschließend danke ich meinem Freund Hans-Martin Engell für den emotionalen Rückhalt während dieser Zeit und das fachliche Interesse an meiner Arbeit.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	I
Inhaltsverzeichnis .....	II
I Abbildungen .....	V
II Tabellen.....	VII
III Skizzen.....	VIII
IV Karten .....	IX
V Fotos .....	X
VI Anhang.....	XI
VII Abkürzungen.....	XII
Zusammenfassung.....	1
Abstract .....	2
1 Einleitung und Zielstellung .....	3
2 Aktueller Kenntnisstand zu Wölbackern .....	5
2.1 Rahmenbedingungen des Bodenschutzes.....	5
2.1.1 Archivfunktion .....	6
2.1.2 Lebensraumfunktion.....	8
2.1.3 Klimafunktion.....	9
2.2 Historische Rahmenbedingungen.....	11
2.2.1 Von der Blüte des Mittelalters bis zur spätmittelalterlichen Agrarkrise.....	11
2.2.2 Landwirtschaft zur Zeit des Mittelalters.....	13
2.2.3 Mittelalterliche Flurgeneese.....	16
2.2.4 Ende des Mittelalters und Beginn der Neuzeit.....	20
2.2.5 Historische Bodenerosion.....	21
2.3 Morphologie und Charakteristika von Wölbackern .....	23
2.3.1 Terminologie .....	23
2.3.2 Technik des Streichbrettpfluges .....	24
2.3.3 Morphologie und Erscheinungsbild.....	26
2.3.4 Systematische Stellung der Wölbackerböden und Abgrenzung zu anderen humosen Böden.....	30
2.3.5 Verbreitung von Wölbackern.....	32
3 Methodik .....	33

## Inhaltsverzeichnis

---

3.1 Darstellung nachgewiesener Wölbackerflächen .....	33
3.2 Konzept zur Berechnung potentieller Wölbackerflächen in Niedersachsen....	35
3.3 Gliederung Niedersachsens .....	36
3.4 Vorhersage zur Verbreitung der Wölbackerflächen.....	42
3.4.1 Einfluss von Standortbedingungen auf die landwirtschaftliche Nutzung .....	42
3.4.2 Datengrundlage und Quellenkritik .....	45
3.4.3 Datengrundlage zur Validierung .....	51
3.4.4 Fazit zur Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche .....	55
4 Ergebnisse.....	56
4.1 Nachgewiesene Wölbackerflächen.....	56
4.1.1 Verteilung nachgewiesener Wölbackerflächen in den Bodenlandschaften .	56
4.1.2 Lage der nachgewiesenen Wölbackerflächen .....	61
4.1.3 Heutige Nutzung ehemaliger Wölbackerflächen.....	63
4.1.4 Diskussion .....	63
4.1.5 Fazit.....	65
4.2 Potentielle Verbreitung und Abschätzung der Wölbackerfläche in Nieder- sachsen.....	66
4.2.1 Vorgehensweise zur Berechnung der Wölbackerfläche Niedersachsens .....	66
4.2.2 Berechnung der potentiellen Altacker- bzw. Allmendefläche.....	67
4.2.3 Validierung der Ergebnisse über Hochrechnungen nach HIST25 .....	67
4.2.4 Bekannte Altackerflächen nach BK50.....	68
4.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse (BK50, FPA, GMK25, HIST25) .....	68
4.2.6 Validierung der Ergebnisse über die Bodenschätzung .....	75
4.2.7 Diskussion .....	76
4.2.8 Fazit.....	79
5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen ....	80
5.1 Wölbackernachweise in Hannover, Göttingen und Umgebung.....	80
Standort 1 - Gehrden .....	84
Standort 2 - Reinhausen .....	86
Standort 3 - Waake .....	87
Standort 4 - Rollshausen.....	88
Standort 5 - Gleichen .....	89

## Inhaltsverzeichnis

---

Standort 6 - Obernfeld .....	90
Standort 7 - Groß Thiershausen.....	91
Standort 8 - Leisenberg.....	92
Standort 9 - Landolfshausen .....	93
5.2 Systematik der Wölbäcker aus bodenkundlicher Sicht .....	94
5.2.1 Erhaltene Wölbäcker (primär) .....	94
5.2.2 Eingebnete Wölbäcker unter landwirtschaftlicher Nutzung (sekundär).....	95
5.2.3 Erodierter und verfüllte Wölbäcker (sekundär).....	96
5.3 Profildatenauswertung - Klimabedeutung von Wölbackerböden.....	98
5.3.1 Methodik.....	98
5.3.2 Ergebnisse .....	99
5.3.3 Lage der untersuchten Profile (LBEG, Thünen-Institut) .....	100
5.3.4 Diskussion .....	101
5.3.5 Fazit.....	102
5.4 Bewertung der Archiv- und Klimafunktion von Wölbäckern.....	103
6 Zusammenfassende Diskussion .....	105
6.1 Gründe für den Wölbackerbau .....	105
6.2 Ansprache und systematische Einordnung von Wölbackerböden.....	107
6.3 Wölbackerböden als kulturgeschichtliche Archive und Kohlenstoffsene ....	110
6.4 Nachweise erhaltener und erkennbarer Wölbäcker .....	112
6.5 Potentielle Verbreitung von Wölbackerflächen in Niedersachsen .....	114
7 Fazit.....	116
8 Literatur .....	118
9 Anhang.....	i
Eidesstattliche Erklärung .....	x

### I Abbildungen

Abbildung 1: Temperaturanomalien (Abweichungen von den Durchschnittstemperaturen), verändert nach LJUNGQVIST, 2010 aus KOLLER, 2013. ....	11
Abbildung 2: Dreifelderwirtschaft (UNIVERSITÄT FRANKFURT, 2012). ....	13
Abbildung 3: Prinzip der Dreifelderwirtschaft zur Zeit des Mittelalters (in Anlehnung an BEHRE, 2008). ....	13
Abbildung 4: Landwirte mit Streichbrettpflug aus dem 13. Jahrhundert (Heidelberger Sachsenspiegel aus SPANNHOF, 2016). ....	14
Abbildung 5: Modell des Beetpfluges (Foto: E. Gehrt). ....	14
Abbildung 6: Mittelalterlicher Plaggenransport (GEHRT, 2012). ....	15
Abbildung 7: Plaggeneschwirtschaft (THIERER, 2008 aus MÜLLER et al. 2011). ....	15
Abbildung 8: Links: Marschhufenbeet mit Grütze, rechts: Kalkmarsch unter landwirtschaftlicher Nutzung (GEHRT et al., 2014). ....	15
Abbildung 9: Verschiedene Flurformen von 1830 (RINGLEB, 1960). ....	16
Abbildung 10: Kartenausschnitt, Langstreifenflur der Marschhufenbeete in Buxtehude (nahe der Elbe), 1764-1786 (SCHNATH, 1939). ....	17
Abbildung 11: Block- und Langstreifenflur in Ostenfelde (südöstlich von Melle), 1788 (PISCHKE, 1989). ....	17
Abbildung 12: Blockflur mit teils vorliegender Streifenflur in der Lüneburger Heide, 1847 (PISCHKE, 1989). ....	17
Abbildung 13: Entstehung der S-Form durch die verwendete Pflugtechnik bei Wölbäckern (EYRE, 1955). ....	19
Abbildung 14: Luftbild von Bezgenriet (BRAASCH, 1994). ....	19
Abbildung 15: Ausschnitt der zersplitterten Gemeinde Werxhausen (verändert nach SEEDORF&MEYER, 1996). ....	21
Abbildung 16: Wassererosion AID, 2013 (Grafik: J. Bung aus BGR, o.J.). ....	21
Abbildung 17: Flächenhafte Erosion durch Wasser (Foto: N. Rossier). ....	21
Abbildung 18: Das mittlere Ausmaß der Erosion in Deutschland (ohne Alpenraum) seit dem Frühmittelalter (BATZ et al. 1998 aus BORK 2006). ....	22
Abbildung 19: Erosionsgeschehen im Eichsfeld (HEMPEL, 1957 aus DEUMLICH et al., 2014). ....	23
Abbildung 20: 1 - Hakenpflug, 2 - Streichbrettpflug (in Anlehnung an Sachsen Spiegel, ca. 1230 aus DIERKES, 2000). ....	24
Abbildung 21: Streichbrettpflug, Kippen der Ackerschollen, Wölbäckerstrukturen (JEPPESEN, 1981 aus KLAMM, 1993). ....	25
Abbildung 22: Entstehung von Wölbäckern (aus HAUGER et al., 2001). ....	25
Abbildung 23: Wölbäckerstruktur im Forst Helmstedt (Foto: M. BERNATZKY). ....	26
Abbildung 24: Wölbäckerstrukturen unter Wald (Foto: E. GEHRT). ....	26
Abbildung 25: Wölbäcker bei Thiershausen. Zeichnung von E. Kühlhorn (1960) aus JÄGER (1965). ....	26
Abbildung 26: Wölbäckerrücken und -tal in der Natteheide (Brandenburg), HIEROLD&NAGEL aus (GALL et al., 2005). ....	27

## Inhaltsverzeichnis

---

Abbildung 27: Ehemalige Wölbäcker unter Grünland nahe Göttingen (Foto: H. Steinmann). .....	28
Abbildung 28: Eingeebnete Wölbäckerstrukturen unter ackerbaulicher Nutzung in Donstorf (Bild: K. Mahlitz-Frey). .....	28
Abbildung 29: Wölbäckerrelikte im Digitalen Geländemodell (DEUMLICH, 2012). .....	28
Abbildung 30: Lage der analysierten Erosionsgräben, (DEUMLICH, 2012). .....	28
Abbildung 31: Zerschluchtete Flächen in Rüdershausen (BORK, 2014). .....	29
Abbildung 32: Anthropogen geprägte Böden. 1: Wölbäckerboden (SCHMOOCK, 2017), 2: Plaggenesch (GEHRT, 2012), 3: Schwarzerde (GEHRT, o.J.), 4: Rigosol-Kleimarsch (BEHÖRDE FÜR UMWELT UND ENERGIE, 2011), 5: Kolluvisol (LUBW, 2017). .....	30
Abbildung 33: Brauner und Grauer Plaggenesch (1: MÜLLER et al., 2011; 1a & 2a: GEHRT, 2012; 2: UMWELTKONZEPT DR. MEYER, 2015). .....	31
Abbildung 34: Ausschnitt aus der geomorphographischen Karte Niedersachsens (KÖTHE, 2017). .....	48
Abbildung 35: Verteilung nachgewiesener Wölbäckerflächen nach Bodenregionen Niedersachsens in Prozent. ....	58
Abbildung 36: Flächenanteile der Bodenregionen an der Gesamtfläche Niedersachsens in Prozent. ....	58
Abbildung 37: Verteilung nachgewiesener Wölbäckerflächen in nds. Bodenlandschaften (absolut). .....	61
Abbildung 38: Heutige Nutzung von Wölbäckerflächen (in prozentualen Anteilen). .....	63
Abbildung 39: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Geest West). .....	70
Abbildung 40: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Geest Ost). .....	71
Abbildung 41: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Bergland und Lössbörde). ....	72
Abbildung 42: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Osnabrücker Bergland). .....	73
Abbildung 43: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Bördenvorland). ....	74
Abbildung 44: Berechnete Flächennutzung der einzelnen Teilräume nach BK50, GMK25, HIST25 und FPA. ....	75
Abbildung 45: Bodenkundliche Entwicklung am Standort Thiershausen (verändert, aus WELL, 1989 nach BORK&ROHDENBURG, 1979). .....	91
Abbildung 46: Boxplot zum Vergleich der Humusgehalte von Wölbäckerböden und Referenzflächen unter landwirtschaftlicher Nutzung (Tiefe von 30-60 cm). .....	99
Abbildung 47: Mikromorphologie von Wölbäckerstrukturen (verändert nach ALCÁNTARA et al., 2017). .....	101

### II Tabellen

Tabelle 1: Bodenfunktionen nach BBodSchG, Erläuterungen in Anlehnung an BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, o.J.).	5
Tabelle 2: Bodenarchive der Natur- und Kulturgeschichte (Übersicht) nach BOESS et al., 2002; LAZAR et al., 2010; WALDMANN, 2011; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2016.	6
Tabelle 3: Stufen der Humusgehalte (OBS) von Böden, 1 = Gehalte unter forstlicher Nutzung (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005).	10
Tabelle 4: Flurformen (vgl. BACHOFER, 2002).	16
Tabelle 5: Ausgewählte Kategorien auf Grundlage der BK50 zur Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche.	46
Tabelle 6: Beispiele aus dem BK50-Datensatz zur Festlegung der Zielkategorien.	47
Tabelle 7: Ausschlussflächen für Wölbäcker nach Relief (GMK25).	48
Tabelle 8: Ursprüngliche Kategorien der HIST25.	51
Tabelle 9: Verteilung der nachgewiesenen Wölbackerflächen in absoluten Zahlen nach BR, BGL, BL, n = 1167.	57
Tabelle 10: Berechnungen zur potentiellen Altacker- bzw. Allmendefläche, nach Regionen Niedersachsens.	67
Tabelle 11: Berechnungen zur pot. Allmendefläche und zur Altackerfläche aus HIST25.	67
Tabelle 12: Berechnungen zur bekannten Altackerfläche und der daraus nicht bekannten Altackerfläche nach HIST25.	68
Tabelle 13: Berechnete Flächen mit zweitem humosem Horizont je Gebiet.	75
Tabelle 14: Standortbeschreibung Gehrden (Wald).	84
Tabelle 15: Standortbeschreibung Gehrden (Acker).	85
Tabelle 16: Standortbeschreibung Reinhausen (Wald).	86
Tabelle 17: Standortbeschreibung Waake (Grünland).	87
Tabelle 18: Standortbeschreibung Rollshausen (Grünland).	88
Tabelle 19: Standortbeschreibung Gleichen (Acker).	89
Tabelle 20: Standortbeschreibung Obernfeld (bewaldete Schlucht am Acker).	90
Tabelle 21: Standortbeschreibung Groß Thiershausen (Wald).	91
Tabelle 22: Standortbeschreibung Leisenberg (Wald).	92
Tabelle 23: Standortbeschreibung Landolfshausen (Grünland).	93

### III Skizzen

Skizze 1: Hierarchieebenen: BR, BGL, BL.....	33
Skizze 2: Konzept der Arbeit zur Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche Niedersachsens.....	35
Skizze 3: Berechnungsschritte der potentiellen Wölbackerfläche für Teilgebiete Niedersachsens.....	66
Skizze 4: Links: Erhaltene Wölbackerstruktur unter Wald, rechts: Rekonstruktion einer primären Wölbackerstruktur in Anlehnung an MEIBEYER (1969). ....	94
Skizze 5: Eingeebnete Wölbackerstruktur (durch ackerbauliche Nutzung).....	95
Skizze 6: Bodenentwicklung am Hang (Catena) (verändert nach STAHR, 2014; CHMIELESKI, o.J.). 1: Braunerde bei mittlerer Hangneigung, 2: Kolluvium bei leichter Hangneigung. ...	96
Skizze 7: Durch Oberflächenabfluss erodierte Wölbackerstruktur.....	97
Skizze 8: Eingeebnete Wölbackerstruktur (durch kolluvialen Materialeintrag). ....	97
Skizze 9: Modellhafte Darstellung der untersuchten Referenzflächen und Profile mit einzelnen Tiefenabschnitten. ....	98
Skizze 10: Bewertung der Archiv- und Klimafunktion im Sinne des Bodenschutzes unter Berücksichtigung der verschiedenen Wölbackertypen.....	103

### IV Karten

Karte 1: Generalisierte Karte der Bodenregionen und Bodengroßlandschaften in Niedersachsen und Bremen (LBEG, 2007).....	37
Karte 2: Teilräume Niedersachsens, basierend auf naturräumlichen sowie sozio-ökonomischen Faktoren. ....	41
Karte 3: Historische Nutzungskarte von Niedersachsen mit den Kategorien: Moor, .....	49
Karte 4: 2 Beispielgemeinden. Verden (Aller) im Tiefland, Nörten-Hardenberg im Bergland. Links: Historische Karte 1 : 25 000, rechts: Historische Nutzungskarte (NLWKN und FPA).....	50
Karte 5: Historische Karte von Niedersachsen im Maßstab 1 : 25 000. ....	52
Karte 6: Böden mit zweitem humosem Horizont nach Bodenschätzung. (BS 1 : 5 000). ...	54
Karte 7: Beispiel zur Darstellung von HIST25 und BS, Bergland und Lössbörde. ....	54
Karte 8: Verteilung nachgewiesener Wölbäcker in nds. Bodenlandschaften nach verschiedenen Quellen .....	62
Karte 9: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen in Geest West.....	70
Karte 10: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen in Geest Ost.....	71
Karte 11: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen im Bergland und der Lössbörde. ....	72
Karte 12: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen im Osnabrücker Bergland. ...	73
Karte 13: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen im Bördenvorland. ....	74
Karte 14: Lage der untersuchten Wölbackerstandorte im Teilgebiet Niedersachsens. ....	81
Karte 15: Verteilung untersuchter Wölbackerprofile (LBEG, THÜNEN-INSTITUT) unter Einbeziehung der Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Unterböden Niedersachsens nach MÖLLER&KENNEPOHL, 2014.....	100

### V Fotos

Foto 1: Blick in den Bestand mit erkennbaren Wölbungen im Gelände, (Foto: I. Schmoock). .....	84
Foto 2: Links: Rückenbereich einer Wölbackerstruktur, rechts: Furchenbereich (Foto: I. Schmoock). .....	84
Foto 3: Wölbacker - Profil unter Acker. 0-30 cm Ap, 30-60 cm wR (Foto: I. Schmoock). ...	85
Foto 4: Gewölbte Oberfläche im Grünland (Foto: I. Schmoock). .....	86
Foto 5: Profilwand (ALCÁNTARA et al., 2017). .....	86
Foto 6: Gewölbte Oberfläche im Wald (Foto: I. Schmoock). .....	86
Foto 7: Deutliche Wölbungen im Grünland (Foto: I. Schmoock). .....	87
Foto 8: Furche des ehemaligen Wölbackers (nass) (Foto: P. Gernandt). .....	87
Foto 9: Blick vom Wirtschaftsweg (Foto: P. Gernandt). .....	87
Foto 10: Rückenbereich des ehemaligen Wölbackers (trocken) (Foto: P. Gernandt). .....	87
Foto 11: Erkennbare Wölbungen unter Grünland (Foto: I. Schmoock). .....	88
Foto 12: Blick auf die landwirtschaftliche Fläche (Foto: I. Schmoock). .....	88
Foto 13: Blick in Richtung Dorfmitte (Süden) (Foto: I. Schmoock). .....	89
Foto 14: Blick von der gegenüberliegenden Seite des Feldes mit erkennbaren Wölbackerstrukturen durch die leichte Schneebeckung (Foto: S. Fenner). .....	89
Foto 15: Blick Richtung Norden in den Bestand (Foto: I. Schmoock). .....	89
Foto 16: Ausläufer der ehemaligen Wölbackerflächen (oberhalb) (Foto: I. Schmoock). .....	90
Foto 17: Durch Erosion zerschluchteter ehemaliger Weg bzw. Schlaggrenze (Foto: I. Schmoock). .....	90
Foto 18: Ehemalige Wölbackerfläche in Gr. Thiershausen (Foto: I. Schmoock). .....	91
Foto 19: Schnitt durch ehemalige Wölbacker (H.-R. Bork). .....	91
Foto 20: Wölbacker am Standort Leisenberg (Foto: P. Gernandt). .....	92
Foto 21: Deutliche Wölbungen durch ehemaligen Wölbackerbau, südwestlich der Kirchrui ne (Foto: I. Schmoock). .....	92
Foto 22: Ehemalige Wölbacker unter Grünland (Foto: H. Steinmann). .....	93
Foto 23: Blick auf die landwirtschaftliche Fläche mit deutlichen Farbunterschieden im Bestand (Foto: I. Schmoock). .....	93

### **VI Anhang**

Anhang 1: Labordaten – Profile (LBEG, Hannover) .....	i
Anhang 2: QQ-Plot LBEG-Profilе.....	iv
Anhang 3: QQ-Plot Referenzflächen.....	iv
Anhang 4: Organische Bodensubstanz in Wölbäckerprofilen unter Wald (ALÁCNTARA et al., 2017).....	vi
Anhang 5: Referenz- und Beprobungspunkte in der Fläche (ALÁCNTARA et al., 2017). .....	vi
Anhang 6: Wölbäcker mit Vegetation im Bereich der Rücken (SANCHA, o. J.). .....	vii
Anhang 7: Wölbäcker mit "Zwischenrücken" in den Beetfurchen (MEIBEYER, 1969). .....	vii
Anhang 8: Wölbäcker-Profil in Gr. Thiershausen (BORK, 2001b). .....	vii
Anhang 9: Profilbeschreibung (Furche und Rücken) in der Natteheide (HIEROLD, 2012). ....	vii
Anhang 10: Bodenveränderungen durch mittelalterliche bis neuzeitliche Beetkulturen (GEHRT, 1998b). .....	viii
Anhang 11: Ehemaliger Wölbäcker mit darüber liegender Düne, Wölbäckerprofil und Mulde in Schlagenthin (LINKE, 1968).....	viii

### VII Abkürzungen

BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BK50	Bodenkarte 1 : 50 000
BS	Bodenschätzung
BÜK 50	Bodenübersichtskarte 1 : 50 000
FPA	Forstplanungsamt (Niedersachsen)
GMK25	Geomorphographische Karte 1 : 25 000
GOF	Geländeoberfläche
HIST25	Historische Karte 1 : 25 000
KA 4, KA 5	Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. bzw. 5. Auflage
KAKpot	potentielle Kationenaustauschkapazität
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Mg	Megagramm ( $10^6$ g)
Mt	Megatonne ( $10^{12}$ g)
NIBIS	Niedersächsisches Bodeninformationssystem
NLWKN	Nds. Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
OBS	Organische Bodensubstanz
Pg	Petagramm ( $10^{15}$ g)
SOM	Soil Organic Matter
WRB	World Reference Base for Soil Resources

### Zusammenfassung

Bei der mittelalterlichen bis neuzeitlichen Bodenbearbeitung in Langstreifenfluren mithilfe des Streichbrettfluges entstanden verbreitet gewölbte Ackerbeete, sogenannte Wölbäcker. Die gewölbten Ackerbeete gelten als Archiv der Landschafts- und Kulturgeschichte. Zur Bewertung der Pedofunktionen wird die jeweilige standortsabhängige Ausprägung eines Wölbackers betrachtet. Je nach Relief und Nutzung liegen erhaltene, erodierte und eingeebnete Strukturen vor. Die verschiedenen Formen werden schematisch dargestellt und die tatsächliche Morphologie und ihre Verbreitung durch Geländearbeit im Raum Göttingen und Hannover überprüft. Eine kulturgeschichtliche Archivfunktion kann nur bei den erhaltenen und erodierten Formen von Wölbackerböden festgestellt werden, da hier die ursprüngliche Horizontabfolge noch erkennbar ist. Im Sinne des Boden-, Natur- und Denkmalschutzes sind diese Flächen schützenswert.

Durch die Krümmenvertiefung und den gleichzeitigen Auftrag humosen Materials liegt die Vermutung nahe, dass bei Wölbackerböden eine potentielle Kohlenstoffsänke vorliegen könnte. Bezugnehmend auf die Klimarelevanz von Böden werden C-Gehalte von neun mittelalterlichen eingeebneten Wölbackerstrukturen unter heutiger landwirtschaftlicher Nutzung in verschiedenen niedersächsischen Regionen mit aktuell lokal vorherrschenden Kohlenstoffvorräten verglichen. Der Kohlenstoffvorrat von Wölbackerböden unter ackerbaulicher Nutzung unterscheidet sich in einer Tiefe von 30-60 cm nicht signifikant von lokal herrschenden C-Gehalten. Wölbackerböden unter landwirtschaftlicher Nutzung spielen vermutlich keine entscheidende Rolle als potentielle Kohlenstoffsänke.

Eine offene Fragestellung stellt die potentielle Verbreitung in Niedersachsen und die systematische Einordnung von Wölbackerböden dar. Über 1200 Flächen- und Punktnachweise (Denkmalpflege-Informationssystem (ADABweb), Forstplanungsamt Niedersachsen (FPA), Institut für Historische Landesforschung, Göttingen) werden den Bodenlandschaften Niedersachsens zugeordnet. Um eine flächendeckende Aussage zu treffen, wird eine potentielle Fläche mittelalterlicher Wölbackerareale berechnet. Als Grundlage dafür dienen historische Daten des Forstplanungsamtes Niedersachsen (FPA) sowie des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Über die neue Bodenkarte (LBEG) und die Geomorphographische Karte (LBEG) werden Ausschlussflächen von Altäckern definiert. Die Validierung erfolgt mithilfe der Historischen Karte der ersten Landesvermessung um 1800 (LBEG) und der Bodenschätzung (LBEG). Wölbäcker kommen in nahezu allen Bodenregionen Niedersachsens vor. Die Verbreitung der Altackerflächen konnte für Teilgebiete Niedersachsens mit hoher Vorhersagegenauigkeit erfasst werden, in anderen Gebieten bedarf es weiterer Untersuchungen. Um die Ergebnisse zu validieren, wird eine für Niedersachsen flächendeckend vorliegende historische Karte benötigt.

### Abstract

Medieval cultivation in long strip fields using the scratch plough creates patterns of ridge and furrow still visible in present time. Therefore soils of medieval ridge and furrow cultivation can be archives of regional land use and cultural history. To assess the pedofunctions, three different forms were considered. Depending on the relief and use (i) preserved, (ii) eroded and (iii) embedded shapes were investigated. The various forms are schematically featured. The actual morphology and distribution were examined in field studies in the area near Göttingen and Hannover. A cultural archive function was provided by the preserved and eroded fields, so that the original horizon sequence was still recognisable. In terms of the German soil and nature conservation as well as according to the heritage protection law of Lower Saxony, these areas need to be protected.

The application of organic material suggested that ridge and furrow systems are a potential sink for carbon. With reference to the climatic relevance of soils as carbon sinks or sources, C-content of nine medieval raised fields under agricultural use in different regions of Lower Saxony were compared with current local carbon stocks. The carbon content from a depth of 30 to 60 cm of former raised fields did not differ significantly from locally dominant carbon levels. Consequently, the buried plough horizon does not play a decisive role as a potential carbon sink.

Ridge and furrow cultivation is found in almost all soil regions of Lower Saxony. The potential distribution and the systematic position of soils developed by ridge and furrow is still an open question. For this purpose, more than 1200 landmarks and point records from ADABweb, the Forest Planning Authority of Lower Saxony (FPA), and the Institute for Historical Land Research of Göttingen were assigned to the soil landscapes of Lower Saxony. In order to create a comprehensive picture, the potential area of medieval arable land is calculated from historical data (FPA, NLWKN). The new soil map (LBEG) and the geomorphographical map (LBEG) are used to define excluded areas and proofs of ridge and furrow. Validation is carried out using the historical map of the first national measurement from 1800 (LBEG) and the soil assessment map (LBEG). The spreading of the medieval farmland can be verified with a high degree of validity for sub-regions of Lower Saxony while in other areas there are still uncertainties that need to be clarified. To validate the results, a map for historical use, covering the total area of Lower Saxony, is needed.

### 1 Einleitung und Zielstellung

Zeit, Umweltveränderungen sowie Nährstoffumwandlung und –verlagerung nehmen Einfluss auf die Jahrhunderte bis Jahrtausende andauernde Pedogenese und führen zur aktuellen Ausprägung eines Bodens (KLUIVING, 2013). Die daraus resultierenden rezenten Eigenschaften eines Bodens sowie der Profilaufbau spiegeln die spezifischen Bedingungen einer Region wider (MIEHLICH, 2009). Seit der Jungsteinzeit führen anthropogene Eingriffe in der Umwelt zu weitreichenden Änderungen des Landschaftsbildes. Die Entwicklung von der rezeptiven zur produktiven Subsistenzform vollzog sich im Zuge von Klimaveränderungen zu Beginn des Holozäns (UERPMANN, 2007). Die Techniken der Bodenbearbeitung veränderten sich fortan und nahmen Einfluss auf die damalige Entwicklung der Landwirtschaft. Agrarmorphologische Strukturen sind seither Forschungsgegenstand der historischen Siedlungsgeographie und Archäologie (vgl. WELL, 1989).

Um den Verlauf, die Ursachen und die Folgen der Landschaftsveränderung während des Mittelalters anhand von Bodenprofilen zu rekonstruieren, bedarf es aussagekräftiger und detaillierter Aufschlüsse (BORK et al., 1998). Die Technik des Streichbrettfluges, auch Beetpflug genannt, war ab dem 14. Jh. bis in das 18. und 19. Jh. eine weit verbreitete Form des Landbaus in Mitteleuropa (BARTUSSEK, 1982). Die daraus entstandenen zwischen 8 und 32 m breiten, gewölbten Ackerbeete mit alternierenden bis zu 1 m hohen Beeten und tiefer liegenden Furchen werden auch als Wölbäcker bezeichnet (GALL et al., 2005; Raab et al., 2011). Offene Fragestellungen bestehen trotz vorangegangenen Forschungen bei der Verbreitung und Charakterisierung dieser Strukturen. Bodenkundlich wurden Wölbackerböden bisher nur selektiv erfasst, eine systematische Einordnung und die Darstellung ihrer spezifischen Eigenschaften liegen nicht vor. Weiterhin unklar ist die Verbreitung dieser mittelalterlichen Bewirtschaftungsform in Niedersachsen.

Durch das Zusammenpflügen von humosem Material infolge der speziellen Pflugtechnik liegt bei Wölbackerböden eine Krümmenvertiefung vor. Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion zur Klimarelevanz von Böden, werden Wölbackerböden auf die Funktion einer Kohlenstoffsenske untersucht. Die Potentiale und Prozesse der Humusanreicherung bei erhaltenen Wölbackerstrukturen unter Wald wurden durch das Thünen-Institut erfasst (vgl. ALCÁNTARA et al., 2017). Angaben zu eingeebneten Strukturen unter landwirtschaftlicher Nutzung liegen bislang nicht vor. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Humusgehalte von in Niedersachsen gelegenen Wölbackerprofilen unter rezenter ackerbaulicher Nutzung untersucht. Auf Grundlage dieser Ergebnisse können Rückschlüsse auf die Klimabedeutung von Wölbackerböden gezogen werden.

Durch ihre besondere Morphologie sind die gewölbten Ackerbeete ein wertvolles Relikt des Mittelalters und stellen ein wichtiges Hilfsmittel in der Siedlungs- und Kulturlandschaftsforschung dar (KLAMM, 1993; GALL et al., 2013). Systematische Bodenthemenkarten zu Archivböden liegen für den Raum Niedersachsen nicht flächendeckend vor. Ziel dieser Arbeit ist es daher, eine verbesserte Übersicht der Wölbackerstrukturen in Niedersachsen zu erhalten und ihre Bedeutung als kulturgeschichtliches Archiv und Kohlenstoffsenske zu erfassen. Hierzu werden verschiedene Formen von Wölbackern, basierend auf Literatur

und Beobachtungen im Gelände, beschrieben und grafisch dargestellt. Die Auswertung von Bodenkarten, Karten der historischen Landnutzung, Luftbildern und Archivunterlagen kann Hinweise zur Verbreitung der historischen Wölbackerfluren liefern und damit zum Erhalt kulturhistorisch bedeutender Böden beitragen (BOESS et al., 2002).

Bislang ist die Lage und Ausdehnung nicht ausreichend erfasst und kann nur in Einzelfällen dargestellt werden (OSTMANN, 2005). Von zahlreichen Autoren wurde bereits vermutet, dass die Verbreitung reliktscher Wölbackerstrukturen nicht an bestimmte Bodengesellschaften gebunden sei. Eine quantitative Erfassung von Wölbäckern in Abhängigkeit der bestehenden Bodenverhältnisse fehlt bisher. Ebenso ist die heutige Nutzung ehemaliger Wölbackerareale nicht flächendeckend erfasst. Zu diesem Zweck wird die Verbreitung von Wölbackerböden über bereits bestehende Daten dargestellt und in Zusammenhang mit niedersächsischen Bodenregionen und –landschaften gebracht. Darüber hinaus wird die heutige Nutzung nachgewiesener Wölbackerflächen mithilfe geographischer Informationssysteme ermittelt.

Der aktuelle Forschungsstand zu den Eigenschaften gewölbter Ackerbeete und bereits bestehende Daten zur Verbreitung sowie die naturräumlichen, rechtlichen und historischen Rahmenbedingungen bilden die Grundlage zur Abschätzung des Flächenanteils von Wölbäckern an der Gesamtfläche Niedersachsens. Die Dokumentation von Morphologie, Charakterisierung und Verbreitung der Wölbackerböden soll schlussendlich eine Beurteilung der mittelalterlichen Strukturen in Hinblick auf die Klima- und Archivfunktion im Sinne des Bodenschutzes ermöglichen. Aufgestellte Hypothesen und Literaturhinweise werden über Geländeaufnahmen im Raum Göttingen, Hannover und Umgebung sowie durch die Auswertung von Profildaten niedersächsischer Wölbackerböden verifiziert. Um Wölbäcker von weiteren Böden mit zweitem humosem Horizont abzugrenzen, wird zudem die Stellung der Wölbackerböden aus bodenkundlicher Sicht diskutiert. Abschließend werden die bereits genannten offenen Fragestellungen auf Grundlage des aktuellen Forschungsstandes und der vorliegenden Ergebnisse beantwortet und die Notwendigkeit weiteren Forschungsbedarfs aufgezeigt.

### 2 Aktueller Kenntnisstand zu Wölbäckern

#### 2.1 Rahmenbedingungen des Bodenschutzes

Die Funktionen von Böden sind sehr vielfältig. Sie enthalten einen hohen Informationswert über aktuelle und historische Prozesse, wie z. B. Klima, Landschaftsgeschichte, ökonomische Nutzung und ackerbauliche Wirtschaftsweisen (ENGEL, 2013; GUNREBEN& BOESS, 2015). Zu den ökologischen Funktionen gehören u. a. Lebensraumfunktion, Funktionen des Bodens im Wasser- und Stoffhaushalt sowie als Regulierungsmedium (SPANISCH-BERGER&MITTERBÖCK, 2015). Neben natürlichen Bodenfunktionen kann ein Boden auch die Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte einnehmen (BBodSchG, §1 & 2; LAZAR et al., 2010). Für die Bewertung von Bodenfunktionen sind rechtliche Vorgaben zum Bodenschutz entscheidend. Das im Jahr 1999 in Kraft getretene Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) zielt auf den Erhalt von Bodenfunktionen, dem Schutz vor Schädigungen und der Wiederherstellung nach Beeinträchtigungen ab (BMJV, 1998; BESTE, 2015). Schutzwürdig sind nach § 2, Abs. 2 & 3 BBodSchG die in Tab. 1 aufgeführten Bodenfunktionen.

**Tabelle 1: Bodenfunktionen nach BBodSchG, Erläuterungen in Anlehnung an BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, o.J.).**

<b>Bodenfunktionen nach BBodSchG § 2, Abs. 1</b>	<b>Erläuterung</b>
Funktionen des Bodens als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Pflanzen, Tiere, und Bodenorganismen	<i>Lebensraumfunktion</i> Standort für Pflanzen, Beitrag zur Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes
Funktion von Böden als Teil des Naturhaushalts mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen	<i>Kreislauffunktion</i> Ein- und Austräge sowie Stoffumwandlung (z. B. Kohlenstoff-, Phosphor- und Stickstoff-Kreislauf)
Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungsfunktion von Böden als Abbau-, Ausgleichs-, Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen, insbesondere auch zum Schutz des Grundwasser	<i>Ökologische Regelungsfunktion</i> Chemische und physikalische Filterfunktion, Puffer- und Speichervermögen (z. B. Beitrag zum Klimaschutz durch die Speicherung von Kohlenstoff)
Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte	<i>Archivfunktion</i> Informationen über die kultur- und naturgeschichtliche Entwicklung einer Region (Einfluss durch Klima bzw. Mensch)

Die rechtlichen Vorgaben werden länderspezifisch in der Landschaftsplanung umgesetzt. Für den sachgerechten Umgang mit bodenschutz- und bodennutzungsbezogenen Fragestellungen bedarf es aussagekräftiger punkt- und flächenbezogener Informationen über die Eigenschaften von Böden (BAURIEGEL, 2005). Die Bodenfunktionen *Archivfunktion (kulturgeschichtlich)* und *Ökologische Regelungsfunktion*, bezugnehmend auf die Klimabedeutung von Wölbäckerböden als Kohlenstoffspeicher, werden in dieser Arbeit untersucht.

### 2.1.1 Archivfunktion

Die gegenwärtige Ausprägung von Bodeneigenschaften und -merkmalen unterliegt dem Prozess der Pedogenese, die meist schon seit Jahrhunderten bzw. Jahrtausenden stattfindet (MIEHLICH, 2009). Diese wird wiederum durch Faktoren wie Ausgangsgestein, Klima, Flora und Fauna, Zeit und nicht zuletzt durch den Menschen bestimmt. Aus dem Profil eines Bodens können daher Rückschlüsse auf, durch Umweltveränderungen beeinflusste, Prozesse gezogen werden (KLUIVING et al., 2013). So liefert jeder Boden Hinweise auf die natur- und kulturräumliche Entwicklung einer Region und dient als geschichtliches Archiv. WALDMANN (2011) beschreibt die Archivfunktion eines Bodens wie folgt: „[...] Ausprägungen, Aufbau, Zustände und Inhalte von Böden [...], die selten vorkommen, eine Besonderheit enthalten sowie von herausragendem wissenschaftlichem, landschaftsgeschichtlichem oder kulturellem Interesse sind“. Archivböden lassen sich untergliedern in Archive der Natur- bzw. Kulturgeschichte (Tab. 2).

**Tabelle 2: Bodenarchive der Natur- und Kulturgeschichte (Übersicht) nach BOESS et al., 2002; LAZAR et al., 2010; WALDMANN, 2011; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2016.**

Archivfunktion	Bedeutung	Fallbeispiele
<u>Archive der Naturgeschichte</u>	für die Pedogenese	alle Paläoböden (z. B. Terra fusca)
Böden, bei denen rezente physikalische, chemische, biologische Eigenschaften typische Merkmale/Besonderheiten/Eigenarten einer natürlichen Pedogenese dokumentieren, ggf. in Kombination mit Seltenheit	aufgrund der regionalen oder überregionalen Seltenheit einer Bodenform  als Zeugnis der Erd- und Landschaftsgeschichte, für Geologie, Mineralogie oder Paläontologie	Fossilienfunde  reliktische boden-genetische Prozesse  Böden aus regional seltenen Substraten
<u>Archive der Kulturgeschichte</u>		
Böden, bei denen rezente physikalische, chemische, biologische Eigenschaften typische Merkmale/Besonderheiten/Eigenarten auf eine anthropogen geprägte, kulturgeschichtlich bedeutsame Pedogenese hinweisen	für die Siedlungs- und Landnutzungsgeschichte	Plaggenesche, Hortisole, kultivierte Moore (Fehnkultur), Heidepodsole, Wurten, <b>Wölbäcker</b>

Von kulturhistorischer Bedeutung ist ein Boden, wenn die Entstehung auf historische acker- bzw. kulturbauliche Maßnahmen zurückzuführen ist (BOESS et al., 2002). Anthropogene Bodenhorizonte stellen einen stratigraphischen Marker für den Einfluss menschlichen Handelns dar und dienen als guter Indikator für die daraus resultierenden Umweltauswirkungen (CERTINI&SCALENGHE, 2011). Wölbäcker sind ein solches Zeugnis anthropogener Bodenentwicklung (MLUV, REFERAT BODEN UND UMWELTGEOLOGIE, 2011).

Um einen Archivboden als schutzwürdig auszuweisen, müssen besondere Eigenschaften, Ausprägungen erfasst und der Informationswert beurteilt werden. In Niedersachsen

wird die nach Bodenschutzrecht schützenswerte Archivfunktion des Bodens durch die Kriterien natur- bzw. kulturgeschichtliche Bedeutung und Seltenheit bewertet (BOESS et al., 2002). Wertgebend für kulturgeschichtliche Archive sind nach OECHTERING et al. (2013): „Pedogene Archive der Siedlungs- und Landnutzungsgeschichte (Kultusole) und historische Nutzungsformen sowie Relikte der Siedlungs- und Landnutzungsgeschichte (z. B. Bodendenkmäler oder archäologische Fundstellen)“. Zur weiteren Bewertung werden sekundäre Auswahlkriterien herangezogen. Dazu zählen: Naturbelassenheit des Bodenprofilaufbaus bzw. der Erhaltungszustand dessen, regionale oder überregionale Seltenheit, wissenschaftliche Dokumentation, Datierbarkeit und Repräsentativität (OECHTERING et al., 2013).

Die Archivfunktion eines Bodens stellt eine besondere Herausforderung für die rechtlichen Rahmenbedingungen des Bodenschutzes dar, da ihr Verlust nicht kompensiert werden kann und vorsorgender Bodenschutz daher besonders wichtig ist (LAZAR et al., 2010). Maßnahmen des Bodenschutzes werden in Niedersachsen gesetzlich unter anderem durch das Bundesbodenschutzgesetz, das Bundesnaturschutzgesetz, das Niedersächsische Bodenschutzgesetz sowie das Niedersächsische Denkmalrecht erfasst. Im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO-Vorhaben, B.109) wurde außerdem ein bundesweiter Leitfaden zur Bewertung von Archivböden herausgegeben, der Handlungsempfehlungen zum Schutz von Archivböden enthält (LAZAR et al., 2010).

Gemäß § 1 **Bundes-Bodenschutzgesetz** (BodSchG) soll „[...] eine Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden gewährleistet [...] und Beeinträchtigungen der [...] natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte [...]“ vermieden werden (BMJV, 1998). Dabei nimmt die Funktion des Bodens als Relikt der Natur- bzw. Kulturgeschichte eine Sonderstellung ein (§ 2 Abs. 2 Nr. 1 und 2 BBodSchG), die allerdings bisher unzureichend beschrieben wird (LAZAR et al., 2010; MIEHLICH, 2016). Um nachhaltigen Bodenschutz in Niedersachsen umzusetzen, werden die Daten von Bodendauerbeobachtungsflächen, Versuchsflächen und die Bodenprobendatenbank durch das Niedersächsische Bodeninformationssystem (NIBIS) bereitgestellt. Die Datengrundlage dient nach **Niedersächsischem Bodenschutzgesetz** (NBodSchG) u. a. dazu, zuständigen Personen (§ 10) über schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten Auskunft zu erteilen (NIEDERSÄCHSISCHES VORSCHRIFTENINFORMATIONSSYSTEM, 1999).

Das Denkmalrecht unterliegt der Gesetzgebungskompetenz der Länder, sodass sich länderspezifische Unterschiede in Bezug auf die gesetzliche Anwendbarkeit von Bodenschutzmaßnahmen für Archivböden ergeben. Aufgrund von Überschneidungen der Definitionen und Zweckbestimmungen der Rechtsbereiche Boden- und Denkmalschutz muss im Einzelfall eine Zuordnung vorgenommen werden. In § 2 Abs. 1 **Niedersächsisches Denkmalschutzgesetz** (NDSchG) wird der Gesetzeszweck wie folgt beschrieben: „[...] Schutz, die Pflege und die wissenschaftliche Erforschung der Kulturdenkmäler [...]“. Darunter fallen nach § 3 Abs. 4 (NDSchG) auch Bodendenkmäler, die entweder anthropogen erschaffene Sachen enthalten oder „[...] Aufschluss über menschliches Leben in vergangener Zeit geben [...]“ (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, 1978). Ziele des Naturschutz-

zes beinhalten ebenfalls den Bezug zu Archivböden. Gesetzlich betrachtet gehören diese zum Naturhaushalt, welcher nach § 7 **Bundesnaturschutz-Gesetz (BNatSchG)** „Boden, Wasser, Luft, Klima, Tiere und Pflanzen sowie das Wirkungsgefüge zwischen ihnen einschließt“. Der Erhalt der „[...] Leistungs- und Funktionsfähigkeit einschließlich der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit des Naturhaushaltes [...]“ gehört zu den grundsätzlichen Zielen des BNatSchG (§ 1 Abs. 2) (BMJV, 2009).

### 2.1.2 Lebensraumfunktion

Die Funktion des Bodens als Lebensraum dient als Grundlage für den Erhalt einer natürlichen Vielfalt von Flora und Fauna und darüber hinaus für den Anbau von Kulturpflanzen (FIEDLER, 2001). Der Boden selbst bildet einen Lebensraum für das Edaphon und sichert die Versorgung mit Wasser und Nährstoffen (ROTTLÄNDER et al., 1997). Nach heutigen Schätzungen leben über ein Viertel aller weltweit lebenden Arten im Boden (BESTE, 2015). Die nach BBodSchG § 2 (2) 1. a) beschriebene natürliche Funktion ist als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen schützenswert (BMJV, 1998). Ein natürlicher Boden bildet die Basis für entstehende Biozönosen und verliert bei Überprägung standorttypische Eigenschaften, die langfristig Lebensgemeinschaften verändern können. Aufgrund dessen können funktionale Leistungen, z. B. Zersetzungsgeschwindigkeit und Auflockerung durch das Edaphon, variieren. Bei der Bewertung von Böden als Lebensraum wird angenommen, dass standorttypische Böden die höchste ökologische Wertigkeit besitzen (GRANHÖFT et al., 1999). Gegenwärtig bestehen im Sinne des Naturschutzes noch rechtliche Unklarheiten über die Beeinträchtigung der Lebensraumfunktion durch kulturgeschichtliche Eingriffe (z. B. Plaggenesche, Wölbäcker) (KIENE, 2005 aus LAZAR et al., 2010).

Die natürliche Fruchtbarkeit eines Bodens, die Fähigkeit eines Bodens zur Biomasseproduktion, ist die Grundlage für die Nahrungsmittelproduktion (BLUME et al., 2010) und ein wesentlicher Aspekt bei der Charakterisierung seiner Lebensraumfunktion (GUNREBEN&BOESS, 2015). Bestimmt wird diese durch chemische, physikalische und biologische Bodeneigenschaften (FIEDLER, 2001) und den zahlreichen Umsetzungsprozessen durch Mikrofauna, die zur Freisetzung von Nährstoffen und somit zur Pflanzenernährung beitragen (BULAWA, 2004). Die Fruchtbarkeit eines Standortes zu erhalten, ist für das gesamte Ökosystem von Bedeutung: Ein fruchtbarer Boden puffert Säuren ab, kann Schadstoffe abbauen und ist ein effizienter Speicher für Nährstoffe und Kohlenstoff (MÄDER, 2015). Der Humusgehalt wird als bedeutender Faktor der Bodenfruchtbarkeit bewertet. Bei der Analyse spielt neben der Humusqualität die Nährstoffverfügbarkeit, das C/N-Verhältnis sowie die Umsetzungsaktivität eine Rolle (FIBL, BIOLAND E.V. et al., 2012). Infolge des starken Bevölkerungswachstums in den letzten Jahrhunderten kam es auf vielen Flächen zu Meliorationsmaßnahmen, um die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern (AZIZI et al., 2010).

### 2.1.3 Klimafunktion

Seit Beginn der industriellen Revolution Mitte des 18. Jh. findet ein drastischer Anstieg klimarelevanter Gase in der Atmosphäre statt, der sich während des 20. Jh. weiter fortgesetzt hat. Während im Jahr 1750 die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe bei ca. 3 Mt pro Jahr lagen, waren es 1990 bereits 6096 Mt (LAL, 2004). Die internationale Klimapolitik hat sich eine nachhaltige Landnutzung und den Erhalt von Ökosystemen zum Ziel gesetzt. Dazu gehört u. a. der Schutz von Böden als Treibhausgas-senken in Form von Kohlenstoffspeichern (BRONICK&LAL, 2004; WEIGEL&DÄMMGEN, 2005; HOJESKY, 2015). Böden stellen den größten terrestrischen Speicher für Kohlenstoff in Form von Humus dar (UMWELTBUNDESAMT, 2008).

Für die Identifizierung von C-Quellen und zur Minderung weiterer Emissionen müssen Bodennutzung und -management besondere Beachtung finden (LAL, 2004). Globalen Schätzungen zufolge werden im ersten Meter eines terrestrischen Bodens etwa 1500 Pg organischer Kohlenstoff gespeichert. Der Anteil des globalen Kohlenstoffvorrats beträgt innerhalb der ersten 30 cm zwischen 680 und 740 Pg (BLUME et al., 2010). In Niedersachsen liegt der gesamte mittlere Kohlenstoffvorrat für landwirtschaftliche Böden in der Tiefenstufe 0 bis 30 cm bei 245 Mt (MÖLLER&KENNEPOHL, 2014). Die Tiefenverteilung von Kohlenstoff steht in Abhängigkeit der Nutzung, weshalb die Unterscheidung in Tiefenabschnitte nach WIESMEIER et al. (2012) geeignet sei, um das Potential der C-Sequestrierung genauer bestimmen zu können. Das Potential land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen als C-Speicher ist noch nicht umfassend bekannt (WEIGEL&DÄMMGEN, 2005). Global betrachtet wird das Potential der Kohlenstoffspeicherung von Dauergrünland auf 1,87 Pg C a<sup>-1</sup> (CONANT et al., 2001 aus LAL, 2004) und das von Ackerland auf 0,43-0,57 Pg C a<sup>-1</sup> geschätzt, durch den Anbau von Energiepflanzen zur Produktion von Biokraftstoffen zusätzlich 0,3-0,4 Pg C a<sup>-1</sup> (LAL&BRUCE, 1999).

Atmosphärisches Kohlenstoffdioxid kann im Boden gebunden, aber bei Humusabbau auch freigesetzt werden (ALCÁNTARA et al., 2016). Aufgrund der aktuellen Fragestellung, in welchem Ausmaß Böden als C-Quelle oder C-Senke reagieren, ist eine Dokumentation des Humusgehaltes von Böden für den Klimaschutz daher unabdingbar (UMWELTBUNDESAMT, 2008). Das UMWELTBUNDESAMT (2008) nennt drei wesentliche Steuergrößen des Humusgehaltes: (i) Biomasseeintrag, (ii) Zersetzungsrate der organischen Masse, (iii) bereits vorhandene organische Bodensubstanz (OBS). Veränderungen der OBS betreffen nach KÖRSCHENS et al. (1998) nahezu ausnahmslos den umsetzbaren Teil des Kohlenstoffs. Der inerte Teil ist eng mit dem Tongehalt korreliert, umsatzträge und wird daher gesondert betrachtet. Um zukünftige Wege von Kohlenstoffsinken optimieren zu können, muss die Beziehung zwischen Akkumulation, Mineralisation und mikrobieller Aktivität quantifiziert werden (ROGASIK et al., 2008). Die Umsetzung von Bodenkohlenstoff hängt von diversen Faktoren ab: (i) Qualität und Quantität des Kohlenstoffinputs, (ii) klimatische Bedingungen (besonders Temperatur und Feuchte) (HOJESKY, 2015), (iii) Bodentextur (BLUME et al., 2010). Zur Einschätzung der Senkenkapazität eines Bodens, bedarf es Informationen über Ein- und Austräge (C-Bilanz). Der Efflux von atmosphärischem Kohlenstoff entspricht bei

vegetationslosen Böden dem Verlust an OBS, bei bepflanzten Böden hingegen bestehen die Verluste aus unterschiedlichen Quellen, die eine Abschätzung erschweren (KUZYAKOV, 2005). Neben dem mikrobiellen Abbau der OBS nennt KUZYAKOV (2005) in diesem Zusammenhang die Wurzelatmung sowie den mikrobiellen Abbau von Rhizodepositen und abgestorbenen Pflanzenresten.

Nach Überdeckung bleiben Huminstoffe weitestgehend gegenüber weiterem Abbau stabil. Aus diesem Grund lassen sich noch heute ehemalige humose Oberböden als solche erkennen (BÜHL et al., 1998). HÖPER (2002) konnte an Eschböden zeigen, dass die organische Substanz im Unterboden physikalisch durch reduzierte Sauerstoffzufuhr gegen schnellen Abbau geschützt ist. Diese sogenannte Humusvergrabung wurde durch AL-CÁNTARA et al. (2016) auf fünf sandigen und lehmigen Standorten (Pflugtiefe: 50-90 cm, Nutzung vor 35-50 Jahren) untersucht. Im vergrabenen Oberboden konnte ein um durchschnittlich 15 % höherer Anteil der organischen Bodensubstanz als im rezenten Oberboden nachgewiesen werden. Bei den vergrabenen Oberböden der sandigen Flächen wurde eine um  $63 \pm 6$  % geringere Mineralisierungsrate als in den Oberböden der Referenzflächen festgestellt. Die mechanische Umsetzung von Oberbodenmaterial im Unterboden kann demnach zu höheren OBS-Beständen von durchschnittlich  $42 \text{ Mg ha}^{-1}$  führen und zu einer erhöhten Speicherung von Kohlenstoff im Boden beitragen.

Zur Beurteilung des Humusgehaltes gegenwärtig ackerbaulich genutzter Böden kann eine Humusbilanzierung herangezogen werden, die als Instrument zur indirekten Einschätzung des Humushaushaltes landwirtschaftlicher Flächen genutzt wird (HÜLSBERGEN et al., 2005). Für die Bilanzierung von Humusgehalten liegen verschiedene Ansätze und Modelle vor (s. KOLBE&PRUTZER, 2004). In der Regel liegt der Anteil organischer Substanz im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Flächen zwischen den Humusklassen h2-h3, unter forstlicher Nutzung zwischen h3 und h4 und unter Grünland im Bereich h4 bis h5 (Tab. 3; DÜWEL et al., 2007).

**Tabelle 3: Stufen der Humusgehalte (OBS) von Böden, 1 = Gehalte unter forstlicher Nutzung (Ad-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005).**

Klasse	Bezeichnung	Humusgehalt [%]
h1	sehr schwach humos	< 1
h2	schwach humos	1 bis < 2
h3	mittel humos	2 bis < 4 (5) <sup>1</sup>
h4	stark humos	4 bis < 8 (10) <sup>1</sup>
h5	sehr stark humos	8 bis < 15 (15) <sup>1</sup>

Der für einen Standort charakteristische Humusgehalt wird durch die Faktoren Bodenart, Klima, Relief und Vegetation beeinflusst und stellt sich im Boden bei gleich bleibenden Umweltbedingungen über ein Gleichgewicht zwischen Auf- und Abbau der organischen Substanz ein (UMWELTBUNDESAMT, 2008). Nach ROGASIK et al. (2005) ergibt sich ein standorttypischer Humusgehalt erst ab einem Zeitraum von mehr als 30 Jahren. In Bezug auf Wölbäcker ist diese Annahme jedoch nur bedingt übertragbar, da die Beete ständigen Veränderungen unterlagen. Für die Oberböden lag vermutlich eine Anpassung an die

Umweltbedingungen vor. Durch den Auftrag von Bodenmaterial erfolgte in tieferen Abschnitten jedoch eine Reduzierung des Humusabbaus, da der Gasaustausch minimiert wurde (vgl. HÖPER, 2002). Aus diesem Grund ist bei Wölbäckerböden eine Überschreitung der standorttypischen Humusgehalte im Unterboden zu erwarten. Unter Berücksichtigung weiterer Einflüsse, wie z. B. Erosion, sind diese nur schwer abzuschätzen.

### 2.2 Historische Rahmenbedingungen

Mitteleuropa wurde während des Mittelalters durch starke Klimaschwankungen geprägt, die sich in die mittelalterliche Warmphase und Kaltphase einteilen lassen. Während des hohen Mittelalters (ca. 11. bis 13. Jh.) herrschten überdurchschnittlich hohe Temperaturen. Das *Mittelalterliche Optimum* ermöglichte die Erschließung neuer landwirtschaftlicher Flächen in Nordeuropa (Abb. 1; BORK, 2006). Im späten Mittelalter setzte eine kühlere Phase mit hohen Niederschlägen ein, die auch als *Kleine Eiszeit* bezeichnet wird und weiträumig zu Ertragsausfällen führte (BORK, 2006). Zu dieser vorindustriellen Zeit wurde die Agrargesellschaft durch eine hohe Sterblichkeit charakterisiert. Die Lebenserwartung lag zwischen 20 und 40 Jahren und ein Großteil der Bevölkerung fiel Kriegen, Seuchen und Hungersnöten zum Opfer. Die Pest erreichte Europa im Jahr 1345 und forderte im 14. Jh. Millionen Tote (HERDEN, 2007).

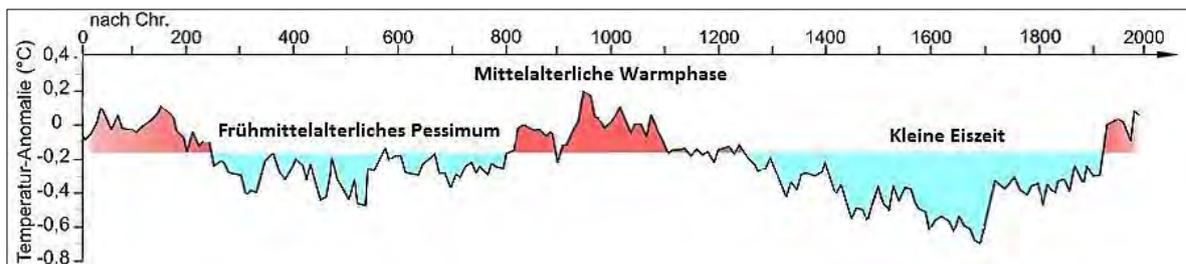


Abbildung 1: Temperaturanomalien (Abweichungen von den Durchschnittstemperaturen), verändert nach LUNGVIST, 2010 aus KOLLER, 2013.

#### 2.2.1 Von der Blüte des Mittelalters bis zur spätmittelalterlichen Agrarkrise

Während des 12. Jh. und 13. Jh. gab es einen wirtschaftlichen Aufschwung in Europa, der durch einen Anstieg der Bevölkerungszahl, Landesausbau und Städtegründungen geprägt war. Die enorme Ausdehnung der Kulturlächen, die Verbesserung der Arbeitsgeräte sowie die Intensivierung des Ackerbaus führten zu einer Expansion der Landwirtschaft (RÖSENER, 1985). Zu dieser Zeit wurden drei Viertel des Sozialproduktes über diesen Sektor erbracht (DOLLE, 1994). Bedeutendste Handelsorte waren zur Hochblüte des Handels Braunschweig, Lüneburg und Bremen (HAUPTMEYER, 2004). Bis zur Agrarkrise wurde der Umfang der Landwirtschaft vorrangig durch Adel, Klerus und vor allem Klöster bestimmt. Im Mittelalter entstanden viele, durch den Adel angelegte, Klöster und machten viele Flächen in dünn besiedelten Gebieten erstmals urbar (NAGEL, 2011). Erste Wölbäcker-vorkommen in Deutschland sind vermutlich auf das 14. Jh. zu datieren. Nur wenige sichere Quellen verweisen auf das 13. Jh. (BARTUSSEK, 1982). LEVICK (2011) nennt für den

Wölbackerbau in England den Zeitraum zwischen den Jahren 800-1200, in manchen Gebieten wurde diese Bewirtschaftungsform bis in das frühe 19. Jh. hinein praktiziert.

Bis zum Ende der Pestpandemie (1350) ging die Bevölkerung Mitteleuropas durch extreme Witterungsereignisse, wie dem tausendjährigen Niederschlagereignis, der Magdalenenflut im Jahr 1342 sowie den Seuchen und Hungersnöten um etwa ein Drittel zurück (BORK, 2006). Die Abnahme des Lebensmittelangebots sank langsamer als die Bevölkerungszahlen, sodass es zu einem Überangebot kam. Komplexe agrarstrukturelle, wirtschaftliche, gesellschaftliche und natürliche Prozesse führten schließlich von der ersten Hälfte des 14. Jh. bis 1450 zur *Spätmittelalterlichen Agrarkrise* (DOLLE, 1995). Der Gütertausch und die vorhandenen Ernährungsmöglichkeiten waren nicht länger ausreichend (HAUPTMEYER, 2004). Infolge der Naturkatastrophen, Hungersnöte und Krankheiten sank die Bevölkerungszahl, was dazu führte, dass Siedlungen aufgegeben wurden, Fluren wüst fielen und die Nachfrage nach Getreide drastisch sank (DOLLE, 1995). Die sogenannte *Wüstungsphase* des hohen Mittelalters begann. Bis 1450 stellten Landwirte die Bewirtschaftung von Grenzertragsflächen ein (HAUPTMEYER, 2004). Mit fortschreitendem Rückgang der Nutzungsintensivität land- und forstwirtschaftlicher Flächen dehnten sich die Wälder weiter aus. Damit einhergehend folgte eine sukzessive Verbuschung der Agrarflächen (BORK, 2006). Im Weiteren beschreiben BORK et al. (1998) eine Steigerung der Waldflächen von 15 % im 14. Jh. auf 45 % bis zum Ende des Mittelalters (15. Jh.). ABEL (1976) führt das Verschwinden jeder vierten Siedlung bis zum 15. Jh. an. Mit dem Wüst fallen von Siedlungen, wurden auch Wölbackerfluren zunehmend aufgegeben. Nahe ehemaliger Wüstungen sind heute vielfach Wölbäcker unter Wald zu finden (WIEGAND, 2005; POSCHOLD, 2014; ARCHÄOLOGISCHE GESELLSCHAFT IN SACHSEN-ANHALT E.V., 2015)

### 2.2.2 Landwirtschaft zur Zeit des Mittelalters

Bei den mittelalterlichen Formen der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung sind für Niedersachsen im Wesentlichen drei Bewirtschaftungsformen zu unterscheiden: (i) Gewölbte Ackerbeete im Rahmen der Dreifelderwirtschaft, (ii) die Heidebauernwirtschaft auf den sandigen Böden Nordwestdeutschlands, aus denen Eschböden hervorgingen, (iii) Marschhufenbeete, im Bereich der Küstengebiete und der Elbe. Auch die Ressourcen des Waldes wurden bereits seit dem späten Mittelalter in Form von Waldweide (Hudewald) und Streu genutzt. Zu dieser Zeit führten Beweidung, Entnahme von Vegetationsresten (Streu) und Umlagerung von humosem Mineralboden zu einer Umverteilung von Nährstoffen, die noch heute nachweisbar ist (MLUV, REFERAT BODEN UND UMWELTGEOLOGIE, 2011).

Die **Dreifelderwirtschaft**, die im Mittelalter dominierende Form des Ackerbaus (KÜSTER, 2010), reichte über das südliche Niedersachsen hinaus und kam im Uelzener Becken und streifenweise im Norddeutschen Tiefland vor (BEHRE, 2008). Der Getreideanbau richtete sich nach den grundherrschaftlichen Abgaben in Form einer Naturalabgabe von Roggen, Gerste und Hafer zu gleichen Anteilen (*tripicis annona*). Hinsichtlich der angebauten Kulturpflanzen bestanden, je nach naturräumlicher Ausstattung der Regionen, Unterschiede. In den Höhenlagen herrschte bspw. nur eine marginale Getreidewirtschaft, da hier die Viehhaltung eine erheblich größere Bedeutung besaß (BERGMANN, 2009).

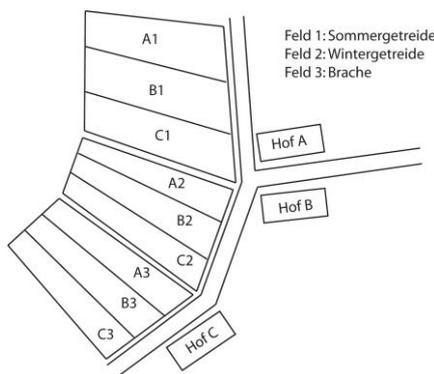


Abbildung 2: Dreifelderwirtschaft (UNIVERSITÄT FRANKFURT, 2012).

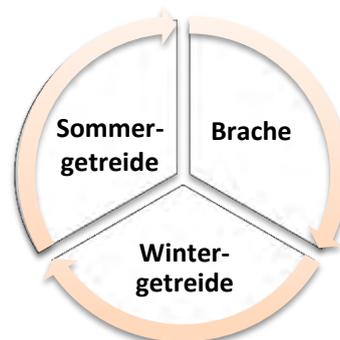


Abbildung 3: Prinzip der Dreifelderwirtschaft zur Zeit des Mittelalters (in Anlehnung an BEHRE, 2008).

Die Ackerflur war in drei Flächen untergliedert, die als *Gewanne* bezeichnet wurden (Abb. 2, 3). Gewinnfluren entstanden im Zug der Dreifelderwirtschaft und wurden im Flurzwang bewirtschaftet. Dies bedeutet, dass alle Gemeindeflächen nur zum gleichen Zeitpunkt bewirtschaftet werden durften. Grund für diese, bis Mitte des 19. Jh. verbreitete, Bewirtschaftungsform war die Intention einer Gleichstellung aller Landwirte und die Vermeidung von Diebstahl der Feldfrüchte, etc. (vgl. BRAKENSIEK, 2002). Langstreifenfluren resultierten aus der verwendeten Pflugtechnik. Für den Einsatz des Beetpfluges waren die länglichen Parzellen von Vorteil, da bis zu acht Ochsen den Pflug mühevoll gezogen haben. Das Wenden mit mehreren Zugtierpaaren war schwierig und zeitintensiv, sodass möglichst wenig gewendet und Leerfahrten vermieden werden sollten (Abb. 4, 5; SPANNHOF, 2016).

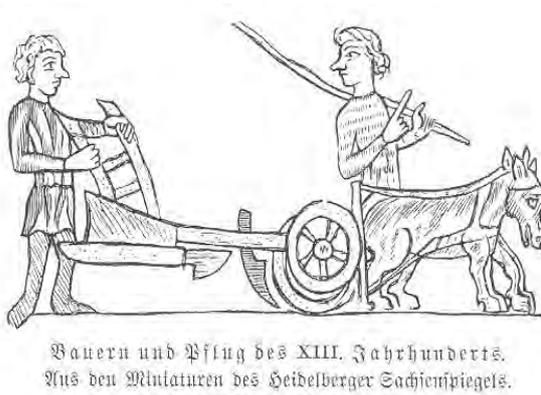


Abbildung 4: Landwirte mit Streichbrettflug aus dem 13. Jahrhundert (Heidelberger Sachsenspiegel aus SPANNHOF, 2016).



Abbildung 5: Modell des Beetpfluges (Foto: E. Gehrt).

In der westlichen Geest dominierte die Einfeldwirtschaft mit dem dorfnahen Esch. Auf diesen Flächen fand ein Dauerackerbau statt, der über Plaggen gedüngt wurde (Abb. 6). Die **Plaggenschwirtschaft** begann im Frühmittelalter und wurde bis zur Einführung des Mineraldüngers im 20. Jh. praktiziert (MÜLLER et al., 2011). Die Einführung dieser Bewirtschaftungsform und der „ewige Roggenanbau“ fanden zeitgleich statt und hingen agrartechnisch zusammen (BECK et al., 1980; RÖSENER, 1985). Die daraus entstandenen Böden sind vorwiegend im nordwestdeutschen Raum zu finden (MÜLLER et al., 2011). Am häufigsten sind diese im Ostfriesland, Oldenburg, Osnabrück und im Emsland vertreten. Die entstandene Wirtschaftsweise ging aus den geringen Erträgen auf den nährstoffarmen Böden der Altmoränengebiete hervor. Die Soden der weit verbreiteten Heideflächen und der Grünlandbereiche wurden mithilfe einer sogenannten Twicke gestochen und als Einstreu in der Viehhaltung verwendet. Anschließend nutzte man dieses, mit Nährstoffen angereicherte Material, zur Düngung auf den ertragsarmen Böden, die ackerbaulich genutzt wurden. Auf ehemaligen Bodenoberflächen entstanden auf diese Weise mächtige Auftragschichten (MÜLLER et al., 2011), die bodenkundlich als Eschhorizont (E) bezeichnet werden (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005).

Begrenzt wurden die Äcker, meist zum Schutz gegen Wild oder Weidevieh, durch Wallhecken (RÖSENER, 1985). Typische Flurformen der Esche waren bis 700 m lang und durchschnittlich ca. 20 m breite Parzellen. Ihre Bewirtschaftung erfolgte in Gewannen mit Langstreifen. Durch den regelmäßigen Auftrag von organischem und mineralischem Material entstand ein Auftrag, der am Rand bis zu 1 m hohe Absätze, sogenannte Eschkanten, erzeugte (GEHRT, 2012a). Abseits der parzellierten Flur lagen die landwirtschaftlichen Nutzflächen der Gemeinde. Auf diesen als Allmende genutzten Flächen wurde abgeplaggt, um die Ackerflächen zu düngen (Abb. 7). Die Nutzung der Allmende unterlag strengen Regelungen. Die Anzahl der Landwirte und des Viehs waren festgelegt (SEEDORF&MEYER, 1996).



Abbildung 6: Mittelalterlicher Plaggenransport (GEHRT, 2012).

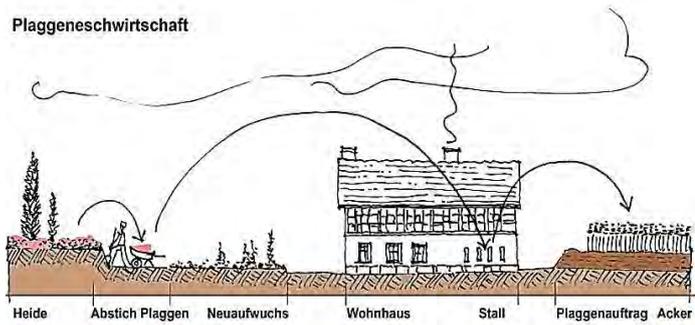


Abbildung 7: Plaggenwirtschaft (THIERER, 2008 aus MÜLLER et al. 2011).

Im Bereich der Küstengebiete wurden ab ca. 1100 n. Chr. **Marschhufenbeete** mit Gröppen etabliert. Verbreitet sind die Marschhufenbeete auch entlang der Elbe. Es handelt sich dabei um 12 bis 20 m breite Beete mit einer Höhe von ca. 2 m. Über die Gröppen wurden die Flächen entwässert (Abb. 8; GEHRT et al., 2014). Das zunächst nicht beackerbare Land wurde durch den tiefen Grabenaushub und den damit hoch aufgewölbten Ackerbeeten, den Marschhufenfluren, getreidefähig (SEEDORF&MEYER, 1996). Entlang der Deiche, hinter den Gebäuden der landwirtschaftlichen Betriebe, liegen die Ackerbeete, die ehemals mit vier bis sechs Pferden gepflügt wurden (KÜSTER, 2007).

Als *Hufe* werden eine Hofstelle, das dazu gehörige Eigentums- und Nutzungsrecht der Allmende und die bewirtschaftete Fläche bezeichnet, die einer Familie zustand. Der Flächeninhaber verpflichtete sich zu vorgebenden Abgaben und Diensten (vgl. RÖSENER, 1985). Bodentypologisch herrschen im Beet heute Kleimarschen und in den Gröppen sulfatsaure Organomarschen vor, die unter ackerbaulicher Nutzung in der Regel verfüllt als Kolluvisol vorliegen (GEHRT, 2012a). Die in den Niederlanden entstandene Bewirtschaftungsform wurde bis zur Mitte des 13. Jh. aufrechterhalten. Ehemalige Strukturen sind zum Teil noch erhalten, in manchen Regionen jedoch durch die landwirtschaftliche Nutzung überformt (KLEEFELD et al., 2007).

Diese Sonderform der Ackerbeete ist von Wölbackerflächen abzugrenzen und wird in dieser Arbeit nicht näher bearbeitet.



Abbildung 8: Links: Marschhufenbeet mit Gröppe, rechts: Kalkmarsch unter landwirtschaftlicher Nutzung (GEHRT et al., 2014).

### 2.2.3 Mittelalterliche Flurgenese

Primäre Siedlungs- und Flurformen gehören zu den zentralen Fragen der frühen Siedlungsgeographie. Besonders die Phase der Kulturlandschaftsentwicklung, die sich nachhaltig auf das gegenwärtige Landschaftsbild ausgewirkt hat, war und ist noch immer von besonderem Interesse. Im Vordergrund steht hierbei die flächenhafte Erfassung mittelalterlicher Landschaftsrelikte und regionaler Studien (vgl. JÄGER, 1965; DENECKE, 2005). Generell kann von der Form einer Altackerflur auf die damals verwendete Pflugtechnik geschlossen werden. Die Zusammenhänge werden im Folgenden anhand mittelalterlicher Flurformen kurz erläutert.

Eine parzellierte landwirtschaftliche Nutzfläche wird Flur genannt und kann, bezugnehmend auf die Grundrissgestaltung durch Form, Größe und Anordnung, in unterschiedlichen Flurformen vorliegen. Generell wird zwischen reinen Flurformen (ein Parzellentyp vorherrschend) und Mischflurformen unterschieden. Eine Parzelle ist die kleinste Besitzeinheit, die im Grundbuch einer Gemeinde eingetragen ist. Im Wesentlichen gibt es zwei verschiedene Grundformen einer Flur: Block- und Streifenfluren (Tab. 4; BACHOFER, 2002). Verschiedene Flurformen sind in Abbildung 9 dargestellt (RINGLEB, 1960).

Tabelle 4: Flurformen (vgl. BACHOFER, 2002).

Flurform	Parzellenverhältnis (Breite : Länge)
Blockflur	1 : 1 bis 1 : 5
Streifenflur	Breitstreifen 1 : 10; Langstreifen 1 : 20

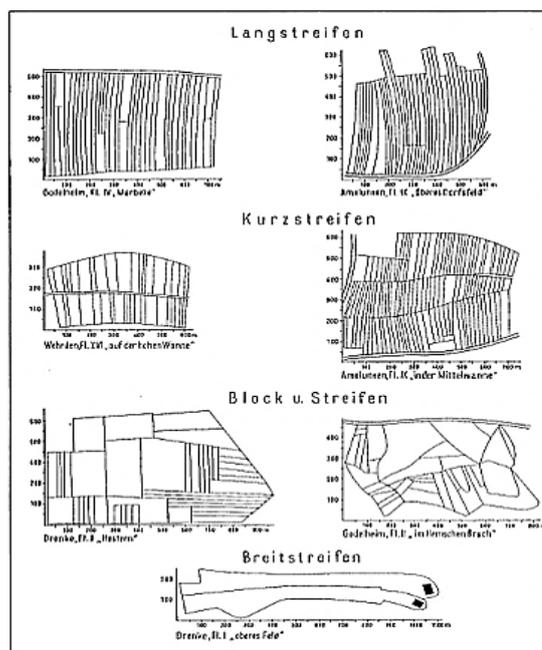


Abbildung 9: Verschiedene Flurformen von 1830 (RINGLEB, 1960).

Drei verschiedene Gebiete und die jeweilige Flurformen sind als Beispiele der niedersächsischen Flurformen um 1800 in Kartenausschnitten im Folgenden abgebildet. Bei Abb. 10 handelt es sich um eine reine Flurform, bei Abb. 11 und Abb. 12 um Mischflurformen.

## 2 Aktueller Kenntnisstand zu Wölbäckern



Abbildung 10: Kartenausschnitt, Langstreifenflur der Marschhufenbeete in Buxtehude (nahe der Elbe), 1764-1786 (SCHNATH, 1939).

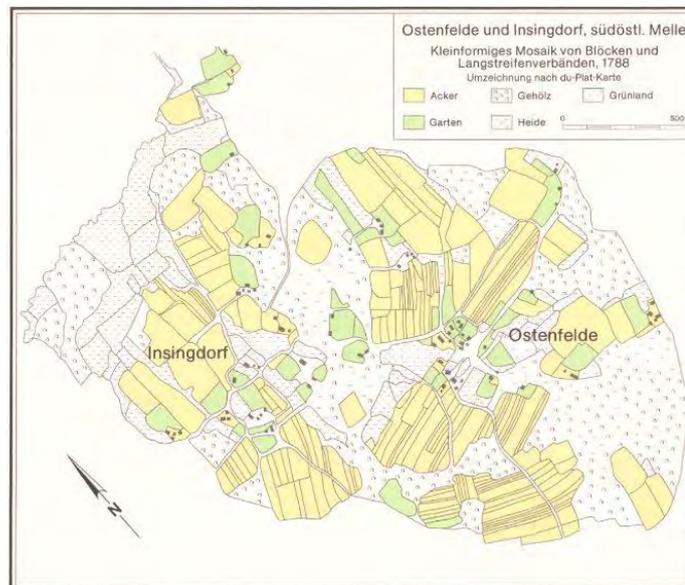


Abbildung 11: Block- und Langstreifenflur in Ostenfelde (südöstlich von Melle), 1788 (PISCHKE, 1989).

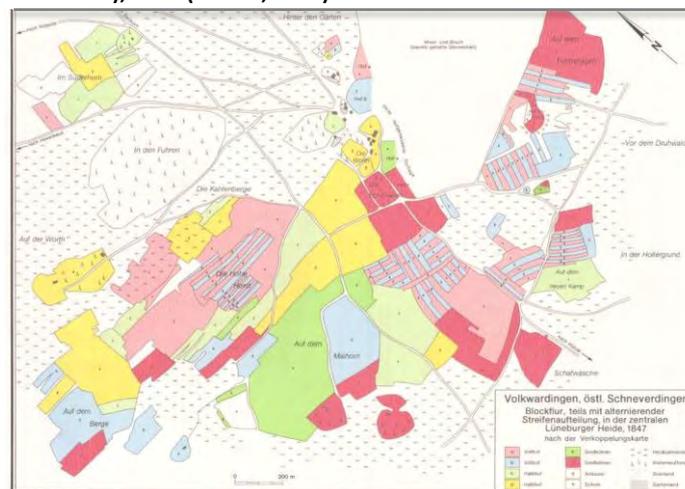


Abbildung 12: Blockflur mit teils vorliegender Streifenflur in der Lüneburger Heide, 1847 (PISCHKE, 1989).

Zur Zeit des Hakenpfluges lagen eher gedrungene Blockfluren vor, während sich mit der Verbreitung des Streichbrettpfluges die jüngeren Langstreifenfluren entwickelten. Die Langstreifenäcker liegen häufig über älteren eisenzeitlichen sogenannten *Celtic Fields* und sind durch Terrassenkanten begrenzt (vgl. KLAMM, 1993). Die im Rahmen der Dreifeldwirtschaft hervorgegangenen Gewanne können entweder besitzrechtlich (primär) oder aus der Parzellierung einer Breitstreifenflur entstanden sein. Trotz der steigenden Bevölkerung im 18. und 19. Jh. erfuhren sie nur wenig Veränderung. Inwieweit die ursprünglichen Parzellengrenzen aus dem 16. Jh. tatsächlich bei der Zersplitterung beibehalten wurden ist unbekannt. Das Gefüge der Agrarlandschaft ist meist nach besitzrechtlichen und betriebstechnischen Aspekten katastermäßig gut erfasst (VOGT, 1953).

Durch die Kartierung ackerbaulicher Relikte, wie z. B. Wölbäcker oder Ackerterrassen, kann die damalige Entstehung gegenwärtiger Wüstungsfluren interpretiert werden (KRENZLIN, 1961). Oft sind noch heute in der Nähe wüst gefallener Orte Stufenraine und Wölbäcker zu finden, die als ehemalige Ackerflurkomplexe unter Wald, Heide oder Grünland zu sehen sind. Während im Bergland die in Langstreifen angelegten Ackerrelikte häufig noch zu erkennen sind, wird das nördliche Niedersachsen durch die Plaggendüngung und die darauf entstandenen mächtigen Eschböden geprägt (LÜNING et al., 1997). Trotz gut erforschter Wüstungsgeographie (vgl. JÄGER, 1968; ABEL, 1976; DENECKE, 1994) ist die Datierung wüster Ackerflurteile häufig unzureichend geklärt. Das Problem besteht vor allem in dem häufig auftretenden Missverhältnis zwischen großer Ackerfläche und der im Verhältnis kleinen Anzahl bekannter, der Fläche zugeordneter Höfe (NIEMEIER, 1967). Darüber hinaus beschreibt JÄGER (1968) eine zum Teil bestehende unterschiedliche Interpretation von Flurformen bei der Flächenkartierung.

Eine Besonderheit bei der Langstreifenflur stellt die S-Form dar. In Großbritannien wurden die dort sehr verbreiteten Wölbäckerstrukturen bereits auf ihre Verbreitung und Eigenschaften näher untersucht (z. B. LIDDIARD, 1999; LEVICK, 2011; BANHAM&FAITH, 2014). EYRE (1955) beschreibt die ausgeprägte S-Form bei dem Großteil der gewölbten Ackerfluren. Während der letzten Dekaden kam die Diskussion einer besonderen Bedeutung dieser Form, z. B. zum Zweck einer verminderten Bodenerosion oder höherer Drainageeigenschaften, auf. Diese Hypothesen konnten aber keinen Anklang finden. BARTUSSEK (1982) fasst in seiner Arbeit zusammen, dass es sich nach früheren Literaturangaben bei der speziellen S-Form um ein Ergebnis der Pflugführung handelt. Das an der rechten Seite starr befestigte Streichbrett wurde immer wieder zur linken Seite gedrängt (MÜLLER-WILLE, 1944 aus BARTUSSEK, 1982). Die meisten von ihm genannten Autoren weisen auf das Problem der Pflugwende hin. Das große Ochsengespann benötigte zum einen ein großes Vorgehende, zum anderen war es schwierig das Gespann von einer zu frühen Wendung abzuhalten. Diese Hypothese wurde auch zuvor durch ORWIN (1938) aufgestellt (aus EYRE, 1955).

## 2 Aktueller Kenntnisstand zu Wölbäckern

In Abbildung 13 wird das Problem durch EYRE (1955) dargestellt: A zeigt das Szenario der acht Ochsen als Gespann vor dem Pflug direkt nach dem Pflügen eines Streifens. B zeigt das hypothetische Szenario mit den Schwierigkeiten des Wendens (direktes Wenden am Ende der Kuppe).

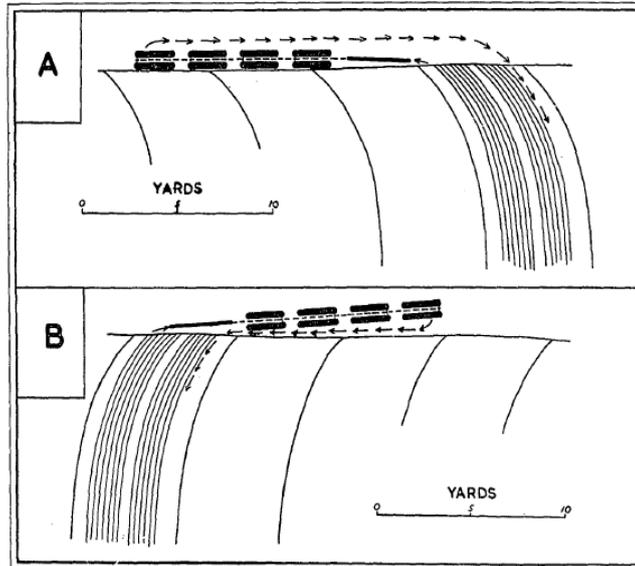


Abbildung 13: Entstehung der S-Form durch die verwendete Pflugtechnik bei Wölbäckern (EYRE, 1955).

Nach KITTLER (1963) sei durch die geschwungene Form an der Feldkante nur noch ein recht schmaler Streifen zum Wenden nötig gewesen (aus BARTUSSEK, 1982). Die langen Gespanne, die vor dem Pflug liefen, erlaubten keine andere Möglichkeit des Wendens. Meistens waren bis zu acht Ochsen vorgespannt, um dem Streichbrettflug zu ziehen. Dieser Theorie zufolge ist von der Form S-förmiger Flurstücke auf ehemaligen Wölbackerbau zu schließen (vgl. BAKER&BUTLIN, 1973; BARTUSSEK, 1982). Besonders gut erkennbar sind solche Formen mithilfe von Luftbildern, wenn die mit Schnee bedeckten Furchen und die bereits abgeschmolzenen Rückenstrukturen der Wölbäcker sich voneinander abheben. Durch die weiß erscheinenden Linien wird die S-Form der Flur deutlich sichtbar (Abb. 14; BRAASCH, 1994).



Abbildung 14: Luftbild von Bezgenriet (BRAASCH, 1994).

### 2.2.4 Ende des Mittelalters und Beginn der Neuzeit

Bis zum Ende des Mittelalters versorgten sich ländliche Siedlungsformen noch selbstständig mit Nahrungsmitteln. Dieses Prinzip wurde allmählich, zugunsten spezialisierter Agrarregionen, aufgegeben (KÜSTER, 2010). Ab Mitte des 15. Jh. und die darauf folgenden ca. 150 Jahre setzte ein erneutes Wachstum der Bevölkerung ein. Zu Beginn der Neuzeit, im Jahr 1570, lebten in Deutschland etwa 14 Millionen Menschen (PFISTER&STOLLBERG-RILINGER, 2003). Anders als zur Zeit des Hochmittelalters standen zu dieser Zeit kaum noch Gebiete zur Verfügung, die für landwirtschaftliche Zwecke hätten urbar gemacht werden können (HAUPTMEYER, 2004). Die kulturlandschaftlichen Veränderungen blieben bei gleichzeitiger Intensivierung der Flächennutzung zunächst gering und Innovationen in der Agrartechnik ermöglichten höhere Erträge (HERDEN, 2007).

Im Laufe der Zeit wurde die Technik der Pflüge weiter verbessert. Die ab dem frühen Mittelalter in Mitteleuropa verbreitete Bewirtschaftungsform des Streichbrettflugers, wurde im Zuge der Industrialisierung zugunsten der Flächenzusammenlegung und Einbebnung aufgegeben (vgl. BRAKENSIEK et al., 2016). Mit fortschreitender Technisierung kam es zu einer schnellen Überprägung der Flächen und zum Verlust zahlreicher Wölbäckerfluren (DEUMLICH, 2012). Mit Beginn der Neuzeit im 15. und 16. Jh. wurden Beetpflüge durch Kehr- und Wendepflüge mit beidseitig umstellbarem Streichbrett und einem symmetrischen Schar ersetzt. Ab dem 19. Jh. wurde der Häufelpflug eingesetzt (WENZEL, 2013). Die Technik des Streichbrettflugers fand allerdings in wenigen Gebieten immer noch Anwendung. So beschreibt ABEL (1976) die Entdeckungen des Agronomen SCHWERZ (1953), der von einer aktiven Hochackerkultur Anfang des 19. Jh. berichtet.

In England setzte bereits Anfang des 18. Jh. die Aufklärungsepoche der Landwirtschaft, die „Industrial Revolution“ ein und brachte eine höhere Effizienz in die landwirtschaftliche Produktion (SCHRÖDER-LEMBKE, 1978). Britische Methoden zur Verbesserung der Wasserregulierung auf dem Feld wurden ab 1842 auch in Deutschland etabliert und führten ab 1880 zum Einsatz von Drainagen im Feld (STEINIGER, 2013). Im Jahr 1850 begann außerdem die Erfindung des Dampfpfluges in England (WENZEL, 2013), der durch eine intensive, tiefe Bodenbearbeitung neue Möglichkeiten in den Ackerbau brachte (SAUER, 2010).

Durch die fortschrittliche Technisierung intensivierte sich die Landwirtschaft und führte zu einer wachsenden Bevölkerungszahl sowie zunehmenden Viehbeständen. Dadurch konnte die Pflege und nachhaltige Nutzung der bis dahin bestehenden Allmendeflächen nicht länger kontrolliert werden. Im Zuge der Agrarreform im 19. Jh. kam es aufgrund dieser Umstände zur Aufteilung der Gemarkung an Privatpersonen und zu einer Zusammenlegung der Felder (SEEDORF&MEYER, 1996). Unter Gemarkung ist die gesamte, zur Siedlung gehörige, Fläche zu verstehen, die nach Gewohnheitsrecht festgelegt und später durch Kataster vermessen wurde (BACHOFER, 2002). Die Separation (Flurbereinigung) sollte die Bewirtschaftung der Flächen durch den arrondierten Grundbesitz vereinfachen (KÜSTERS, 1959). Das Eichsfeld stellt in Niedersachsen hierbei eine Besonderheit dar. Es gehört zu den wenigen Gebieten, in denen die mittelalterliche Realabteilung lange Zeit beibehalten wurde. Der Hof wurde unter allen Erben parzelliert aufgeteilt, was eine Flurzersplitterung

zur Folge hatte. Dabei hatten über ein Drittel der Flächenbesitzer weniger als einen Morgen (1/4 ha) Land. Als Beispiel nennen SEEDORF&MEYER (1996) die Gemeinde Werxhausen, welche im Jahr 1746 in 1560 Parzellen unterteilt war (Abb. 15).



Abbildung 15: Ausschnitt der zersplitterten Gemeinde Werxhausen (verändert nach SEEDORF&MEYER, 1996).

### 2.2.5 Historische Bodenerosion

Landschaftsveränderungen können durch anthropogenes Einwirken maßgeblich beschleunigt werden. Oft führen ackerbauliche Maßnahmen und die damit verbundenen Verletzungen der Boden- bzw. Humusdecke zu nachhaltigen und teils auch irreversiblen Schäden (BEHRE, 2000). Die Bodenerosion durch Wind bzw. Wasser stellt dabei den bedeutendsten landschaftsverändernden Prozess dar, der natürlichen Ursprungs ist, aber durch anthropogenes Handeln gefördert wird (DEUMLICH et al., 2014; KIETZER, 2007).

Niederschlagsereignisse sind der wichtigste Faktor bei Erosionsereignissen durch Wasser. Der erste Prozess, die Zerstörung der Bodenaggregate durch die Energie des Wasser, wird als „Splash Effekt“ bezeichnet (Abb. 16; MORGAN, 2005). Die entstehende Suspension sickert ab, die Festpartikel werden gefiltert und bilden eine dichte Sedimentationsschicht. Dieser Prozess reduziert die Infiltrationskapazität des Bodens. Es kommt zur Verschläm- mung und das Wasser fließt bei Hangneigung oberflächlich ab (Abb. 17).

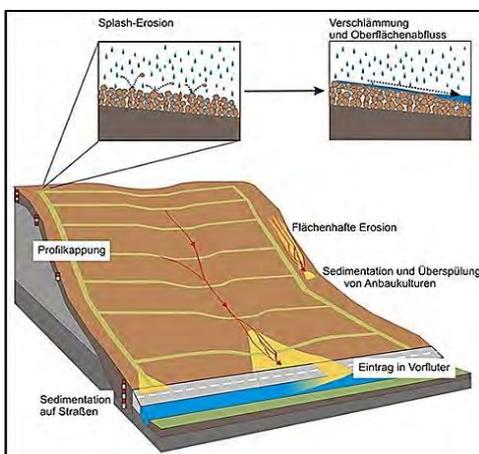


Abbildung 16: Wassererosion AID, 2013 (Grafik: J. Bung aus BGR, o.J.).



Abbildung 17: Flächenhafte Erosion durch Wasser (Foto: N. Rossier).

## 2 Aktueller Kenntnisstand zu Wölbäckern

Dabei werden Bodenpartikel abgetragen und verlagert, sodass auf der betroffenen Fläche die Bodenmächtigkeit abnimmt und das Ertragspotential herabgesetzt wird (vgl. BLUME et al., 2010). Neigung und Form einer Fläche sind entscheidende Faktoren für das Ausmaß von Erosionsereignissen. Bei hoher Hangneigung und –länge tritt ein erhöhter Bodenabtrag auf (DABBERT et al., 1999). Des Weiteren spielt die Korngröße des Bodens eine Rolle. Für den Abtrag von Bodenmaterial wird bei zunehmender Korngröße eine proportional steigende Fließgeschwindigkeit benötigt. So können z. B. die Prozesse Sedimentation und Erosion bei der Bodenart Sand in schneller Folge wechseln. Feines Material kann wiederum auch bei geringen Fließgeschwindigkeiten über weite Distanzen befördert werden (HJULSTRÖM, 1935 aus NOWELL et al., 1981).

Nach BARTUSSEK (1982) betonen die meisten Autoren eine Anpassung der Wölbackerfluren an das Relief. Die Anlage der Wölbäcker erfolgte in der Regel in Fallrichtung. Bei größerer Hangneigung (6-8 Grad Neigung) treten keine Wölbäcker, sondern Stufenraine und Terrassenäcker auf (EWALD, 1969 aus BARTUSSEK, 1982). In den angelegten Wölbäckern fand das Regen- und Schmelzwasser ideale Abflusslinien, was zu starken Erosionsereignissen geführt hat (LINKE, 1979). Das parallele Mikrorelief mittelalterlicher Wölbackerstrukturen und die zeitweilige Vegetationslosigkeit der Flächen begünstigten einen konzentrierten Oberflächenabfluss. Aus diesem Grund sind gegenwärtige lineare Hohlformen ein guter Indikator für ehemalige Furchen zwischen Wölbackerbeeten (DANNEMANN, HERRMANN, 2014).

Ab der ersten Hälfte des 14. Jh., in der Mitte des 18. Jh. und bis in das 19. Jh. hinein, traten zudem extreme Niederschlagsereignisse auf, aus denen intensive erosive Vorgänge, besonders auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, resultierten (BORK, 2006; DOTTERWEICH, 2008). Während des Jahrtausend-Regens im Juli 1342 kam es in Mitteleuropa zu einer verheerenden Bodenerosion und extrem hohen Abflussspitzen. Damit wurde der Höchststand der Bodenerosion der vorangegangenen 10 000 Jahren erreicht (Abb. 18; BORK et al., 1998; BORK&KRANZ, 2008).

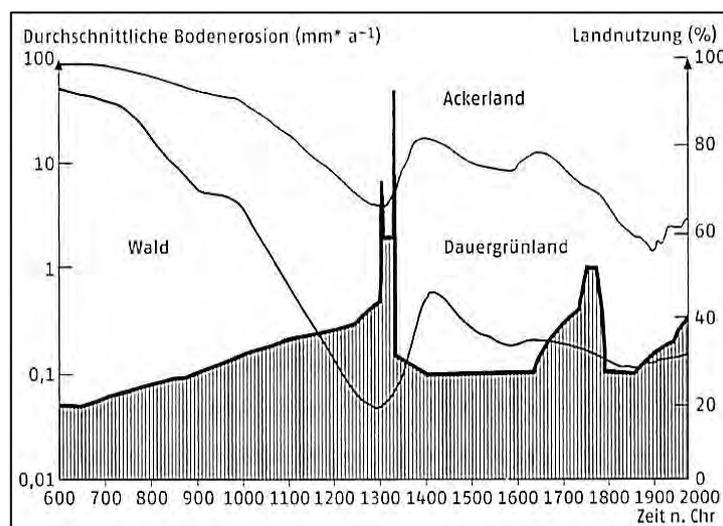


Abbildung 18: Das mittlere Ausmaß der Erosion in Deutschland (ohne Alpenraum) seit dem Frühmittelalter (BATZ et al. 1998 aus BORK 2006).

Stellenweise musste der Ackerbau aufgegeben werden und Wälder eroberten die Standorte zurück. Die Pedogenese setzte sich in den durch Erosion zerschluchteten Strukturen der Wölbäcker weiter fort (BORK&DOTTERWEICH, 2001). Erste Kartendarstellungen von Erosionsschäden in Wölbäckern sind bereits aus dem 18. Jh. im Raum Eichsfeld bekannt (Abb. 19; HEMPEL, 1957 aus DEUMLICH et al., 2014).

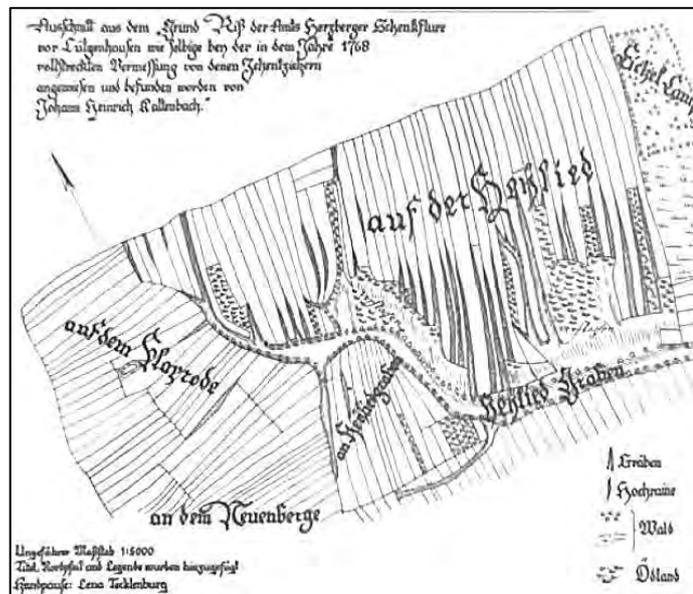


Abbildung 19: Erosionsgeschehen im Eichsfeld (HEMPEL, 1957 aus DEUMLICH et al., 2014).

### 2.3 Morphologie und Charakteristika von Wölbäckern

Wölbäckerböden zeigen besondere Ausprägungen und Eigenschaften, die auf die vergangene Form der Bodenbewirtschaftung mithilfe des Streichbrettfluges zurückzuführen sind (vgl. BARTUSSEK, 1982). Um weitere Aussagen über ihre Verbreitung, Archiv- und Klimafunktion treffen zu können, werden Wölbäcker nachfolgend kurz charakterisiert und ihre Entstehung beschrieben.

#### 2.3.1 Terminologie

Wölbäcker sind durch Furchen begrenzte Ackerflächen, die aus historischer landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung hervorgehen und auch als Hochäcker oder -beete bezeichnet werden. BARTUSSEK (1982) stellt die Entwicklung des Begriffs in seiner Arbeit umfassend dar: Erstmals wurde der Terminus „Wölbäcker“ durch MÜLLER-WILLE (1957) als wissenschaftlicher Begriff eingeführt, ältere Bezeichnungen wie „Hochacker“ (WESTENRIEDER, 1792) oder „Hochbeet“ (FRANK, 1912) werden meist synonym verwendet und sind noch in älterer Literatur zu finden. Im Raum Westfalen wurde diese Art des Pflügens „Rückenbau“ genannt (SCHWERZ, 1953 aus ABEL, 1976). Im Englischen werden die Strukturen der Wölbäcker als „ridge and furrow“ (Rücken und Furche) und häufig als „rig and furrow“ beschrieben (LEVICK, 2011).

### 2.3.2 Technik des Streichbrettflugers

Böden werden bereits seit dem Neolithikum landwirtschaftlich für den Anbau von Kulturpflanzen genutzt. Der älteste erhaltene Pflug ist aus Holz gefertigt und stammt aus der frühen Bronzezeit. Der in Italien (Lavagone) gefundene Pflug ist ein wichtiger Beleg für die damalige Bodenbearbeitung in Europa (PERINI, 1983). Mit Beginn der Bronzezeit (2000 v. Chr.) konnten tiefere Eindringtiefen in den Boden erreicht werden wodurch die Anbaufläche sich langsam vergrößerte (WINIWARDER, 2006).

Mittelalterliche Pfluggeräte waren im Wesentlichen der Haken- und Beetpflug. Die Bewirtschaftung mithilfe des Hakenpfluges stellt die ältere Form der beiden Pflugvarianten dar. Der Haken besitzt keine bis winzige Streichbretter, wendet den Boden daher nicht, sondern wühlt ihn zu beiden Seiten auf (Abb. 20; DIERKES, 2000).

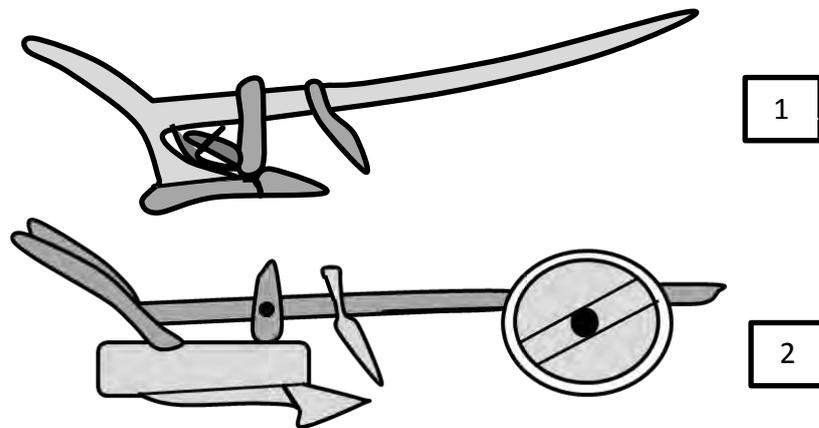


Abbildung 20: 1 - Hakenpflug, 2 - Streichbrettflug (in Anlehnung an Sachsen Spiegel, ca. 1230 aus DIERKES, 2000).

Der Zisterzienserorden, der so genannte Reformorden, durchdrang den gesamten abendländischen Raum und beeinflusste die Zivilisation mit einer neu entstandenen Werkkultur weltweit (vgl. NURBAUM et al., 2017). Die Mönche brachten vermutlich die wesentliche Neuerung in die Landwirtschaft: Sie nutzten anstelle des Hakenpfluges den Streichbrettflug, der zum Entstehen von Wölbackerfluren führte. Ab dem 11. Jh. setzte sich der Beetpflug allmählich in Europa durch und verdrängte den damaligen hölzernen Hakenpflug (BENTZIEN, 1980; HIELSCHER, 1969 aus RÖSENER, 1985). Bei dem Beetpflug, auch Streichbrettflug genannt, handelt es sich um einen asymmetrisch gebauten Pflug, der über ein einseitiges Streichbrett den Boden wendet (Abb. 21). Der Nachteil dieser Pfluggtechnik bestand darin, dass die Schollen lediglich zu einer Seite gekippt werden konnten, sodass Leerfahrten nicht zu vermeiden waren (Abb. 22). Über das Radvorgestell und das Vorschneidmesser brachte der Beetpflug jedoch auch zahlreiche Vorteile: (i) Leichteres Führen, (ii) eine größere Bearbeitungstiefe, (iii) bessere Eignung für den Einsatz in schweren Böden, (iv) bessere Bekämpfung von Samenunkräutern (RÖSENER, 1985; DIERKES, 2000). Schar und Sech wurden bereits im Hochmittelalter aus Eisen hergestellt, hölzernere Teile wurden in der Regel direkt von den Landwirten in Eigenproduktion gefertigt (BRAKENSIEK et al., 2016).

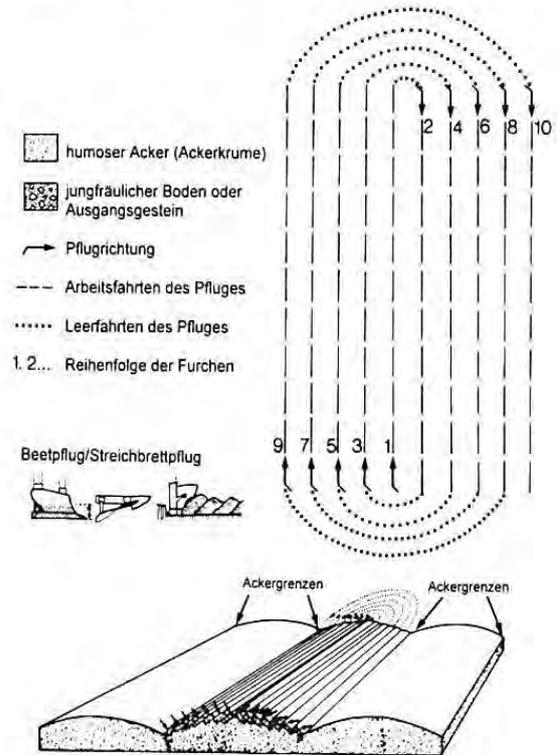
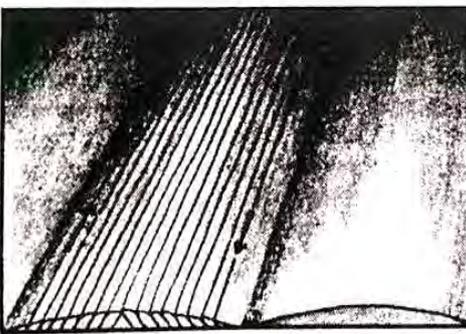
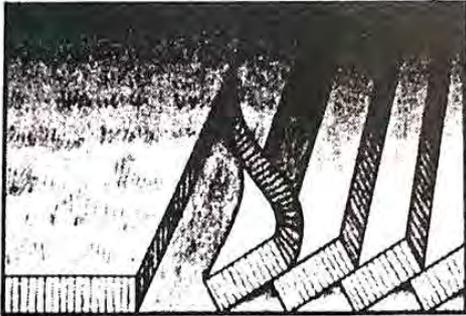
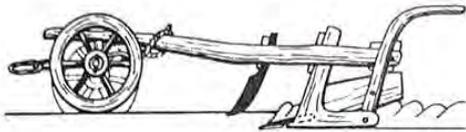


Abbildung 21: Streichbrettflug, Kippen der Ackerschollen, Wölbäckerstrukturen (JEPPESEN, 1981 aus KLAMM, 1993).

Abbildung 22: Entstehung von Wölbäckern (aus HAUGER et al., 2001).

Die Scholle wurde beim Beetpflügen stets zur Ackermittle hin gekippt, sodass sich dort Oberbodenmaterial anreichte (GALL et al., 2005; RAAB et al., 2011). BARTUSSEK (1982) trägt folgende mögliche Gründe für den Wölbäckerbau zusammen: (i) Verbesserte Wasserspeicherkapazität auf sandigen Böden bzw. Entwässerung auf nassen Standorten durch Erhöhung des Bodenmaterials, (ii) daraus resultierende Risikoversicherung aufgrund stabiler Erträge, (iii) Humusanreicherung durch den Auftrag von Oberbodenmaterial zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit, (iv) besitzrechtliche Abgrenzung der Parzellen zur Zeit der Dreifelderwirtschaft zum Schutz vor Bodendiebstahl, (v) Nachahmung und Gewohnheit. Zu Beginn der Neuzeit lag außerdem ein weiterer Pflugtyp vor: Der Kehrpflug. Der im 15. Jh. entwickelte Pflug besaß ein umsetzbares Streichbrett, was ein Pflügen in beide Richtungen ermöglichte. Ein Nachteil der Verstellbarkeit bestand allerdings darin, dass der Boden bei schweren Böden nicht immer vollständig gewendet werden konnte, sodass Beetpflüge zum Teil gegenüber dem Kehrpflug eine bessere Alternative darstellten (BENTZIN, 1980; BECKER, 2002 aus BRAKENSIEK et al., 2016).

### 2.3.3 Morphologie und Erscheinungsbild

Die Ansprache von Wölbäckern kann einerseits durch die Profilsprache, zum anderen anhand der Oberflächenformen (z. B. durch Luftbildaufnahmen) erfolgen (LAZAR et al., 2010). Durchschnittlich ( $n > 250$ ) beträgt die Breite von Wölbäckern 4 bis 22 m (meist 12 bis 15 m), die Überhöhung der alten Geländeoberfläche liegt zwischen 10 und 60 cm (oft 30 cm), die Länge zwischen 100 und 1000 m (HIEROLD, 2012). Der Höhenunterschied zwischen Rücken und Furche kann mit fortschreitender Zeit innerhalb des Ackers bis zu einem Meter betragen (PFEFFER, 2011; HAUGER et al., 2001). Das aufgepflügte Material in der Kuppe ist je nach Substrat und Humusgehalt dunkel gefärbt (vgl. BORK&DOTTERWEICH, 2001). In vorliegender Literatur handelt es sich bei den meisten Nachweisen um die erhaltene Struktur von Wölbäckern, da diese aufgrund der Mikromorphologie leicht als solche zu erkennen sind. Vor allem in Waldgebieten lassen sich Wölbäcker noch heute nachweisen (Abb. 23). Ihre ursprüngliche Form ist überall dort noch gut erkennbar, wo die Flächennutzung von Wölbäckern in Wald oder Grünland überging (GUNREBEN&BOESS, 2015). Trotz einer konservierenden Wirkung durch forstliche Nutzung, können Strukturschäden durch den Einsatz von Ernte- bzw. Pflanzmaschinen entstehen (GALL et al., 2005). Bei genauer Betrachtung im Gelände lassen sich die ursprünglichen Formen der Wölbäckerbewirtschaftung in der Regel noch erkennen. Im dichten Bestand kann der Höhenunterschied durch einzelne Baumstämme sichtbar gemacht werden (Abb. 24). Darüber hinaus sind durch aktuellen Wegebau eingeschnittene Strukturen ebenfalls gut erkennbar, wie es z. B. in Groß Thiershausen deutlich zu sehen ist (Abb. 25).



Abbildung 23: Wölbäckerstruktur im Forst Helmstedt (Foto: M. BERNATZKY).



Abbildung 24: Wölbäckerstrukturen unter Wald (Foto: E. GEHRT).



Abbildung 25: Wölbäcker bei Thiershausen. Zeichnung von E. Kühnhorn (1960) aus JÄGER (1965).

## 2 Aktueller Kenntnisstand zu Wölbäckern

In der Natteheide (Brandenburg) wurden erhaltene Wölbackerstrukturen unter Wald analysiert. Es handelt sich dabei um 12 bis 15 m breite und 10 bis 60 cm hohe Strukturen. Der Höhenunterschied zwischen Rücken und Furche ist unterschiedlich stark. Die Profile werden als reliktsche Pseudogley-Gleye aus Sandersand über Beckenablagerungen beschrieben. Unter der jungen Humusauflage befindet sich der reliktsche Pflughorizont aus der vorangegangenen Wölbackerphase. Im Profilschnitt wird die unterschiedliche Mächtigkeit der Horizonte deutlich (Abb. 26). Im Bereich des Rückens befindet sich deutlich mehr dunkles humoses Material als beim Profilschnitt in der Furche.

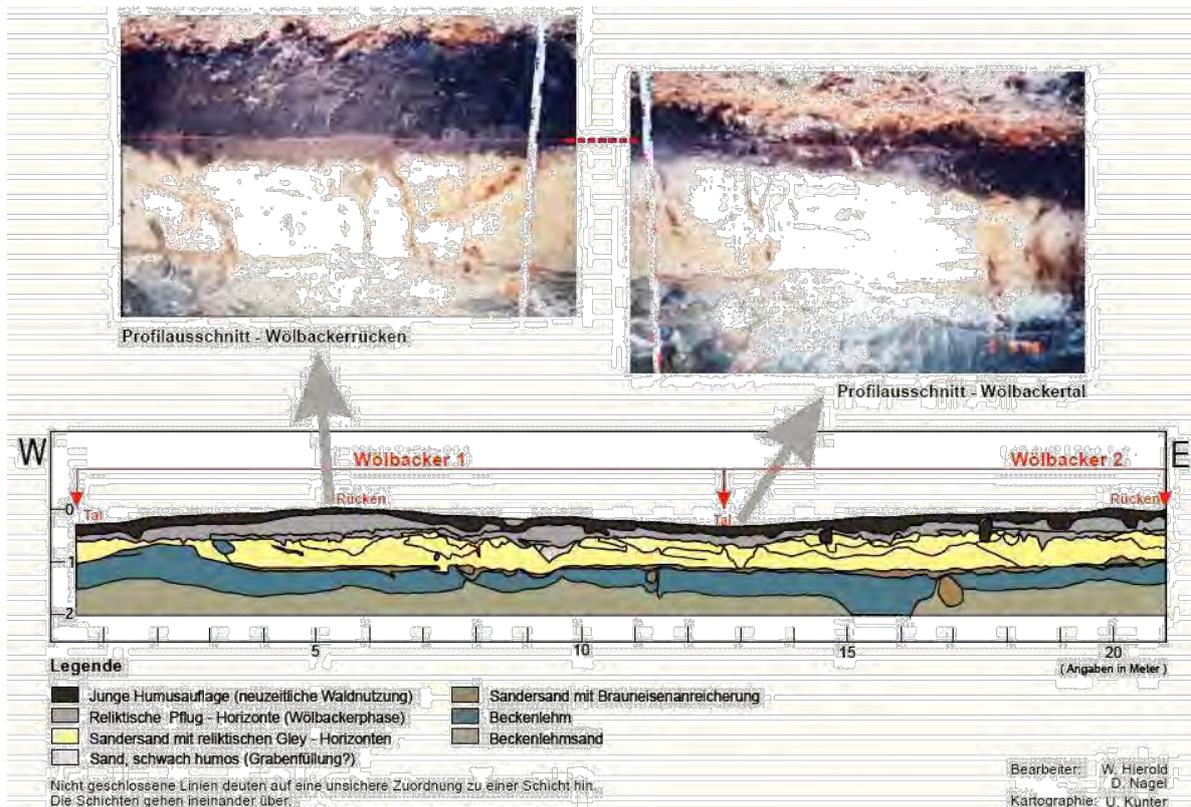


Abbildung 26: Wölbäckerrücken und -tal in der Natteheide (Brandenburg), HIEROLD&NAGEL aus (GALL et al., 2005).

Unterliegen ehemalige Wölbäcker der heutigen landwirtschaftlichen Nutzung, sind sie zumeist so stark gestört, dass sie oberflächlich nicht mehr erkennbar sind. Innerhalb des Profils lässt sich teilweise jedoch eine Anreicherung von humosem Material feststellen. Eine leichte Wölbung im Gelände kann je nach Lichtbedingungen auch auf Fotos dargestellt werden (Abb. 27). Digitale Geländemodelle, Luftbilddaufnahmen und Einzelnachweise im Gelände sind weitere Möglichkeiten eingeebnete Strukturen zu erfassen (Abb. 28).



Abbildung 27: Ehemalige Wölbäcker unter Grünland nahe Göttingen (Foto: H. Steinmann).



Abbildung 28: Eingeebnete Wölbäckerstrukturen unter ackerbaulicher Nutzung in Donstorf (Bild: K. Mahlitz-Frey).

In der Regel sind Wölbäcker unter Grünland weniger stark eingeebnet als unter Acker. Der Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken beträgt unter ackerbaulicher Nutzung noch etwa 10 cm (DEUMLICH, 2012) und im Grünland bis zu 60 cm. Dies liegt unter anderem an dem Verbot des Umbruchs von Dauergrünland. Darunter fallen alle Flächen, die für mindestens fünf Jahre zum Anbau von Gras oder anderen Grünfütterpflanzen genutzt werden. Nach den Greening-Verpflichtungen muss ein Umbruch von Dauergrünland erst genehmigt werden (UMWELTBUNDESAMT, 2016). Da im Grünland kein Pflug eingesetzt wird und die Bewirtschaftung der Fläche generell den Profilaufbau eines Bodens weniger stark beeinflusst, sind die mittelalterlichen Strukturen besser zu erkennen. Statt des Pflughorizontes (Ap) unter ackerbaulicher Nutzung liegt bei Grünlandflächen ein humoser Oberboden (Ah) vor. Unter Acker sind die exakten Horizontgrenzen infolge der Überprägung nicht immer klar festzustellen und der ursprüngliche Pflughorizont ist meist nur noch schwer zu identifizieren.

Die Oberflächenform von Wölbäckern bietet im Bereich der Furchen ideale Abflusslinien und kann bei Starkregen Erosionsereignisse im Feld begünstigen. Noch heute kann die Ursache solcher Schäden auf die Struktur ehemaliger Wölbäcker zurückgeführt werden. Auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche in Brandenburg wurden bspw. die Gründe für das regelhafte Erosionsmuster gesucht (DEUMLICH, 2012). Erst mithilfe digitaler Geländemodelle konnten die linearen Strukturen so abgebildet werden, dass die Wölbung erkannt wurde (Abb. 29). In den Furchen entstanden infolge starker Niederschläge und der damit einhergehender Bodenerosion tiefe Gräben (Abb. 30).

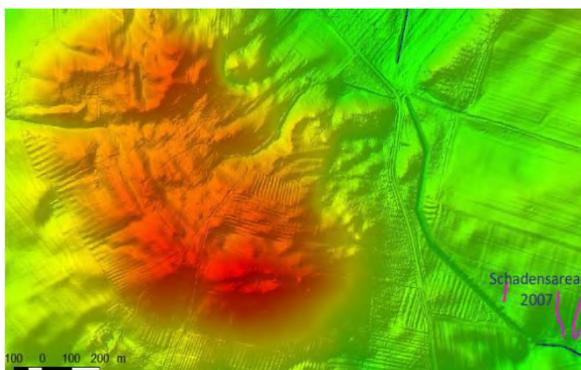


Abbildung 29: Wölbäckerrelikte im Digitalen Geländemodell (DEUMLICH, 2012).

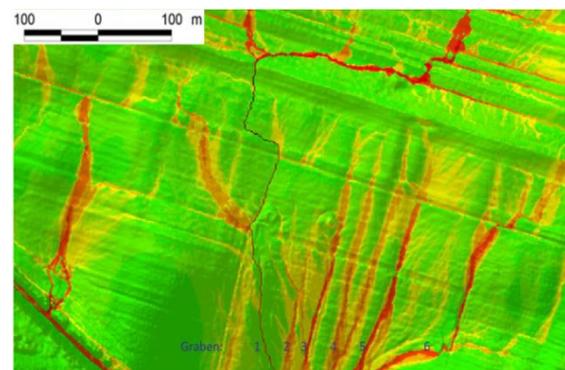


Abbildung 30: Lage der analysierten Erosionsgräben, (DEUMLICH, 2012).

## 2 Aktueller Kenntnisstand zu Wölbäckern

Im Bereich der Rücken sind die ehemaligen Pflughorizonte in der Regel noch erkennbar, in den dazwischen liegenden Hohlformen sind nur verkürzte Profile vorzufinden (DANNEMANN&HERRMANN, 2014). Vergleichbare Feststellungen wurden bei Rüdershausen (Süd-niedersachsen) getroffen, wo der Grund tiefer Einschnitte lange nicht bekannt war (BORK et al., 1998). Diese Form linearer Bodenerosion wurde in das späte Mittelalter datiert. Katastrophale Starkregen wurden zunächst als Hauptursache für die zerschluchteten Flächen angenommen. Die Zerschneidung vollzog sich jedoch nur auf agrarisch genutzten Flächen, was auf einen anthropogenen Einfluss hinweist (BORK, 1985). Die damals angelegten Wölbackerbeete erstreckten sich bis zu mehreren hundert Metern in Gefällrichtung. Die anfängliche Höhendifferenz von etwa 20 bis 40 cm stieg im Verlauf späterer Boden-erosion und wurde durch die Materialumlagerung kontinuierlich größer. Auf den Flächen rissen bis zu 10 m tiefe, hunderte Meter lange Schluchten im Verlauf der ehemaligen Furchen ein. Grund dafür waren, nach umfangreichen Waldrodungen, zum einen die Vegetationslosigkeit der Flächen und zum anderen die Starkniederschläge (Abb. 31; BORK et al., 1998).

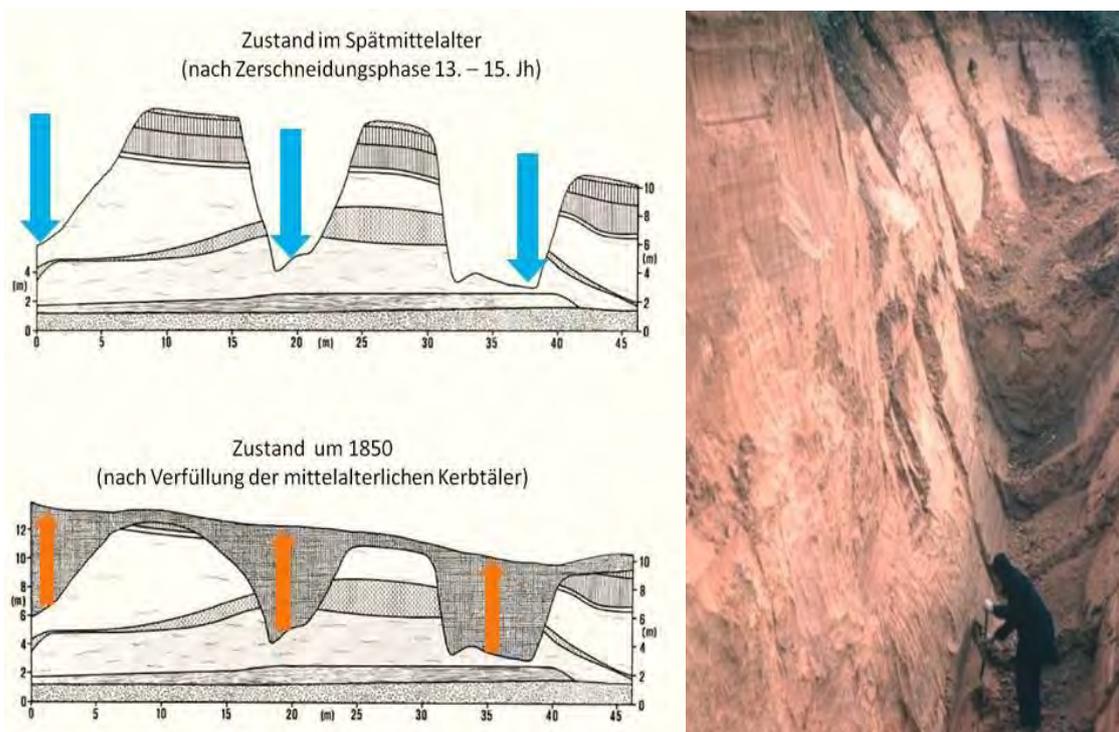


Abbildung 31: Zerschluchtete Flächen in Rüdershausen (BORK, 2014).

### 2.3.4 Systematische Stellung der Wölbackerböden und Abgrenzung zu anderen humosen Böden

Boden ist kein statisches, sondern ein dynamisches und entwicklungsfähiges Biosystem, bei dem die verschiedenen Prozesse der Bodenbildung fortwährend stattfinden (FIEDLER, 2001). Die Pedogenese führt zu Veränderungen, die typologisch zu beschreiben sind. Prozesse menschlichen Handelns sollten dabei nach BRYANT&GALBRAITH (2002) stärker in die Klassifikation von Böden mit einbezogen werden. Die Systematik von Böden basiert auf einem morphogenetischen Prinzip, bei dem Profilaufbau und Horizontausbildung im Mittelpunkt stehen (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005).

In Niedersachsen liegen verschiedene Bodentypen vor, die genau wie Wölbackerböden einen zweiten humosen Horizont aufweisen, aber auf eine andere Genese zurückzuführen sind (Abb. 32). Bei der Kartierung und Untersuchung von Wölbackerböden ist es daher notwendig andere Genesen zu kennen und auszuschließen. Einige Beispiele werden im Folgenden auf Grundlage der bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 herausgestellt.

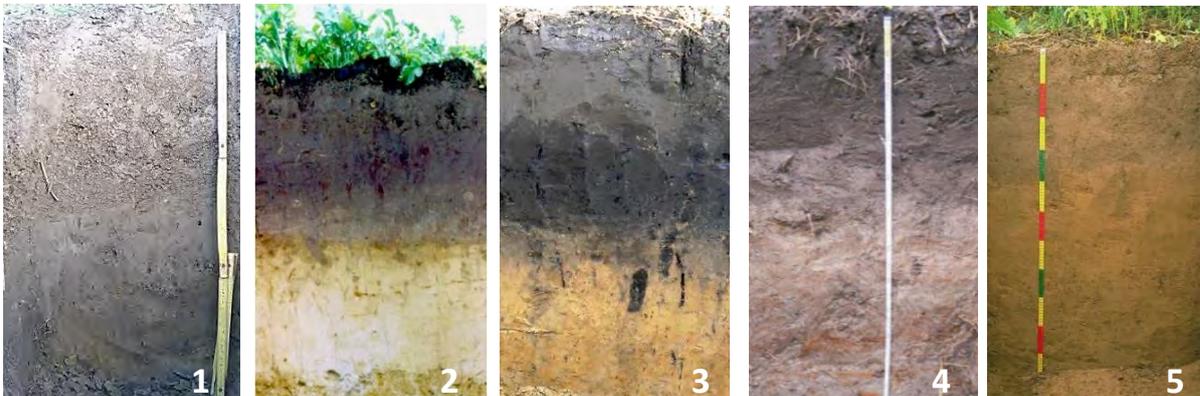


Abbildung 32: Anthropogen geprägte Böden. 1: Wölbackerboden (SCHMOOCK, 2017), 2: Plaggenesch (GEHRT, 2012), 3: Schwarzerde (GEHRT, o.J.), 4: Rigosol-Kleimarsch (BEHÖRDE FÜR UMWELT UND ENERGIE, 2011), 5: Kolluvisol (LUBW, 2017).

Zur Klasse der terrestrisch anthropogenen Böden gehört der Bodentyp **Kolluvisol**. Bei kolluvialem Material handelt es sich um verlagertes humoses Bodenmaterial, das durch Wasser- oder Winderosion abgetragen und am Hangfuß, in Senken oder Tälern wieder akkumuliert, durch Wind erodiert und örtlich wieder abgelagert oder durch anthropogene Umlagerung angehäuft worden ist (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). Charakteristisch ist ein dunkler, humoser und nährstoffreicher M-Horizont, der eine Mächtigkeit von mindestens 40 cm aufweisen muss. Da das Relief starken Einfluss auf Erosionsgeschehen hat, ist der Anteil der Kolluvien im Bergland deutlich höher als im restlichen Niedersachsen. Nach der Bodenkarte 1 : 50 000 des NIBIS-Kartenservers beträgt die Kolluvium-Fläche im niedersächsischen Bergland etwa 73 000 ha und macht somit mehr als die Hälfte des gesamten Vorkommens (ca. 134 000 ha) aus (NIEDERSÄCHS. BODENINFORMATIONSSYSTEM, 2017).

Als Kriterium für einen Wölbackerboden ist ein zweiter humoser Horizont aufgrund wiederholten Materialauftrags im Bereich des Rückens zu erwarten. Dieser ist in einer Tiefe von 30 bis 60 cm, bei eingeebneten Flächen, unterhalb des Pflughorizontes zu vermuten. Wölbäcker werden häufig, besonders bei Einebnung der Fläche, als Kolluvisol beschrieben. Zudem besteht die Möglichkeit den Bodentyp **Rigosol** auszuweisen, da regel-

mäßig wiederholtes Pflügen vorliegt. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass es sich nicht bei jedem landwirtschaftlich genutzten Boden um einen Rigosol handelt. Erst bei turnusmäßigem Umgraben des Materials in mindestens 4 dm Tiefe kann die Bezeichnung Rigosol Anwendung finden (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). Aufgrund der damaligen Bewirtschaftung mithilfe des Streichbrettfluges sind Wölbäckerböden zu den terrestrischen Böden zu zählen, die unter anthropogenem Einfluss umgestaltet wurden. Bisher liegt keine individuelle Möglichkeit zur Beschreibung eines Wölbäckerprofils vor.

Bei dem **Esch** handelt es sich um einen Boden mit Materialauftrag. Der humose charakteristische Horizont, der im Zuge der Plaggenwirtschaft entstanden ist, wird mit dem Buchstaben E für Esch gekennzeichnet (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). In Niedersachsen beträgt die Mächtigkeit des E-Horizontes bei 80 % der Eschböden 60 cm (GEHRT, 2012a). Je nach Herkunft des gewonnenen Materials muss zwischen grauen und braunen Plaggeneschen unterschieden werden (Abb. 33). Neben Heideplaggen von sandigen Standorten, aus denen sich der graue Plaggenesch bildete, wurden auch Grasplaggen aus schluffig bis lehmigen Standorten gestochen, die zu einem braunen Plaggenesch führten (GEHRT, 2012a). In der sandigen und ebenen Geest ist die Verbreitung von Plaggeneschen seit langem bekannt (ECKELMANN, 1980).

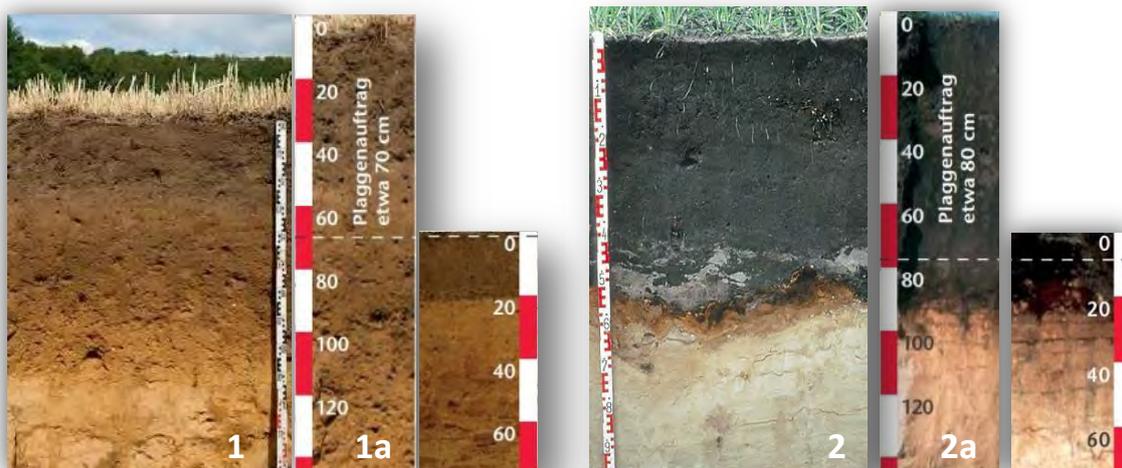


Abbildung 33: Brauner und Grauer Plaggenesch (1: MÜLLER et al., 2011; 1a & 2a: GEHRT, 2012; 2: UMWELTKONZEPT DR. MEYER, 2015).

Zur Klasse der **Schwarzerden** gehören holozäne Reliktböden, die im Boreal, unter wärmeren und trockeneren Bedingungen als heute, durch intensive Bioturbation entstanden sind (MÜCKENHAUSEN, 1977). Sie zählen zur Abteilung der terrestrischen Böden (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). Hauptsächlich entwickeln sich Schwarzerden auf kalkhaltigen und feinerdigen Lockergesteinen (vgl. SCHONLAU, 1966), welches in Niedersachsen vorrangig Löss ist - ein äolisches, schluffiges Sediment (vgl. BLUME et al., 2010). Bei dem durch Bioturbation entstandenen Oberbodenhorizont (A<sub>xh</sub>) des Bodentyps Tschernosem, handelt es sich um einen schwarzgrauen Horizont, der trotz geringer Humusgehalte in einer Tiefe von 40 bis 60 cm dunkler erscheint als der darüber liegende Pflughorizont (A<sub>p</sub>) (vgl. GEHRT, 1998a). Zunächst wurde von einer natürlichen Genese der Schwarzerden ausgegangen, in jüngster Vergangenheit trat aber vermehrt die Diskussion

um einen anthropogenen Einfluss während des Neolithikums auf. Diese These wurde im Jahr 2009 von SAILE&LORZ zurückgewiesen. Es wurde allerdings bestätigt, dass Verbrennungsrückstände zur Bildung humoser Bodensubstanz geführt haben und somit nicht allein die Bioturbation zur Schwarzfärbung führt (SAILE&LORZ, 2009). Hinweise für diese Annahme liefern die hohen Anteile an pyrogenem Kohlenstoff, der bei unvollständiger Verbrennung entsteht und auch als *black carbon* bezeichnet wird (vgl. SCHMIDT et al., 1999). Die Genese der Schwarzerden ist derzeit noch nicht vollständig geklärt.

### 2.3.5 Verbreitung von Wölbäckern

Wölbäcker waren vermutlich in ganz Europa verbreitet und sind heute nur noch dort gut erkennbar, wo schwere moderne Pflüge in Wald oder Grünland nicht oder nur eingeschränkt Einsatz fanden (HAUGER et al., 2001; WIEGAND, 2005). Den südlichen Mittelmeerraum ausgenommen, liegen Angaben aus allen Regionen vor (BARTUSSEK, 1982). Auch in Nordwest-Amerika wurde das Vorhandensein gewölbter Beete beschrieben. Im Gebiet um Wisconsin sind diese allerdings zu etwa 90 % durch landwirtschaftliche Nutzung zwischen dem 19. und 20. Jh. überprägt wurden (GARTNER, 2003). In England wurde bereits viel zur Verbreitung mittelalterlicher Wölbäckerflächen geforscht. Bei der Betrachtung der englischen Grafschaften Norfolk und Suffolk konnte dabei eine größere Verbreitung festgestellt werden, als zuvor erwartet (LIDDIARD, 1999).

Nach WIEGAND (2005) ist davon auszugehen, dass sämtliche Altackerflächen im Mittelalter als Wölbäcker genutzt wurden. BARTUSSEK (1982) beschreibt hingegen auf Grundlage von Angaben zahlreicher Autoren (z. B. MEIBEYER, 1971), dass in der historischen Landwirtschaft lückenlose Übergänge zwischen flachen und gewölbten Beeten vorlagen. Je nach Gebiet konnte es daher zu einer starken Heterogenität der Bewirtschaftungstechnik kommen. WELL (1989) bezieht sich auf die Standorteigenschaften der Wölbäckerflächen: Der Grund für die Anlage von Wölbäckern sei nicht von bestimmten Bodengesellschaften abhängig, sondern vielmehr von der Bodenqualität.

Als Gründe für die Technik des Streichbrett-pfluges werden in vorliegender Literatur unter anderem (i) Trockenheit, (ii) Nässe, (iii) Nährstoffarmut und (iv) Flachgründigkeit genannt (vgl. BARTUSSEK, 1982). Daher scheinen Wölbäcker zunächst auf schlechteren Standorten stärker verbreitet. WELL (1989) fasst in seiner Arbeit auf Grundlage der Ergebnisse von ANTONY (1988) und BARTUSSEK (1982) zusammen: Ein maßgeblicher Grund für ein scheinbar fehlendes Vorhandensein auf besseren Standorten stellt vermutlich die Bewirtschaftung in jüngerer Zeit dar, welche zu einer erschwerten Ansprache von Wölbäckerstrukturen geführt hat. BUCHERT&RASINK (2012) nennen das Zusammenlegen einzelner Parzellen und den Wendepflug als maßgebliche Ursachen für die Einebnung gewölbter Strukturen. Die genaue Verbreitung von Wölbäckern ist aufgrund der rezenten Morphologie daher nicht vollständig erfasst und kann derzeit nur selektiv aus Einzelnachweisen entnommen werden (z. B. JÄGER, 1965; MEIBEYER, 1969; WELL, 1989; ALCÁNTARA et al., 2017).

### 3 Methodik

#### 3.1 Darstellung nachgewiesener Wölbackerflächen

Digitale, raumbezogene Daten zur Verbreitung von Wölbackerflächen in Niedersachsen liegen nicht flächendeckend vor. Auf Grundlage drei verschiedener Quellen (s. Datengrundlage) werden insgesamt 1237 nachgewiesene Flurrelikte auf ihre Verteilung in Niedersachsen, ihre heutige Nutzung und ihren Bezug zu den Bodenlandschaften untersucht. Die nachgewiesenen Flächen liegen sowohl als Punkt- als auch als Flächennachweise vor. Die Darstellung von Flächen nachgewiesener Wölbacker wird auf eine Punktdarstellung reduziert. 70 Flächen liegen außerhalb Niedersachsens, weshalb insgesamt 1167 Nachweise in die Berechnung miteinbezogen werden. Alle Daten werden, farblich nach Quellen sortiert, zusammengeführt und in den Bodenlandschaften Niedersachsens dargestellt.

Durch die Datenbestände des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS) ist eine Darstellung der Bodengroßlandschaften (BGL500) und Bodenlandschaften (BL500) Niedersachsens im Maßstab 1 : 500 000 möglich. Die Bodenkarte wird mit den ausgewiesenen Flächen verschnitten und der prozentuale Flächenanteil der einzelnen Bodenregionen an der Gesamtfläche Niedersachsens berechnet, um einen Zusammenhang zwischen Wölbackerbau und bestimmten Bodenlandschaften zu überprüfen.

Die Verteilung nachgewiesener Wölbackerflächen in den Bodenlandschaften ist hierarchisch aufgebaut (Skizze 1) und wird in allen Ebenen dargestellt. Die Ableitung der Bodenlandschaften Niedersachsens erfolgt auf Grundlage von Geogenese und der Lithologie bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Gesteinsmächtigkeit. Dabei werden jene Faktoren miteinbezogen, die die Böden maßgeblich prägen (NIEDERSÄCHS. BODENINFORMATIONSSYSTEM, 2017). Der prozentuale Anteil nachgewiesener Flächen wird pro Bodenregion berechnet. Abschließend wird die heutige Nutzung der Altackerflächen dargestellt. Diese basiert auf den Daten des ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem). Die Geobasisdaten beinhalten die Beschreibung der Topographie, inklusive der Flächennutzung. Die Auswertung und Darstellung der Daten erfolgt mit ACCESS (2013), EXCEL (2013) und ARCMAP (10.4).



Skizze 1: Hierarchieebenen: BR, BGL, BL.

### Datengrundlage

#### I. **Institut für Historische Landesforschung (Georg-August-Universität, Göttingen)**

Die ausgewiesenen Flächen beruhen zum Großteil auf Daten der Historisch-Landeskundlichen Exkursionskarten von Niedersachsen, die nur sehr selektiv erschienen sind. Es handelt sich dabei um eine historisch-landeskundliche Grundkarte von Niedersachsen auf dem Blattschnitt der Topographischen Karte 1 : 50 000.

Anzahl der Nachweise: **699**

#### II. **Niedersächsisches Forstplanungsamt (FPA) Wolfenbüttel**

Im Rahmen der Standortkartierung für die Staatlichen Forstämter, Klosterforsten, Betreuungforsten und der Stadtförstämter werden vom Forstplanungsamt forstliche Standortskarten herausgegeben. Das LBEG übernimmt diese Daten seit 1985 in das NIBIS und erstellt auf dieser Grundlage eine Forstliche Standortskarte im Blattschnitt 1 : 25 000. Es werden alle mit **R2** (*Geländeoberfläche deutlich durch Wölbäcker geprägt*) gekennzeichneten Flächen extrahiert.

Anzahl der Nachweise: **320**

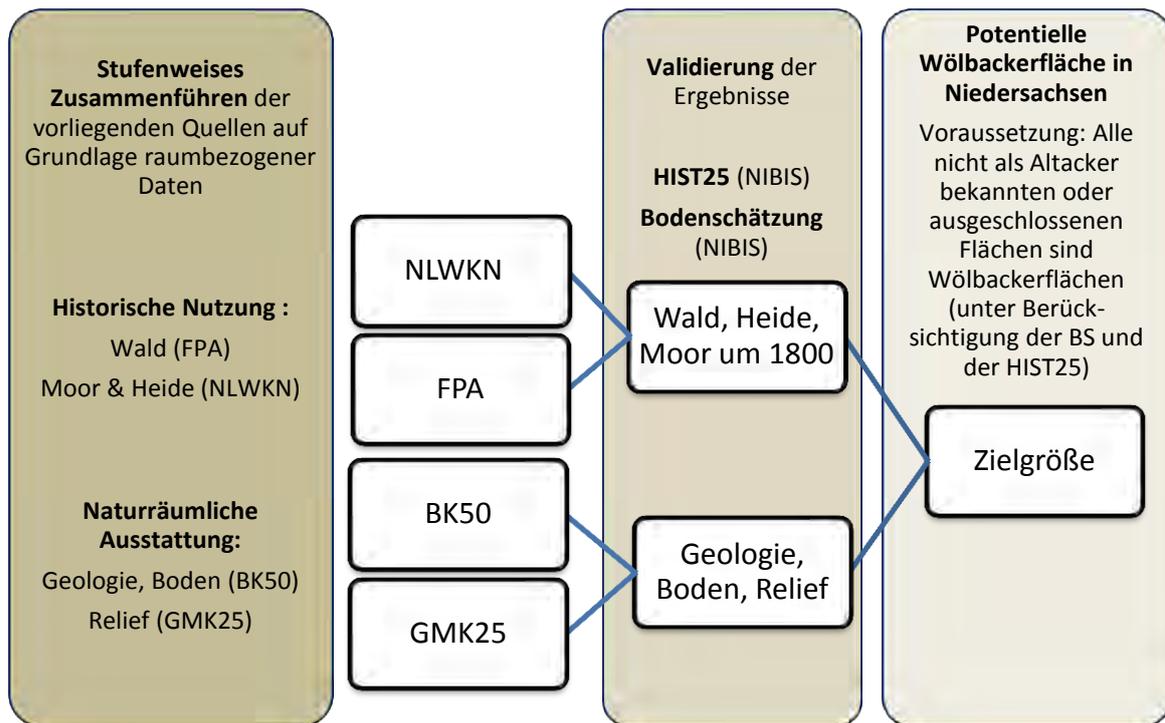
#### III. **ADABweb (Fachinformation der Niedersächsischen Denkmalpflege)**

Weitere Nachweise über Wölbackerflächen stammen aus Daten der Denkmalpflege des Niedersächsischen Landesamtes und dessen Partner (Untere Denkmal-schutzbehörde, Kreisarchäologie, etc.). Es handelt sich bei den Fachdaten um Beschreibungen und Ausweisungen archäologischer Objekte und Kulturlandschaftselemente auf Grundlage von Bildern, Luftbildern, Karten und Plänen, die über ein Geoinformationssystem-Modul raumbezogen dargestellt werden.

Anzahl der Nachweise: **218**

### 3.2 Konzept zur Berechnung potentieller Wölbackerflächen in Niedersachsen

Ziel dieser Arbeit ist, neben der Darstellung bereits bekannter Flächen, die Berechnung einer potentiellen Altackerfläche und die Abschätzung der Flächengröße ehemaliger Wölbacker in Niedersachsen. Das Konzept zur Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche besteht aus mehreren Arbeitsschritten, die aufeinander aufbauen (Skizze 2). Um den Zustand der historischen Landnutzung zu erfassen, werden die Informationen verschiedener Quellen stufenweise zusammengeführt und auf ihre Validität überprüft. Je nach Fidelität der raumbezogenen Daten werden Nachweise damaliger Flächennutzung substituiert oder komplementiert.



Skizze 2: Konzept der Arbeit zur Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche Niedersachsens.

Grundlage bildet die Karte des Nds. Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), in der die Flächennutzung um 1800 für Niedersachsen abgebildet ist. In dieser Karte werden folgende Kategorien erfasst: Wald, Heide, Moor. Um die Präzision der dargestellten Waldflächen zu verifizieren, wird die Darstellung mit den Daten des Forstplanungsamtes verglichen und ergänzt. Eine Fusion beider Karten führt zur Darstellung der Nutzung um 1800. Neben bereits vorhandener Information über die Landnutzung wird die naturräumliche Ausstattung Niedersachsens in die Prognose ehemaliger Wölbackerareale mit einbezogen. Zur Darstellung einer Zielgröße werden Reliefeinheiten der Geomorphographischen Karte 1 : 25 000 (GMK25) als potentielle Acker- oder Ausschlussflächen definiert. Über die Bodenkarte im Maßstab 1 : 50 000 (BK50) wird die berechnete Fläche über die Definition weiterer Ausschlussflächen, unter den Aspekten Geologie und Boden, weiter limitiert.

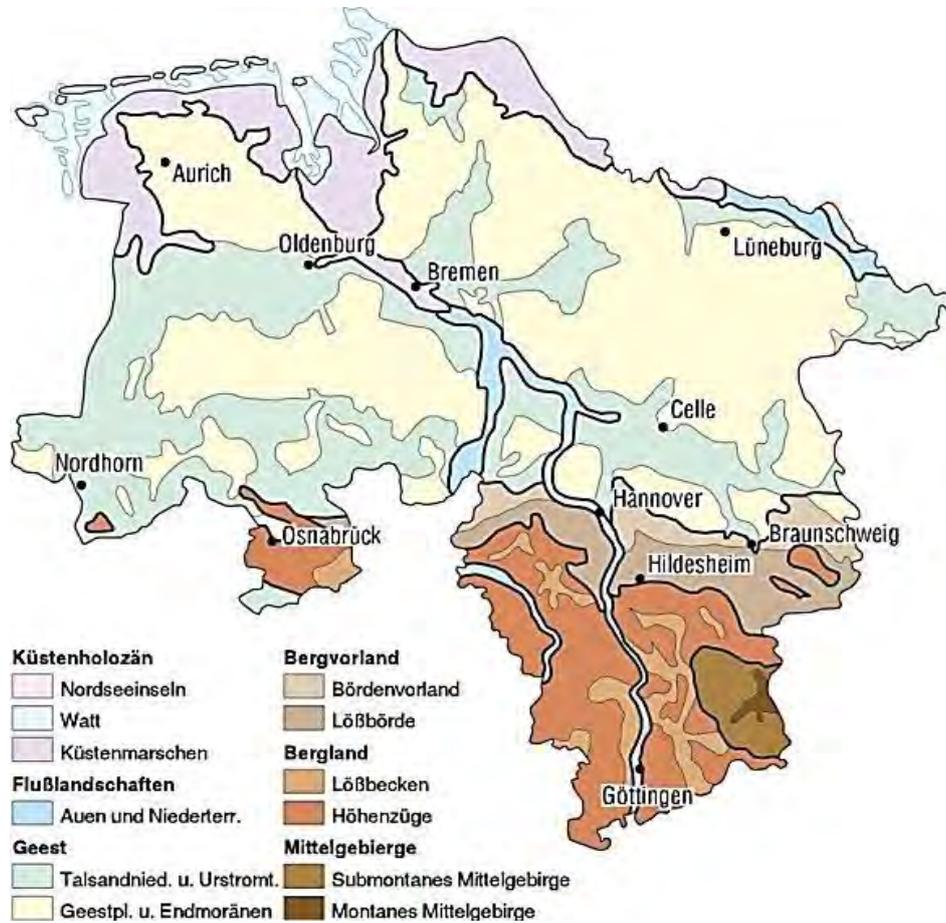
Über Jahrhunderte hinweg bleiben die naturräumlichen Gegebenheiten einer Region weitestgehend konstant. Daher führt die Definition von Ausschlussflächen über Geologie, Boden und Relief zu nutzungsunabhängigen Aussagen, die anschließend mithilfe von Karten der historischen Nutzung auf Plausibilität überprüft und ergänzt werden. Hierfür liegt zum einen die Historische Karte 1 : 25 000 (HIST25) vor, die für Niedersachsen allerdings nur sehr selektiv, in einzelnen Kartenblättern, existiert. Die hier dargestellte Nutzung bezieht sich auf die Zeit um 1800. Die HIST25 dient zur Verifizierung der ehemaligen Landnutzung nach FPA und NLWKN und wird aus dem NIBIS-Kartenserver extrahiert. Die Bodenschätzung (BS) gibt Hinweise auf Böden mit zweiten humosen Horizonten. Um besser zwischen natürlicher und anthropogen beeinflusster Genese der Böden zu unterscheiden, wird die Angabe der Flächen in Sandlöss und Löss getrennt. Mithilfe der Bodenschätzung kann eine Annäherung an die tatsächliche Wölbackerfläche getroffen werden. Die Zielgröße ist eine berechnete Fläche, die als Wölbacker bewirtschaftet wurde. Diese wird gebietsweise für Niedersachsen erfasst und je Teilgebiet abgebildet sowie diskutiert. Anschließend kann eine Aussage über die berechnete, potentielle Wölbackerfläche für das gesamte Bundesland getroffen werden.

#### 3.3 Gliederung Niedersachsens

Niedersachsen war während des Mittelalters stärker als gegenwärtig in wirtschaftliche und soziale Räume untergliedert. Die Bedeutung einzelner Regionen hing dabei wesentlich von naturräumlichen sowie sozio-ökonomischen Faktoren, wie z. B. Marktnähe bzw. –ferne oder der Verbreitung adliger Güter, ab (vgl. HAUPTMEYER, 2004). Da der Faktor Boden eine wichtige Rolle bei der Standortwahl spielt, kann anhand von Bodenkarten auf die vorherrschende landwirtschaftliche Nutzung einer Region geschlossen werden. Überdies waren Landwirte im Mittelalter aufgrund fehlender Verfügbarkeit mineralischer Düngemittel stärker als heute von der natürlichen Ausstattung einer Region abhängig. Die unterschiedlichen bodenbildenden Faktoren, wie Klima, Ausgangsgestein und Relief, haben zu der Entwicklung verschiedener Bodenlandschaften geführt. Im aktuellen geologischen Zeitalter, dem Quartär kam es während der letzten 2,6 Mio. Jahre und kommt es noch heute zu Prozessen, die das Landschaftsbild prägen (THOME, 1998).

Während das Geestgebiet glazial geformt ist, weist der Raum an der Nordseeküste vorherrschend holozäne Sedimente auf pleistozänen Untergrund auf (BENDA, 1995). Das Küstengebiet mit den Watten, Düneninseln, Marschen und Mooren zählt, genau wie die Geest und das lössbedeckte Bergvorland, zum Tiefland, welches etwa vier Fünftel der Landesfläche einnimmt. Im Kontrast dazu stehen die Berglandregion im Süden und das Mittelgebirge des Harzes mit Anstiegen bis zu 1000 m ü. NHN (im niedersächsischen Teil). Klimatisch gehört Niedersachsen zum feuchtgemäßigten Westwindgürtel der Nordhalbkugel und wird durch periodische Wechsel der Jahreszeiten, vorherrschende Westwinden und häufige Tiefdrucklagen geprägt. Aufgrund der ozeanischen Luftmassen im Westen gibt es ganzjährig Niederschläge, milde Winter und relativ kühle Sommer. In den östlichen Gebieten herrscht ein kontinentaler Einfluss, der zu sommerlichen Trockenperioden führen kann (HOFFMANN et al., 1999).

Eine generalisierte Karte mit ausgewiesenen Bodenregionen und –landschaften gibt einen Überblick zur Einteilung Niedersachsens aus bodenkundlicher Sicht (Karte 1).



Karte 1: Generalisierte Karte der Bodenregionen und Bodengroßlandschaften in Niedersachsen und Bremen (LBEG, 2007).

Aufgrund der bestehenden Unterschiede zwischen den Gebieten wird Niedersachsen zur Berechnung der potentiellen Fläche mittelalterlicher Wölbäcker in mehrere Teilräume untergliedert, die sich hinsichtlich ihrer Entstehung und natürlichen Ausstattung klar voneinander abgrenzen. Im Rahmen dieser Arbeit werden auf Grundlage der Bodenregionen und der historischen Rahmenbedingungen sieben Gebiete differenziert betrachtet:

- (i) Küstenholozän
- (ii) Westliche Geest
- (iii) Osnabrücker Bergland
- (iv) Östliche Geest
- (v) Bördenvorland (Braunschweig Ost)
- (vi) Bergland und Lössbörde
- (vii) Harz

Die vorliegenden Daten werden mithilfe von ARCMAP (10.4) generalisiert und räumlich dargestellt (Karte 2). Die Teilräume Niedersachsens werden in Hinblick auf ihre Genese und ihre gegenwärtige sowie mittelalterliche Bedeutung für die Landwirtschaft kurz beschrieben.

### 3.3.1 Küstenholozän

Unter Einfluss der Nordsee entstand das Küstenholozän im nordwestlichen Teil Niedersachsens, welches sich in Inseln, das Watt und die Marsch gliedert (AZIZI et al., 2010). Die für die Landwirtschaft wichtigsten Landschaftstypen des Küstenlandes sind, aufgrund ihrer fruchtbaren Böden, die See- und Flussmarschen (SEEDORF&MEYER, 1992). Hier dominieren Vegen und Gley-Vegen. In den älteren, tiefer gelegenen Auenlehmen und in den Altarmen treten Gleye und Pseudogleye auf, die als Grünlandstandort genutzt werden. Im Bereich der Inseln liegen Syroseme, Regosole und Gleye in den Dünentälern vor. Daran schließen sich das Watt und die Rohmarschen an (AZIZI et al., 2010).

Die Marschen entstanden infolge von Transgressionsverlangsamung und Regressionsphasen. Es ist davon auszugehen, dass alle Sedimente, die bis zu einer Tiefe von 2 m unter der GOF anstehen, in den letzten 2000 Jahren entstanden sind (GEHRT, 2013). Von der Küstenlinie hin zur Geest nimmt das Alter der Sedimente zu: Je nach Entwicklungszustand sind bereits Prozesse der Pedogenese, wie z. B. Entsalzung und Entkalkung abgelaufen. Während die Klei- und Kalkmarschen als nährstoffreiche Böden intensiven Ackerbau ermöglichen, werden die Knick- und Dwogmarschen der „Alten Geest“ hauptsächlich als extensives Grünland genutzt (vgl. SEEDORF& MEYER, 1992).

Während des frühen Mittelalters entstand entlang der Nordseeküste verbreitet die spezifische Siedlungsform der Wurten. In großen Gebieten der Marsch begann ab diesem Zeitpunkt die Entwicklung von der Natur- zur Kulturlandschaft. Während des 11. Jh. erfolgte unter Einfluss der Kirche die Ausdehnung von Weiden und Ackerland. Im 12. und 13. Jh. wurden die riesigen Feuchtgebiete schließlich planmäßig entwässert und in Acker- und Grünland überführt (BEHRE, 2008). Das für den Ackerbau bis dahin nicht nutzbare Sumpfland wurde in Form der mittelalterlichen Marschhufenbeete durch den Grabenaushub und die Aufwölbung von Beeten ackerfähig gemacht (SEEDORF&MEYER, 1996). Während im Bereich der übrigen Geest eine adlige Grundherrschaft vorlag, waren die Landwirte der Marsch persönlich frei und unabhängig. Die Städte Bremen und Hamburg wurden mit Agrarprodukten der Marschflächen versorgt (HAUPTMEYER, 2004).

### 3.3.2 Geest

Die weiträumigste Naturlandschaft Niedersachsens stellt die Geest dar. Es handelt sich hierbei um eine 100 bis 170 km breite Zone zwischen Küste und Bergland (AZIZI et al., 2010). Der Name bedeutet so viel wie „unfruchtbares Land“ und ist durch die Elster- und noch stärker durch die Saale-Eiszeit in mehreren Vorstößen überprägt worden. Dabei kam es zum Aufschütten von *Glazialen Serien*, die aus Grund- und Endmoränen, Sandern und Urstromtälern bestehen. Auf den Grundmoränenflächen findet gegenwärtig meist Ackerbau statt, während auf den Endmoränenzügen, die auch als „Hohe Geest“ bezeichnet werden, hauptsächlich Kiefern- und Buchenwälder auf sandigem und kiesigem Material vorherrschen. Die durch Eisschmelzwässer einst ausgebreiteten Sandflächen der Sander wurden vielerorts als Heideflächen genutzt und liegen heute in der Regel unter Wald. Entlang der einstigen Urstromtäler, wie Elbe, Aller und Unterweser kommen heute Wiesen, Weiden und Ackerflächen vor (SEEDORF&MEYER, 1992).

In der westlichen Geest herrschen in den Regionen mit hohen Jahresniederschlägen und hohem Sandanteil Podsole vor, während Richtung Osten mit steigendem Anteil an Schluff und niedrigeren Jahresniederschlägen die Braunerden zu nehmen. Zudem treten in den Niederungen verbreitet Gleye, Hoch- und Niedermoore auf (Azizi et al., 2010).

Während des Mittelalters kam es zur Ausweitung von Siedlungsgebieten, die das Erschließen von bis dahin ackerbaulich ungenutzten Flächen, wie z. B. Mooren, nach sich zog. Die Wüstungsphase (14. Jh.) ausgenommen, führte die Ausdehnung der Kulturflächen zur Überformung der natürlichen Vegetation. Die Landschaft der Geest wurde während des Mittelalters durch lichte Niederwälder und Buschwerk sowie ausgedehnten Heideflächen geformt. Die Walddegradation ging aus der Waldweidenutzung (Hudewälder) und der verbreiteten Plaggenwirtschaft hervor (POTT, 1999).

#### **3.3.3 Bördenvorland**

Die nach West-Ost verlaufende Lössgrenze trennt die Lössbörde (Bergvorlandregion) vom Bördenvorland (ECKL&RAISSI, 2009). Geringmächtige Sandlössdecken prägen diese Region, die Bodenformen und -gesellschaften ähneln den Sandlössgebieten des Altmoränengebiets der Geest. Aufgrund geringer Mächtigkeit äolischer Decken werden die Böden von den liegenden Gesteinen geprägt. Generell sind in diesem Gebiet grundwassernahe und -ferne Teillandschaften zu unterscheiden. Im Periglazialraum besteht zudem der Einfluss kryoturbater Prozesse. Das Boden-Spektrum des Bördenvorlandes ist sehr divers. Generell sind überwiegend Podsole, Pseudogleye, Braunerden und Subtypen zu finden, in den Niederungen liegen außerdem Gleye vor. Charakteristisch für diese Region ist der Übergang zu den Festgesteinsböden. Auf Kalk- und Mergelstandorten entstehen Rendzinen und Braunerden, teilweise Pelosole (Azizi et al., 2010). Die Böden aus Sandlöss über glazifluviatilen Sanden liegen meist als Parabraunerden vor (GEHRT, 1998a). Die Flächen des Bördenvorlandes wurden während des Mittelalters nach heutigem Forschungsstand (BK50) hauptsächlich als Wölbäcker genutzt.

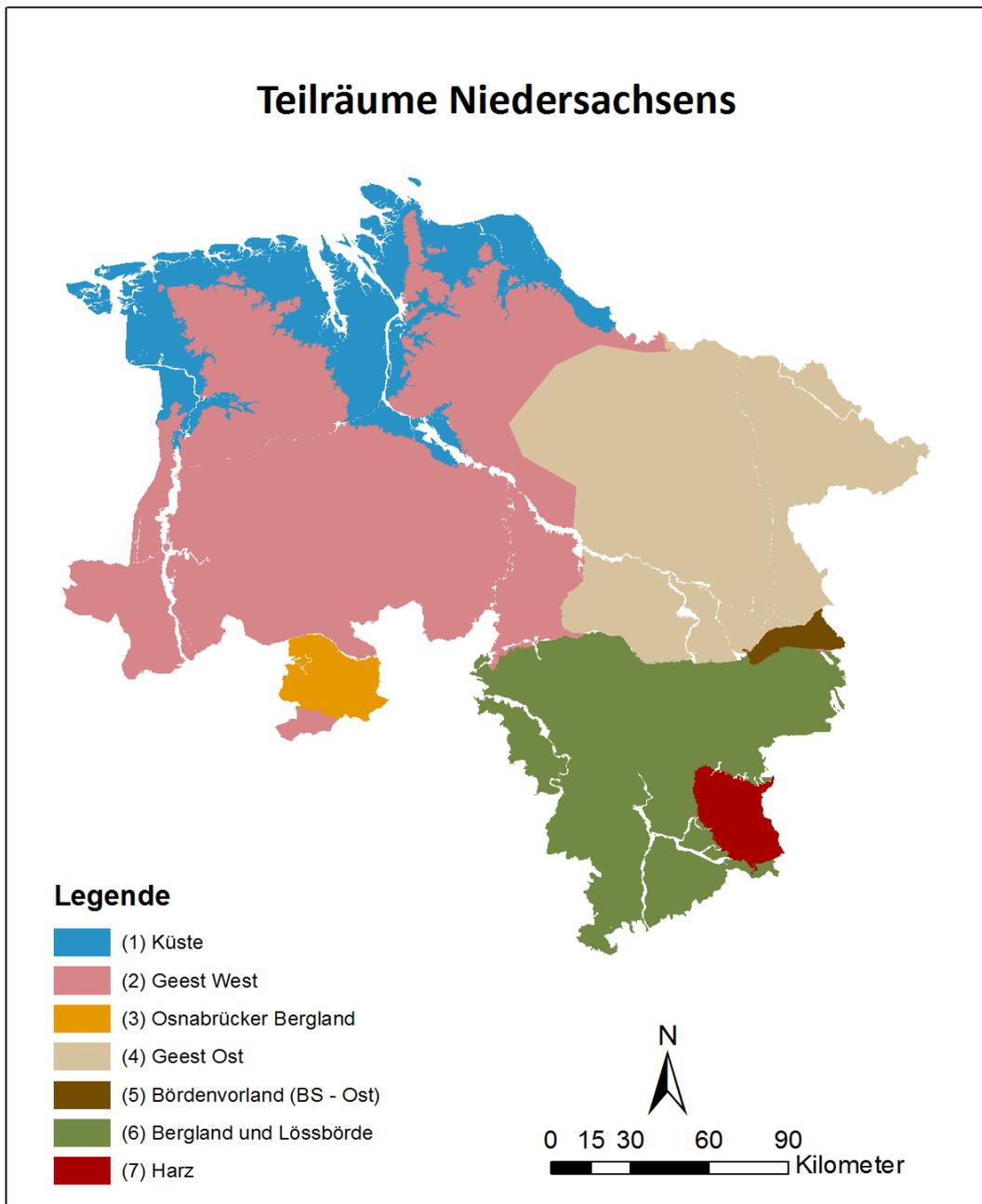
#### **3.3.4 Bergland und Lössbörde**

Die Lössbörde gehört zur komplexesten Bodenregion Niedersachsens und wird durch den kleinräumige Wechsel von flachliegenden Festgesteinen und Lössdecken bestimmt (Azizi et al., 2010). Die Bezeichnung „Börde“ geht auf die Wortbedeutung „bören“ = „tragen/ertragreich“ zurück. Die Böden der Lössbörde weisen eine sehr hohe natürliche Fruchtbarkeit auf. In dieser Region haben sich u. a. Schwarzerden, Parabraunerden und Pseudogleye mit hohem Ertragspotential auf den bis zu 3 m mächtigen Lössschichten entwickelt (GEHRT, 1998a). Das Gebiet wird ackerbaulich intensiv genutzt und eignet sich für den Anbau anspruchsvoller Feldfrüchte, wie z. B. Raps, Zuckerrübe und Weizen (SEEDORF&MEYER, 1992; AZIZI et al., 2010). Das Bergland im Süden Niedersachsens wird durch Höhenzüge mit flachgründigen Braunerden, Pararendzinen, Regosolen und Pelosolen, die für eine ackerbauliche Nutzung ungeeignet sind, gekennzeichnet (Azizi et al., 2010). Diese Flächen liegen nahezu ausnahmslos unter Wald.

Im Südwesten Niedersachsens überwog zur Zeit des Mittelalters die landwirtschaftliche Selbstversorgung, die Siedlungen lagen verstreut vor. Osnabrück galt, insbesondere aufgrund der Produktion von Leinen, als wichtiger Gewerbe- und Handelsort. Im Bergland Südniedersachsens konzentrierte sich der Handel besonders entlang des Leinetals, wobei die Größe der landwirtschaftlichen Flächen vergleichsweise klein war (HAUPTMEYER, 2004). Die nördlich von Osnabrück beginnende Lössbörde verbreitet sich über die Schaumburger, Callenburger und Hildesheimer Börde bis in das Gebiet um Salzgitter und Helmstedt bis diese schließlich in die Magdeburger Börde übergeht (SEEDORF&MEYER, 1996). Das Gebiet der Börde war bereits bis um 1500 eine dicht besiedelte Region mit großen Handelsstädten wie Goslar, Braunschweig oder Hildesheim (HAUPTMEYER, 2004).

### 3.3.4 Harz

An das Bergland schließt sich das nördlichste deutsche Mittelgebirge, der Harz, an. Das westliche Drittel dieser Region gehört zum Bundesland Niedersachsen. Die Entstehung des Harzes geht auf die variszische Orogenese zur Zeit des mittleren Paläozoikums zurück. Die Region gehört zur nordöstlichen Fortsetzung des Rheinischen Schiefergebirges. Beide sind Teil des Faltungs- und Überschiebungsgürtels des Rhenoherynikums (MESCHÉDE, 2015). Hauptsächlich liegen auf den vorwiegend paläozoischen Gesteinen Braunerden bis Podsole vor. In den Höhenlagen sind verbreitet Hochmoore zu finden (AZIZI et al., 2010). Begründet durch den Mittelgebirgscharakter mit steilen Reliefeinheiten wird der Harz für die Landwirtschaft als weniger bedeutende Fläche angesehen und in die Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche nicht mit einbezogen.



Karte 2: Teilräume Niedersachsens, basierend auf naturräumlichen sowie sozio-ökonomischen Faktoren.

### 3.4 Vorhersage zur Verbreitung der Wölbackerflächen

Bei der Vorhersage der potentiellen Wölbackerfläche wird die Hypothese angenommen, dass alle unbekanntes Altackerflächen zur Zeit des Mittelalters mithilfe des Streichbrettfluges bewirtschaftet wurden. Für eine landwirtschaftliche Nutzung muss ein Standort diverse Voraussetzungen erfüllen. Folglich können auf Grundlage der natürlichen Ausstattung eines Gebiets Rückschlüsse auf die Nutzung gezogen werden. Im Bundesland Niedersachsen liegen heterogene Regionen vor, die zu differenzierten Nutzungsweisen geführt haben. Neben der Erläuterung naturräumlicher sowie sozio-ökonomischer Unterschiede zwischen den Teilräumen Niedersachsens ist die Beschreibung des Einflusses von Standortbedingungen auf die landwirtschaftliche Nutzung daher Voraussetzung für die Vorhersage der historischen Wölbackerfläche.

#### 3.4.1 Einfluss von Standortbedingungen auf die landwirtschaftliche Nutzung

Boden dient der Landwirtschaft als fruchtbarer Lebensraum für Kulturpflanzen. Um optimale Bedingungen für das Pflanzenwachstum gewährleisten zu können, bestimmen die Eigenschaften von Böden die Bewirtschaftungsweise einer Region. Betrachtet man Böden als Pflanzenstandort, so sind folgende Faktoren bei der Bewirtschaftung zu beachten: (i) Durchwurzelbarkeit und Gründigkeit, (ii) Wasserversorgung (nutzbare Feldkapazität), (iii) Bodenluft und Sauerstoffversorgung, (iv) Bodenwärmehaushalt und Bodentemperatur, (v) Nährstoffversorgung (Haupt- und Spurennährelemente) (BLUME et al., 2010). Da sich die naturräumlichen Gegebenheiten seit dem Mittelalter nur wenig verändert haben, können über natürliche Standortfaktoren Aussagen bzw. Vorhersagen zur Verbreitung mittelalterlicher Wölbackerflächen getroffen werden.

##### 3.4.1.1 Gründigkeit

Für den Aufwuchs einer Pflanze bedarf es zum einen eine gute Durchwurzelbarkeit des Bodens. Sehr flachgründige Böden besitzen nur eine geringe Mächtigkeit des Mineralbodenhorizontes und gehen direkt in das anstehende Gestein über. Meist sind solche Grenzertragsböden auf Kuppen oder Steilhängen zu finden. Der wenig durchwurzelbare Bodenraum reicht in der Regel nicht für eine ackerbauliche Nutzung aus (vgl. FIEDLER, 2001). Darüber hinaus kann das Relief die Bearbeitung mit dem Pflug erschweren. Während des Mittelalters wurde eine erhöhte Mächtigkeit durch den Materialauftrag bei Wölbackern im Bereich der Kuppe erreicht, die zu einer besseren Durchwurzelbarkeit geführt hat.

##### 3.4.1.2 Hydrologie

Die Wasserversorgung der Pflanze geschieht über das im Wurzelraum verfügbare Wasser, dessen Menge von Klima, Relief und Bodeneigenschaften eines Standortes abhängt. Pflanzenverfügbares Bodenwasser liegt innerhalb des effektiven Wurzelraums ( $W_e$ ). Dieser Bereich zwischen Feldkapazität (FK) und permanentem Welkepunkt (PWP) wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet. Das Wasserhaltevermögen eines Bodens wird durch die Textur bestimmt: Je höher der Anteil an Mittelporen, desto größer ist die nutzbare Feldkapazität eines Bodens. *Lehm-* und *Schluffböden* zeichnen sich daher durch ei-

nen besonders hohen Anteil pflanzenverfügbaren Wassers ( $nFKW_e$ : 140 – 240 mm) aus. Flachgründige Standorte, wie Rendzinen und Ranker oder Böden mit hohem Anteil an Sand (z. B. Podsol) weisen in Trockenjahren häufig Wassermangel auf, während z. B. tiefgründige Braunerden auf Löss selten Wassermangel zeigen (BLUME et al., 2010). In der Literatur wird häufig genannt, dass der Wölbackerbau gerade auf stau- oder grundwasserbeeinflussten Flächen zum Einsatz kam, da Wasser durch die Furchen abfließen konnte und das Beet auf diese Weise entwässert wurde. Auf der anderen Seite konnte durch die höhere Mächtigkeit des Boden im Bereich der Kuppe ein schnelles Austrocknen während der Sommermonate verhindert werden (vgl. BARTUSSEK, 1982).

#### 3.4.1.3 Bodenluft

Die Bodenluft besteht als Mehrkomponenten-Gemisch hauptsächlich aus den Gasen:  $N_2$ ,  $O_2$  und  $CO_2$ . Je nach Intensität der bodenbiologischen Prozesse, dem Gasaustausch mit der Atmosphäre und dem Wassergehalt des Bodens unterliegt sie, abhängig von den klimatischen Veränderungen im Jahresverlauf, ständigen Schwankungen (FIEDLER, 2001). Für diverse physiologische Prozesse (z. B. Wasser- und Nährstoffaufnahme) wird Energie benötigt. Kulturpflanzen benötigen eine ausreichende Sauerstoffversorgung der Wurzeln, die u. a. für den Prozess der Respiration erforderlich ist. Die dafür benötigte Versorgung kann nur über eine ausreichende Wurzelatmung gewährleistet werden. Der Gasaustausch über Diffusion findet vor allem in den Grobporen statt. Daher besitzt die Bodenart *Sand* auf grundwasserfreien Standorten die höchste Luftkapazität (LK) bei gleichzeitig niedriger  $nFK$  (BLUME et al., 2010). Die Luftkapazität eines Boden kann allerdings nicht nur durch die Textur, das Gefüge oder den Wassergehalt, sondern auch anthropogen beeinflusst werden. Durch Bodenverdichtung kommt es bspw. zu einer Einschränkung des Bodengasaustausches und zu einer verminderten Wurzelatmung (RIEK, 2015). Entwässerungsmaßnahmen im Zuge des Wölbackerbaus haben vermutlich zu einer erhöhten Durchlüftung der Böden im Bereich der gewölbten Beete geführt.

#### 3.4.1.4 Bodenwärme

Bodenwärme ist ein wichtiger Wachstumsfaktor für das Wurzelsystem der Kulturpflanze. Darüber hinaus spielt die Bodentemperatur eine wichtige Rolle für das Edaphon und die Geschwindigkeit chemischer Umsetzungsprozesse im Boden (BLUME et al., 2010). Die Erwärmung des Bodens erfolgt durch die Absorption von Sonnenenergie. Temperaturschwankungen der Umgebungsluft wirken sich mit zunehmender Tiefe weniger stark auf den Boden aus. Der Einfluss von Jahres- und Tagesschwankungen der Lufttemperatur wird besonders innerhalb der ersten 10 cm deutlich (vgl. UNIVERSITÄT MÜNSTER, 2017). Generell erwärmen sich staunasse, tonige Böden sehr viel langsamer als trockene Sandstandorte, halten aber die Wärme im Herbst länger (BLUME et al., 2010). Grund dafür ist die geringe Wärmeleitfähigkeit des trockenen Bodens mit hohem Anteil an Bodenluft, die abhängig von der Menge an Bodenwasser erhöht werden kann (UNIVERSITÄT MÜNSTER, 2017). Dadurch liegt je nach Standort ein unterschiedlicher Vegetationsbeginn vor. Im gemäßigten Klima Mitteleuropas kann es zu starken Frösten kommen, die je nach Frostre-

sistenz der Pflanze den Bestand gefährden können (z. B. Winter-Weizen:  $-20^{\circ}\text{C}$ ) (BLUME et al., 2010). In Niedersachsen liegen unterschiedliche klimatische Bedingungen vor (Kap. 3.3). Bei Wölbäckern ist generell zu erwarten, dass der Boden im gewölbten Ackerbeet sich langsam erwärmt, da durch die erhöhte Gründigkeit mehr Wasser im Boden gehalten werden kann. Abhängig von der Bodentextur muss dieser Aspekt im Gelände standortspezifisch betrachtet werden.

#### 3.4.1.5 Nährstoffversorgung

Um organische Substanz aufbauen zu können, benötigt jede Pflanze essentielle Elemente, die als Mineralstoffe bezeichnet werden, da sie aus dem Mineralbestand eines Bodens stammen. Der Großteil der Pflanzennährstoffe liegt in den mitteleuropäischen Böden nativ vor. Nährelemente können leicht, mäßig und schwer mobilisierbar vorliegen und nur ein kleiner Teil davon ist in der Bodenlösung direkt pflanzenverfügbar. Aufgrund negativer Oberflächenladung im Boden findet ein Austausch von Kationen statt. Die Hauptkationen sind:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^{+}$ . Die gesamte Ladungsmenge, die in einem Boden in austauschbarer Form adsorbiert werden kann, wird als Kationenaustauschkapazität (KAK) bezeichnet. Die potentielle Kationenaustauschkapazität ( $\text{KAK}_{\text{pot}}$ ) eines Bodens hängt im Wesentlichen vom Ton- und Humusgehalt ab. Daraus ergeben sich in Abhängigkeit der Bodenart, bei Annahme von 2 % bis 3 % Humus, folgende Kationenaustauschkapazitäten: Sand:  $5\text{-}10\text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ , sandige Lehme bis tonige Schluffe:  $10\text{-}25\text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ , tonige Lehme bis Tone:  $20\text{-}50\text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  (BLUME et al., 2010).

Möglichkeiten für eine künstliche Versorgung der Getreidepflanzen mit Nährstoffen bestanden während des Mittelalters kaum. Die zunehmende Nutzungsintensivierung der Flächen erforderte gleichzeitig einen Ausgleich für die, über das Erntegut bzw. die Viehversorgung entzogenen, Nährstoffe. Hierfür stand in der Regel nur Stallmist zur Verfügung, der mengenmäßig jedoch begrenzt war. Eine Verbesserung des Standortes wurde zum Teil mithilfe einer Nährstoffkonzentrationswirtschaft (z. B. Plaggenesch und Wölbäcker) oder durch eine angepasste Fruchtfolge erzielt. Ab dem 13. Jh. fand außerdem die Technik des *Mergelns* verstärkte Anwendung: Ein Kalk-Ton-Gemisch, welches die Versauerung des Bodens mindern und die Nährstoffverfügbarkeit erhöhen sollte, wurde auf den Ackerflächen ausgebracht (FISCHER&RÖSCH, 2009 aus BRAKENSIEK et al., 2016). Im Laufe des 14. Jh. setzte schließlich vermehrt die Düngung mit Stroh und Exkrementen (Mist) ein, da durch den Einsatz der Sense zunehmend Stroh anfiel (COMET, 1992; SCHREG, 2009 aus BRAKENSIEK et al., 2016). Erst im 19. Jh. begann die Forschung zur mineralischen Düngung durch Justus von Liebig. Bei gleichzeitiger Steigerung der Effizienz von Düngemitteln begann eine verbesserte Pflanzenzucht und führte im frühen 20. Jh. zu weitreichenden Veränderungen der europäischen Landwirtschaft (RÖSENER, 2014). Bis zu diesem Zeitpunkt waren die Landwirte stärker als gegenwärtig auf die natürliche Bodenfruchtbarkeit eines Standortes angewiesen.

### 3.4.2 Datengrundlage und Quellenkritik

Um naturräumliche sowie sozio-ökonomische Faktoren bei der Vorhersage zur Verbreitung ehemaliger Wölbackerfluren miteinzubeziehen, liegen verschiedene Daten vor. Das Kartenmaterial wird im Folgenden kurz beschrieben. Des Weiteren werden die Grenzen der vorliegenden Informationen für die Verwendung zur Berechnung historischer Wölbackerflächen aufgezeigt.

#### 3.4.2.1 BK50 – Bodenkarte 1 : 50 000

Die BK50 wird auf Grundlage landesweit verfügbarer bodenkundlicher Informationen erstellt. Sie dient zu einem umfassenden Überblick über die Bodenverhältnisse in Niedersachsen und als Grundlage für Bodenkarten kleinerer Maßstäbe. Darüber hinaus liefern die Daten Hinweise für die kommunale Raumordnungsplanung, die Bodennutzung und den Bodenschutz. Die BK50 besteht aus mehreren Konzeptkarten, die wie folgt zusammengestellt sind:

- *GK50GENE* - „Generalisierte geologische Karte 1 : 50.000“ (*GK50* - bodenkundlich relevante Einheiten)
- *ANTHRO50* - „Anthropogene Überprägungen“ (*BS*, *Forstl. Standortskarte*, *ATKIS*, *GK50*, *BÜK50*)
- *RK50* - „Reliefkarte 1 : 50.000“ (*Rasterdaten der GMK50*, *DGM50*)
- *AUE50* - *Auenlehme und Abschlammungen* (*BÜK50*, *ATKIS-Daten*, *GK50*)
- *GK\_RK50* - *GK50-RK5* (*Differenzkarte*, *Auszug aus GK50 u. RK50*, *ATKIS-Daten*)
- *BOAHTYP50* - „Bodenartenhaupttyp“ (*Grablochbeschrieben der Bodenschätzung u. Standortskennziffern der forstl. Standortskartierung*)
- *SAND* - *Festlegung der Sandregionen*
- *BR\_BGL50* - „Pedoregionale Gliederung“ - *Bodenregionen, Bodengroßlandschaften, Bodenlandschaften (GK50 unter Berücksichtigung der BÜK50)*
- *ESCH50* - „Eschverdächtige Flächen“ - *Plaggeneschverbreitung (Bodenschätzung, Standortskennziffern der forstl. Standortskartierung, BÜK50, BK25)*
- *SCHWARZ50* - *Schwarzerden (Bodenschätzung, Standortskennziffern der forstl. Standortskartierung, BÜK50, BK25)*
- *PODSOL50* - „Podsolverdächtige Flächen“ (*Bodenschätzung, Standortskennziffern der forstl. Standortskartierung, BÜK50, BK25*)
- *HYDRO50* - „Hydromorphe Flächen“ (*Bodenschätzung, Standortskennziffern der forstl. Standortskartierung, BÜK50, BK25*)

Über die BK50 werden auf Grundlage bodenkundlicher und geologischer Faktoren Kategorien definiert, die als historische Wölbackerflächen ausgeschlossen werden können. Dazu werden die einzelnen Konzeptkarten betrachtet. Einige Flächen, die bereits über die BK50 bekannte Altackerfläche definiert sind, werden nicht als Ausschlussfläche, sondern als bereits nachgewiesene Altackerfläche beschrieben (Tab. 5). Bei der Kategorie *Sandlöss* wird eine mittelalterliche Nutzung als Acker nicht ausgeschlossen. Diese Kategorie wird im weiteren Verlauf der Arbeit erläutert und ihre Bedeutung als mögliche Altackerfläche über die Bodenschätzung validiert (Kap. 3.4.3). Einige Beispiele zur Definition der Zielkategorien unter Berücksichtigung der aller einzelnen Konzeptkarten ist Tabelle 6 zu entnehmen.

### 3 Methodik

Tabelle 5: Ausgewählte Kategorien auf Grundlage der BK50 zur Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche.

Kategorie	Beschreibung	Potentielle Altackerfläche?
<b>Anthropogen</b>	Anthropogen beeinflusst, Strukturen nicht erkennbar	Ausschluss
<b>Dünen</b>	Äolische Akkumulation an der Küste, starke Veränderungen treten aufgrund der Meeresnähe innerhalb kurzer Zeit auf	Ausschluss
<b>Esche</b>	Plaggenwirtschaft	Potentielle Altackerfläche
<b>Flache Kalkstandorte</b> <b>Flache Sandsteinstandorte</b>	flächgründige Standorte auf kalkhaltigem Material, meist unter Wald Rendzinen, Ranker	Ausschluss
<b>Flussauen</b>	Aus Sedimenten der Auen, periodische Überflutung, starke Grundwasserschwankung	Ausschluss
<b>Harz</b>	wird nicht betrachtet	Ausschluss
<b>Küstenholozän</b> <b>Marschhufen</b>	An der Küste verbreitet Marschhufenbeete, keine Wölbackerbor- kommen bekannt	Ausschluss
<b>Kolluvium</b> <b>Schwarzerde-Kolluvium</b> <b>Tal-Kolluvium</b> <b>Hang-Kolluvium</b>	Ansammlung von umgelagertem Bodenmaterial z. B. durch Wald- rodung am Hang, besonders im Bergland (Bereich des Hangfußes, in Senken), damalige Wölbackernutzung nicht auszuschließen Klasse Y (anthropogene Böden)	Ausschluss
<b>Moore</b> <b>Moorgley</b>	Moorbrandkultur (bes. 16. Jh), Torfabbau (bes. ab 18. Jh.), Meliora- tionsmaßnahmen, Entwässerung (ursprüngliche Horizontabfolge nicht mehr nachvollziehbar), teils noch ursprünglich erhalten	Ausschluss
<b>Moortrepsol</b> <b>Trepsol</b>	Tiefenumbruch, starke Umwandlung, ursprüngliche Horizontabfol- ge nicht mehr nachvollziehbar Klasse Y (anthropogene Böden)	Ausschluss
<b>Mudde</b>	interglazial entstandene limnische Sedimente mit hohem Anteil org. Materials, Entwicklungsstufe zum topogenen Moor	Ausschluss
<b>Pseudogley-Niederung</b>	Talniederung, In Niederungen liegende stauwasserfeuchte Böden, eher als Grünland nutzbar	Ausschluss
<b>Sandlöss</b>	äolische Decksedimente; auf entkalktem Sandlöss entstehen i.d.R. tiefgründige Lessivés, die ackerbaulich genutzt werden können	Potentielle Altackerfläche
<b>Schwarzerde</b>	sind möglicherweise als Wölbacker bewirtschaftet wurden, aber heute nicht mehr als solche aufgrund der mächtigen humosen Horizonte und der Einebnung zu erfassen, Reliktböden	Ausschluss
<b>Steilhänge</b>	Hänge der Neigungsstufe > 4 Ackerbau in Form von Ackerterrassen möglich, die hier aber nicht betrachtet werden	Ausschluss
<b>Talniederung</b> <b>Talsandniederung (Geest)</b>	Talraum eines Bachlaufs, junge Schwemmlandböden; häufig mit Bruchwäldern, Röhrichten und Feuchtwiesen bedeckt	Ausschluss
<b>Wasser</b>	Wasserflächen in Niedersachsen	Ausschluss
<b>Wölbacker</b>	bekannte Wölbackerflächen	Potentielle Altackerfläche

### 3 Methodik

Tabelle 6: Beispiele aus dem BK50-Datensatz zur Festlegung der Zielkategorien.

KATEGORIE	Tal-Kolluvium	Moore	Esche	Dünen	Steilhänge	Schwarzerde
BR	3	3	3	3	3	4
BGL	8	-1	8	8	8	9
BL	12	4	10	9	9	12
GK50_	z/gf	Hh/f(qw)	yp/Sa(qw)/gf/Lg-Mg	Sa(qh)/gf	gf	Los/gf
SAND	ms	fs	ms	ms	ms	ms
ANTHRO50	-	-	-	-	-	-
RK50	T	1	1	1	4	1
ESCH_	-	-	-	-	-	x
AUE50	-	-	-	-	-	-
BOAHTYP50	-	-	-	-	-	-
MOORMAE	-	5	-	-	-	-
PODSOL50	-	-	pp	pp	p	-
HYDRO50	g	-	-	-	-	g
SONST	-	-	-	-	-	-
NRBEGL	1	1	1	1	1	1
GEOTYP	z-f//gf	Hh_f(qw)	yp//Sa(qw)=gf	Sa(qh)//gf	Sp//gf	Los=gf
GEOHTYP	z-f/gf	Hh/f	yp/Sa/gf	Sa/gf	Sp/gf	Los/gf
BOTYP	K3//G	HHv5	E3//P	B-P2	P-B3	G-T3
BOTYP50	K//G	HHv	E//P	B-P	P-B	G-T
BOTYP	K	HH	E	P	B	G-T

#### 3.4.2.2 GMK25 - Geomorphographische Karte 1 : 25 000

Lineare sowie lokale, komplexe und kombinierte morphometrische Reliefparameter werden durch das NIBIS dokumentiert und zusammengeführt, sodass sich im Zusammenschluss eine geomorphographische Karte ergibt (Abb. 34; KÖTHE, 2017). Je nach Relief können potentielle Ackerstandorte und Ausschlussflächen definiert werden.



Abbildung 34: Ausschnitt aus der geomorphographischen Karte Niedersachsens (KÖTHE, 2017).

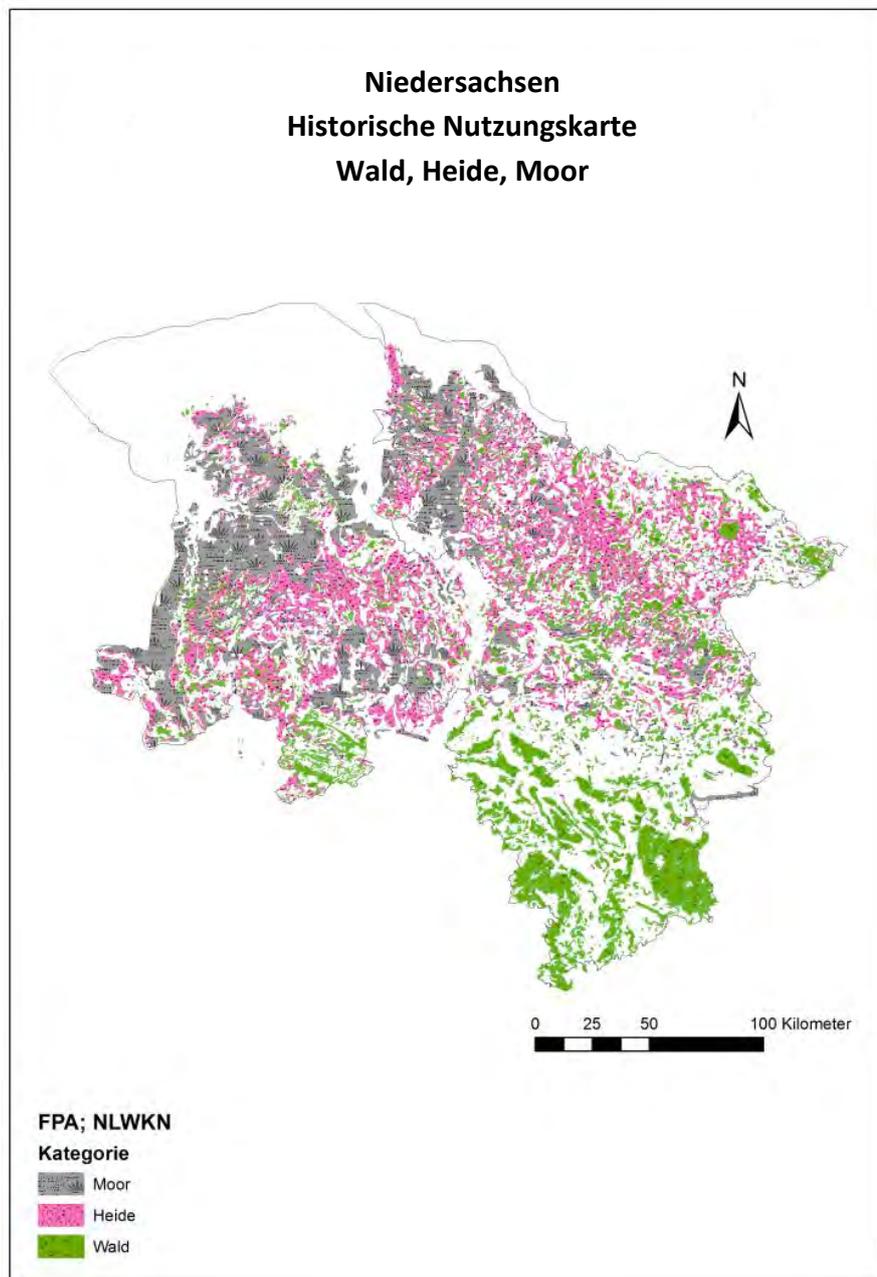
Alle flächenhaften Senkenbereiche werden in dieser Arbeit als potentielle Ackerfläche festgelegt. Bei Hängen, Scheitelbereichen und Verflachungen sind alle Flächen bis zu einer Neigungsstufe von 3 potentielle Ackerstandorte. Steilere Flächen ( $> 3$ ) werden als Ausschluss festgelegt. Sehr tiefe Senkenbereiche werden aufgrund der Nässe als Altacker ausgeschlossen. Insgesamt liegen nach der geomorphographischen Karte 15 verschiedene Kategorien vor, die nach Ausschluss- und Altackerflächen unterschieden werden (Tab. 7).

Tabelle 7: Ausschlussflächen für Wölbäcker nach Relief (GMK25).

Legende (GMK 1 : 25 000)	Potentielle Ackerfläche ?
Senkenbereiche mit Scheitelbereichsindex $< 1.5$	Potentielle Ackerfläche
Senkenbereiche mit Scheitelbereichsindex $\geq 1.5$	Potentielle Ackerfläche
Hänge und Verflachungen, Neigungsstufe 0 und 1	Potentielle Ackerfläche
Hänge und Verflachungen, Neigungsstufe 2 und 3	Potentielle Ackerfläche
Hänge und Verflachungen, Neigungsstufe 4	Ausschluss
Hänge und Verflachungen, Neigungsstufe 5 und 6	Ausschluss
Flächenhafte Scheitelbereiche, Neigungsstufe 0 und 1	Potentielle Ackerfläche
Flächenhafte Scheitelbereiche, Neigungsstufe 2 und 3	Potentielle Ackerfläche
$< 90$ Grad Längsgefälle der Tiefenlinie	Potentielle Ackerfläche
$< 5.0$ Grad Längsgefälle der Tiefenlinie	Potentielle Ackerfläche
tief liegende Senkenbereiche mit großem Einzugsgebiet	Ausschluss
Gratartige Scheitelbereiche, Neigungsstufe 0 und 1	Potentielle Ackerfläche
Gratartige Scheitelbereiche, Neigungsstufe 2 und 3	Potentielle Ackerfläche
meist in 1040 eingebettete Senkenbereiche mit mittlerem oder kleinem Einzugsgebiet	Ausschluss
meist in 1020 eingebettete, sehr tief liegende Senkenbereiche mit großem Einzugsgebiet	Ausschluss

#### 3.4.2.3 NLWKN und FPA - Historische Nutzungskarten

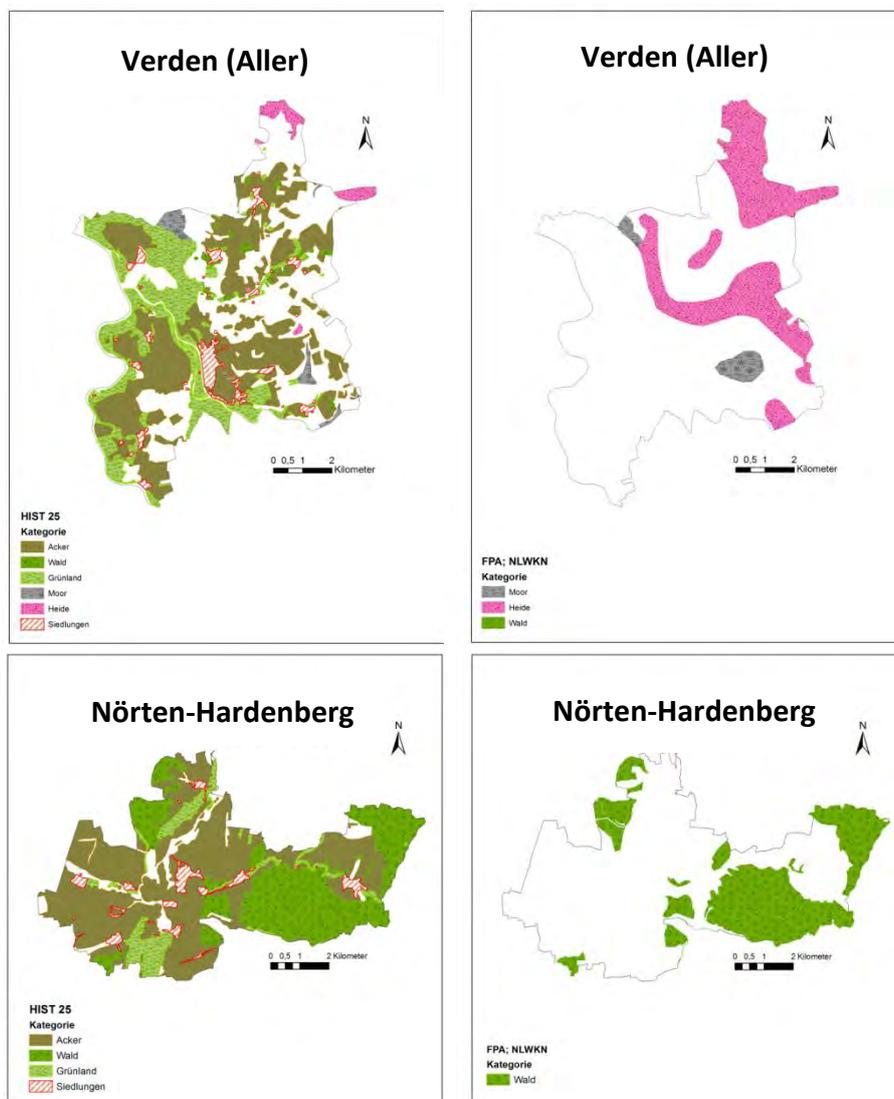
Die Karte vom Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) zeigt die historische Nutzung um 1800 und ist in die Kategorien Moor und Heide unterteilt. Bei der Betrachtung des gesamten niedersächsischen Raumes bleibt der Bereich der Küste außen vor. Im Bereich des Berglandes (Osnabrücker Bergland eingeschlossen) zeigt sich, dass Waldflächen dominieren. Die westliche Geest weist einen hohen Anteil an Moor auf, in der östlichen Geest überwiegen die Heideflächen (Karte 3). Für die Darstellung der Waldflächen besteht die Möglichkeit die Daten des Forstplanungsamtes(FPA) zu nutzen. Die Kategorie *Wald* der NLWKN-Karte wird daher durch die Waldflächen des FPA substituiert. Die Überprüfung beider Datengrundlagen erfolgt über die Historische Nutzungskarte (HIST25) anhand zweier Beispielgemeinden.



Karte 3: Historische Nutzungskarte von Niedersachsen mit den Kategorien: Moor, Heide, Wald nach NLWKN und FPA (um 1800).

### 3 Methodik

Um die Genauigkeit der Flächenangaben zur überprüfen, werden die zwei Beispielgemeinden Verden (Aller) im Tiefland und Nörten-Hardenberg (Bergland) selektiert. Die historische Nutzung, nach der NLWKN-Karte und den Daten des Forstplanungsamtes, wird mit der Historischen Nutzungskarte (HIST25) des NIBIS verglichen (Karte 4). In der Beispielgemeinde Verden (Aller) ist die Validierung der NLWKN-Karte durch eine Komparation mit der HIST25 möglich. Die in diesem Gebiet nahezu flächendeckende HIST25 gibt die historische Nutzung detailliert wieder, wohingegen die Kategorien der NLWKN-Karte, Heide und Moor, stark generalisiert und nicht lagegetreu dargestellt sind. Im Bergland (Beispielgemeinde Nörten-Hardenberg) liegen weder Moor, noch Heideflächen vor, so dass die Daten des Forstplanungsamtes überprüft werden können. Der Vergleich zwischen der Karte des FPA und der HIST25 zeigt, dass die Waldflächen einander exakt entsprechen und die Kategorie *Historisch alte Waldstandorte* um 1800 für ganz Niedersachsen verifiziert werden kann.



Karte 4: 2 Beispielgemeinden. Verden (Aller) im Tiefland, Nörten-Hardenberg im Bergland.  
Links: Historische Karte 1 : 25 000, rechts: Historische Nutzungskarte (NLWKN und FPA).

### 3.4.3 Datengrundlage zur Validierung

Die Datengrundlage zur Darstellung ehemaliger Wölbackerflächen kann über zwei Quellen überprüft werden: Zum einen über die HIST25, zum andern über die BS. Die Historische Karte (HIST25) kann für Teilgebiete Niedersachsens in Form von einzelnen Kartenblättern ehemalige Ackerflächen ausweisen. Diese Altackerflächen beinhalten allerdings nicht die differenzierte Nutzung innerhalb der ackerbaulichen Bewirtschaftung. So sind hierbei ehemalige Eschflächen und Wölbackerflächen unter der Kategorie Altacker zusammengefasst.

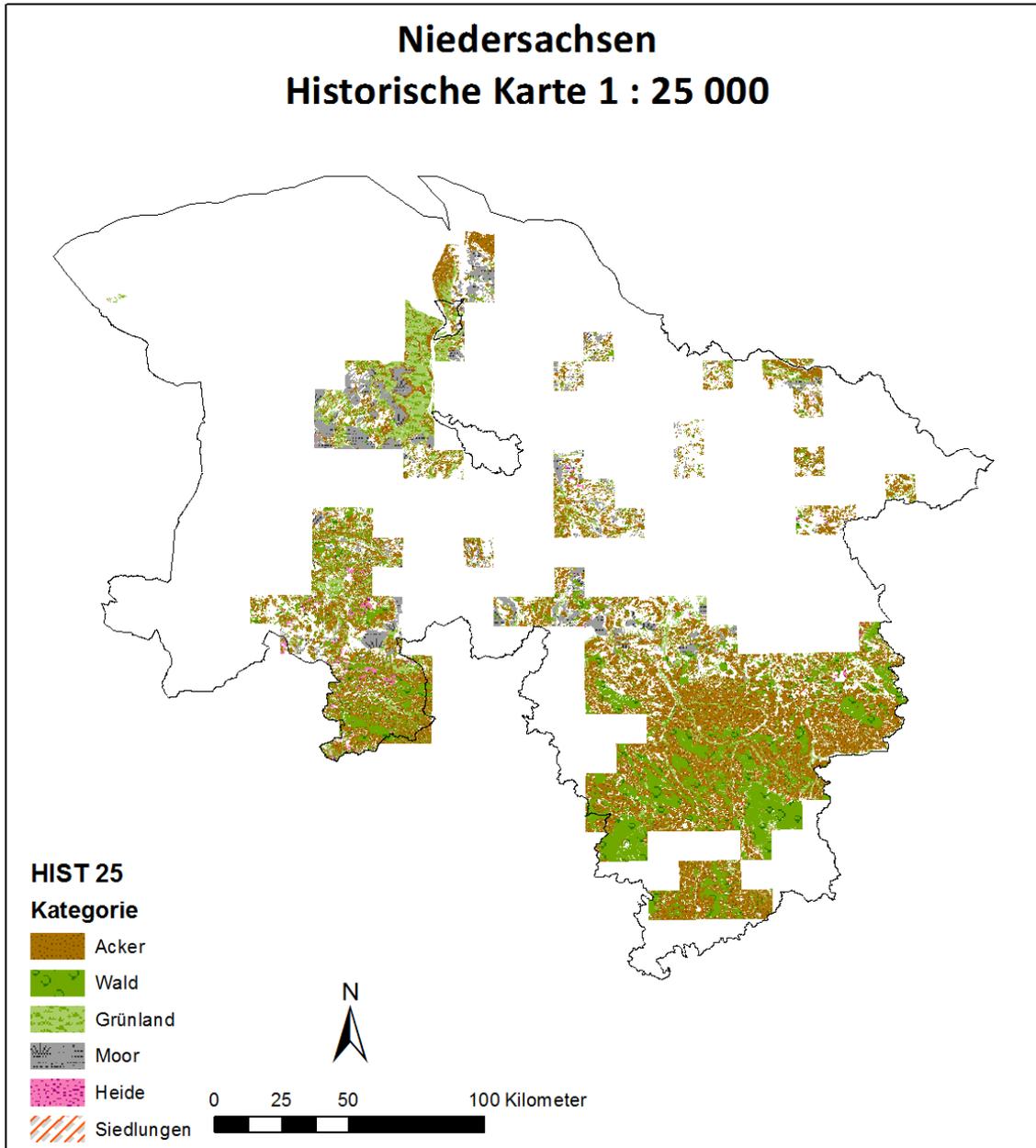
Die Bodenschätzung (BS) liefert Hinweise auf Flächen mit zweitem humosem Horizont. Diese können neben der Entwicklung durch Wölbackerbau auch anderer Genese sein. Deshalb wird bei der Bodenschätzung lediglich die potentielle Altackerfläche überprüft, die bisher nicht als Esch- oder Wölbacker bekannt ist. Für den Fall, dass eine Fläche als ehemalige Wölbackerflur ausgewiesen wird, dient die Bodenschätzung zur Überprüfung dieser Annahme. Flächen ohne zweiten humosen Horizont geben einen möglichen Hinweis auf eine andere Nutzung, die im Rahmen dieser Arbeit nicht näher untersucht wird.

#### 3.4.3.1 HIST25 - Historische Karte 1 : 25 000

Die Historische Karte (HIST25) wird vom NIBIS bereitgestellt und zeigt den Zustand vor und zu Beginn großer Kultivierungsmaßnahmen des 20. Jh. Hierzu wurden topographische Kartenwerke (18.-20. Jh.) durch das LBEG ausgewertet und an die aktuellen Topographien angepasst. Zur Darstellung wurden im Rahmen dieser Arbeit die ursprünglichen Kategorien (Tab. 8) generalisiert und auf folgende zusammengefasst: (i) Acker, (ii) Wald, (iii) Wiese und Weide, (iv) Moor, (v) Heide, (vi) Sonstiges. Die HIST25 liegt nur ausschnittsweise für Teilgebiete Niedersachsens vor (Karte 5). Sie dient zur Validierung der berechneten Landnutzung. Hierzu werden vorhandene Nachweise ehemaliger Nutzung erfasst und mit der Landesfläche in das Verhältnis gesetzt. Die prozentuale Altackerfläche, die sich mithilfe der HIST25 hochrechnen lässt, wird von der errechneten potentiellen Altackerfläche subtrahiert.

**Tabelle 8: Ursprüngliche Kategorien der HIST25.**

Kategorien		
Garten, Siedlung	Wald (unbekannt)	Ödland
Park	Busch („Kohlgarten“)	Nicht identifizierbar
Wüstung	Allee	Nicht kartierbar
Acker	Moor	Laubbäume
Hopfen	Weide	Gebüsch, klein
Plantage	Nasse Wiese	Wege, Steinbruch
Wiese	Schilf	Bruch
Acker, Trift, Koppelhude	Meer	Heide
Bruch	Sand	Sand, Dünen
Heide	Wasserflächen	Torfstich
Nadelwald	Marschland	Nasser Boden
Laubwald	Sumpf	Sonstiges
Bruch, Weide, Kleiner Busch	Felsen, Hald	



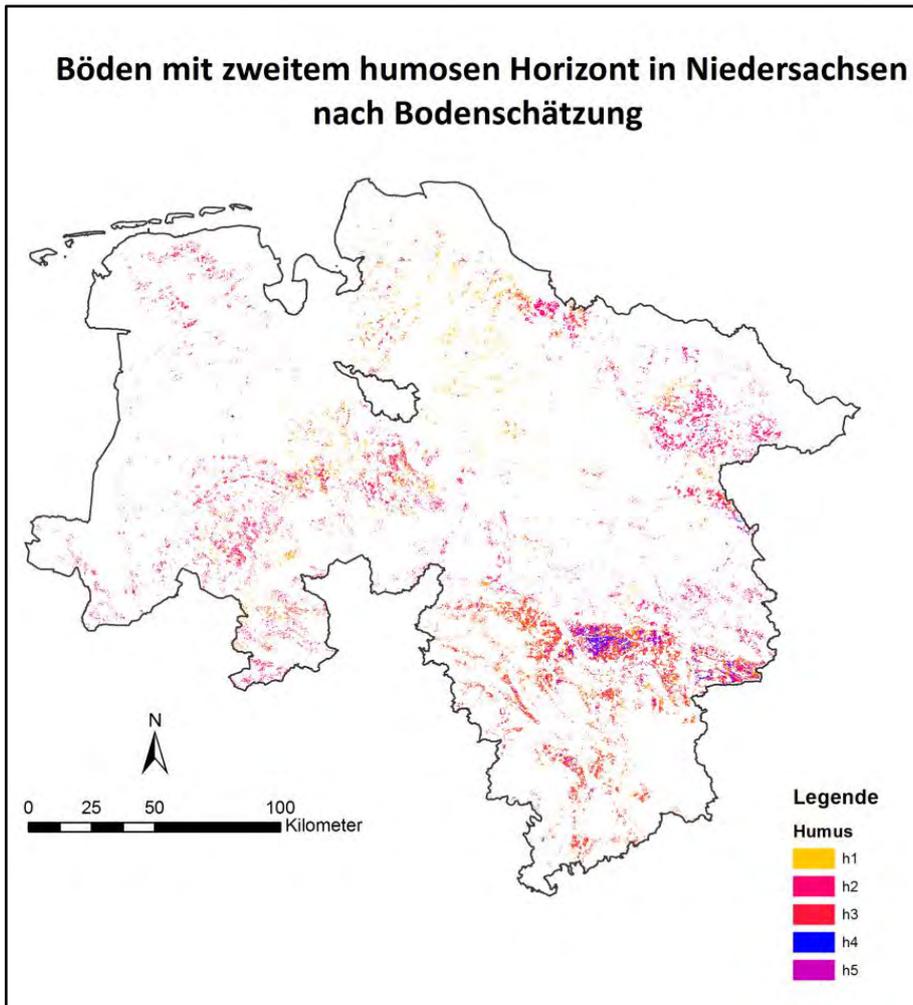
Karte 5: Historische Karte von Niedersachsen im Maßstab 1 : 25 000.

#### 3.4.3.2 BS - Bodenschätzung 1 : 5 000

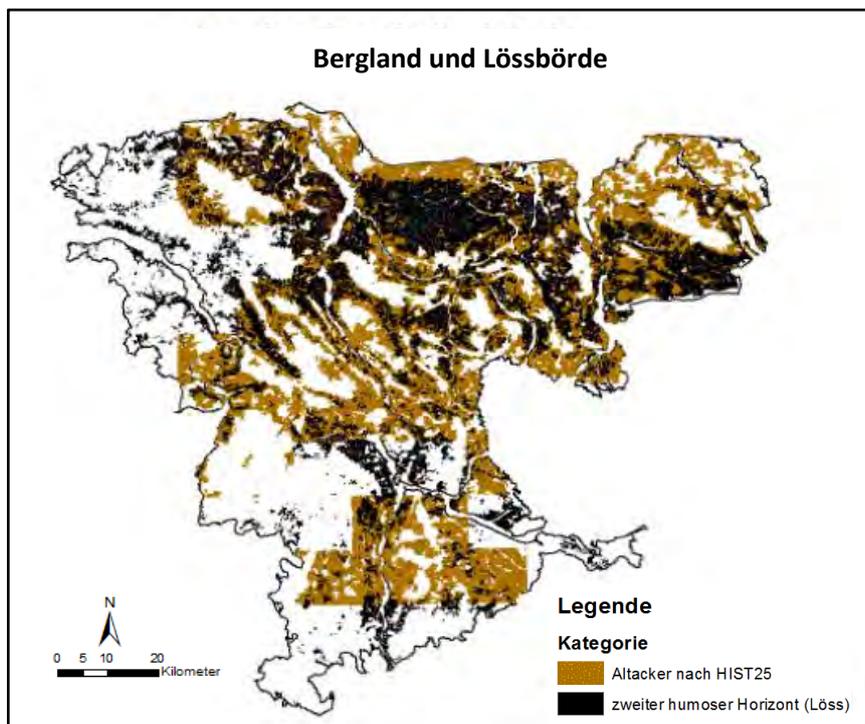
Die Bodenschätzung geht auf das Gesetz zur Schätzung des Kulturbodens aus dem Jahr 1934 zurück. Die Gründe waren zum einen eine gerechte Besteuerungsgrundlage zu schaffen und zum anderen eine bodenkundliche Grundinventur durchzuführen. Die Bestandsaufnahme besteht aus der Abgrenzung gleicher Bodenareale und der inhaltlichen Beschreibung flächentypischer Grablochdokumentationen. Das Katasteramt war dabei für die inhaltliche Klassifizierung und Bewertung zuständig (NIBIS, 2017).

Bei aktuellen Fragestellungen gibt die Bodenschätzung einen Überblick in Hinblick auf Profilaufbau, Bodenentwicklung und Wasserhaushalt. Die aktuelle Profildarstellung basiert auf einer Übersetzung der Bodenschätzungsdaten in die Nomenklatur der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4). Die Einschätzung der Flächen umfasst die Bodenklasse/Bodenbeschaffenheit (z. B. L2Lo) und die Bodenwertzahl/Grünlandgrundzahl (z. B. 89) sowie die Ackerzahl/Grünlandzahl (z. B. 93). Dargestellte Eigenschaften des Profils umfassen: (i) Bodenart, (ii) Humusgehalt, (iii) Grobbodenanteil, (iv) Geologie, (v) Kalkgehalt (NIBIS, 2017). Der Ackerschätzungsrahmen ermöglicht die Bewertung eines Bodens nach Reinertragsverhältniszahlen (7 bis 100), basierend auf neun Bodenarten, vier Entstehungsarten und sieben Zustandsstufen der Bodenschätzung. Die Zustandsstufe beinhaltet die Beschreibung von Humus- und Carbonatgehalt, Krümen- und Profiltiefe sowie Bodengefüge und Horizontgliederung. Daraus konnten u. a. Böden ausgewiesen werden, die nach der Bodenschätzung einen zweiten humosen Horizont (in a. 30-60 cm Tiefe) aufweisen (Karte 6; AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005).

Bei der Berechnung der Flächen wird in Sandlöss und Löss unterteilt, da bei Löss auch die natürliche Genese tief humoser Böden, wie bspw. die Entwicklung eines Tschernosems, betrachtet werden muss. In diesem Fall kann von der Fläche tief humoser Böden nicht zwangsläufig auf einen ehemaligen Wölbacker geschlossen werden. Aus diesem Grund wird nur die Fläche betrachtet, die nach GMK25 und BK50 keine definierte Ausschlussfläche ist. Durch die Angabe der potentiellen Altackerfläche, abzüglich der bekannten Flächen (Ausschlussflächen, wie z. B. Schwarzerden, Marschhufenbeete, etc. sowie Esch- und Wölbackerflächen), können jene Flächen ermittelt werden, die einen zweiten humosen Horizont aufweisen und bisher nicht als Kolluvium oder Schwarzerde ausgewiesen sind. Diese Flächendifferenz zwischen unbekannter Altackerfläche (nach HIST25) und unbekannter Altackerfläche mit zweitem humosem Horizont ergibt die potentielle Wölbackerfläche, die bisher noch nicht als solche erfasst wurde. Da es sich bei der berechneten Altackerfläche nach HIST25 um eine Hochrechnung handelt und diese nicht als raumbezogene Daten vorliegt, kann die Verschneidung mit der Bodenschätzung keine sicheren Ergebnisse liefern. Die Abwägung der nicht erklärten Altackerfläche mit tief humosen Böden kann daher nur argumentativ erfolgen. Das Problem der Verschneidung wird in Karte 7 dargestellt. Bei dem Beispiel *Bergland und Lössbörde* überdecken die Flächen der Bodenschätzung die Flächen der HIST25-Kartenblätter.



Karte 6: Böden mit zweitem humosem Horizont nach Bodenschätzung. (BS 1 : 5 000).



Karte 7: Beispiel zur Darstellung von HIST25 und BS, Bergland und Lössböden.

### 3.4.4 Fazit zur Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche

Wie in Karte 4 dargestellt, stimmt die Nutzungskarte des NLWKN nicht mit der HIST25 überein. Die stark generalisierte Karte überdeckt die detaillierte Nutzungsinformation und eignet sich daher nicht zur Darstellung bzw. Berechnung einer ehemaligen Wölbackerfläche. Die Waldflächen des Forstplanungsamtes sowie die naturräumlichen Gegebenheiten, die über die Reliefkarte (GMK25) und BK50 definiert werden, eignen sich zur weiteren Berechnung der Flächen. Die HIST25 dient als Basis für die Hochrechnung einer Altackerfläche. Die Aussagekraft dieser Berechnung hängt dabei von der Kartenblattanzahl pro Gebiet ab. Im Osnabrücker Bergland, dem Bördenvorland und dem Bergland und Lössbörde liegt diese weitgehend vor. Im Bereich der Geest bestehen große Unsicherheiten bei der Hochrechnung. Die Bodenschätzung dient nicht als Grundlage zur exakten Berechnung von Daten, da die HIST25 und die BS nicht kongruent vorliegen. Der prozentuale Anteil tief humoser Flächen pro Region gibt jedoch einen Überblick über Standorte potentieller Wölbackerflächen und wird daher bei dem Anteil der nicht erklärten Altackerfläche über Schätzungen und Hochrechnungen miteinbezogen.

### 4 Ergebnisse

#### 4.1 Nachgewiesene Wölbackerflächen

Auf der höchsten Hierarchieebene lässt sich Niedersachsen in sechs Bodenregionen gliedern: (i) Küstenholozän, (ii) Flusslandschaften, (iii) Geest, (iv) Bergvorland, (v) Bergland und (vi) Harz. Über die Geofaktoren Gestein, Hydroregime, Klima und Relief können darauf basierend die sogenannten Bodengroßlandschaften und Bodenlandschaften differenziert werden. In allen Bodenregionen liegen Belege über Wölbacker vor. Vereinzelte Nachweise (< 15) von Wölbacker bleiben bei der Beschreibung der Ergebnisse unberücksichtigt. Die Ergebnisse gliedern sich in (i) die absolute und relative Verteilung nachgewiesener Wölbackerflächen in den Bodenregionen, -großlandschaften und -landschaften, (ii) die heutige Nutzung ehemaliger Wölbackerstandorte (relativ) und (iii) die räumliche Darstellung der nachgewiesenen Flächen (Karte 8). In Tabelle 9 sind alle nachgewiesenen Wölbackerflächen in absoluten Zahlen, nach BR, BGL und BL, angegeben.

##### 4.1.1 Verteilung nachgewiesener Wölbackerflächen in den Bodenlandschaften

In der Bodenregion der Flusslandschaften (BR 2) befinden sich in den Auen und Niederterrassen (BGL 4) im Verbreitungsgebiet der weichselzeitlichen Flussablagerungen 15 Nachweise ehemaliger Wölbackerfluren. Im Bereich der Geest liegen hauptsächlich die Abfolgen der *Glazialen Serie* vor: Talsandniederungen und Urstromtäler (BGL 6) sowie Geestplatten und Endmoränen (BGL 8). In der Bodenlandschaft der Talsandgebiete (BL 8) liegen 129 Wölbackerstandorte vor. 184 Nachweise sind im Verbreitungsgebiet fluvialer und glazifluvialer Sedimente (BL 9) vorzufinden, 244 liegen in den Lehmverbreitungsgebieten (BL 10). Im Bergvorland, den ebenen bis flachwellig und hügeligen Bodengroßlandschaften des Bördenvorlandes und den Lehmverbreitungsgebieten (Lössbörde), liegen in den Regionen mit geringmächtiger Lössbedeckung (BGL 9) 15 Nachweise im Silikatsteinverbreitungsgebiet (BL 15) und 24 im Verbreitungsgebiet der Talsedimente (BL 16). Im niedersächsischen Bergland befinden sich 41 Nachweise in den Lössverbreitungsgebieten (BL 13) des Beckens und knapp 400 beschriebene Wölbackerstrukturen in den Höhenzügen (BGL 15) 110 in den Mooren (BL 14), 204 in den Silikatsteinverbreitungsgebieten (BL 15) sowie 58 im Verbreitungsgebiet der Talsedimente (BL 16). Im Mittelgebirge des Harzes sind 28 Nachweisflächen im Silikatsteinverbreitungsgebiet (BL 15) zu finden.

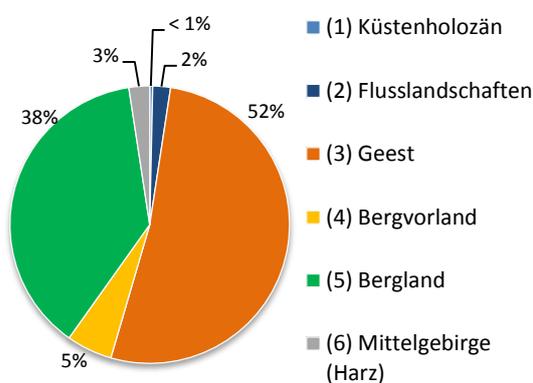
## 4 Ergebnisse

Tabelle 9: Verteilung der nachgewiesenen Wölbackerflächen in absoluten Zahlen nach BR, BGL, BL, n = 1167.

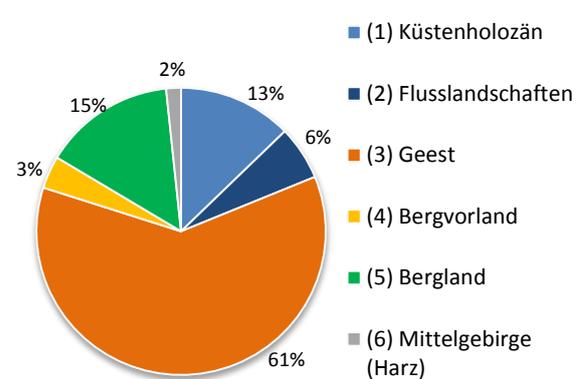
Bodenregion	Bodengroßlandschaft	Bodenlandschaft	Anzahl
1 - Küstenholozän	3 - Küstenmarschen	2 - Verbreitungsgebiet der brackischen Sedimente	3
		4 - Moore -Moore	1
2 - Flusslandschaften	4 - Auen und Niederterrassen	6 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente	4
		7 - Verbreitungsgebiet der weichselzeitlichen Flussablagerungen	15
		11 - Verbreitungsgebiet der Dünen und Flugsande	4
3 - Geest	4 - Auen und Niederterrassen	6 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente	13
	6 - Talsandniederungen und Urstromtäler	6 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente	2
		8 - Talsandgebiete	129
		9 - Verbreitungsgebiet fluviatiler und glazifluviatiler Sedimente	1
		10 - Lehmverbreitungsgebiete	12
		11 - Verbreitungsgebiet der Dünen und Flugsande	4
	8 - Talsandgebiete - Geestplatten und Endmoränen	8 - Talsandgebiete	9
		9 - Verbreitungsgebiet fluviatiler und glazifluviatiler Sedimente	184
		10 - Lehmverbreitungsgebiete	244
		11 - Verbreitungsgebiet der Dünen und Flugsande	3
		12 - Sandlössverbreitungsgebiete	8
4 - Bergvorland	9 - Bördenvorland	14 - Moore	7
		15 - Silikatsteinverbreitungsgebiete	15
		16 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente	24
	10 - Lehmverbreitungsgebiete – Lössbörde	9 - Verbreitungsgebiet fluviatiler und glazifluviatiler Sedimente	3
		10 - Lehmverbreitungsgebiete	5
		13 - Lössverbreitungsgebiete	5
		16 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente	3
	5 - Bergland	4 - Auen und Niederterrassen	6 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente
7 - Verbreitungsgebiet der weichselzeitlichen Flussablagerungen			1
14 - Becken		6 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente	9
		9 - Verbreitungsgebiet fluviatiler und glazifluviatiler Sedimente	4
		10 - Lehmverbreitungsgebiete	6
		13 - Lössverbreitungsgebiete	41
15 - Silikatsteinverbreitungsgebiete - Höhenzüge		6 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente	1
		9 - Verbreitungsgebiet fluviatiler und glazifluviatiler Sedimente	5
		14 - Moore	110
		15 - Silikatsteinverbreitungsgebiete	204
			16 - Verbreitungsgebiet der Talsedimente
6 - Harz	16 - Sedimentgesteins-Mittelgebirge	15 - Silikatsteinverbreitungsgebiete	28

## 4 Ergebnisse

In der Bodenregion 3 (Geest) liegen 609 Nachweise vor. Dies entspricht mit 52 % dem größten Anteil an nachgewiesenen Wölbackern. Die Bodenregion Geest nimmt 61 % der Fläche Niedersachsens den größten Anteil der Landesfläche ein. 38 % der nachgewiesenen Wölbackerflächen liegen im Bergland. Insgesamt 10 % aller Nachweise befinden sich in den Bodenregionen 1 (Küstenholozän), 2 (Flusslandschaften), 4 (Bergvorland) und 6 (Harz) (Abb. 35). Die Bodenregionen 5 (Bergland) und 1 (Küstenholozän) machen 15 % (BR 5) und 13 % (BR 1) der Gesamtfläche aus. Die Bodenregionen der Flusslandschaften (BR 2), des Bergvorlandes (BR 4) und des Harzes (BR 6) nehmen zusammen 11 % der Landesfläche ein (Abb. 36).



**Abbildung 35: Verteilung nachgewiesener Wölbackerflächen nach Bodenregionen Niedersachsens in Prozent.**



**Abbildung 36: Flächenanteile der Bodenregionen an der Gesamtfläche Niedersachsens in Prozent.**

Über alle Bodengroßlandschaften gesehen, lässt sich die Anzahl der Nachweise in den einzelnen Bodenlandschaften beschreiben. In den Talsandgebieten (BL 8) liegen 138 Nachweise vor. 197 sind es bei dem Verbreitungsgebiet fluviatiler und glazifluvialer Sedimente (BL 9), 267 in den Lehmverbreitungsgebieten (BL 10). In den Lössverbreitungsgebieten (BL 13) wurden 46 Wölbackerflächen nachgewiesen. Über 100 Nachweise befinden sich in der Bodenlandschaft 14 (Karbonatsteinverbreitungsgebiete), 247 in den Silikatsteinverbreitungsgebieten (BL 15), 85 Flächen sind den Tonsteinverbreitungsgebieten (BL 16) zuzuordnen (Abb. 37).

## 4 Ergebnisse

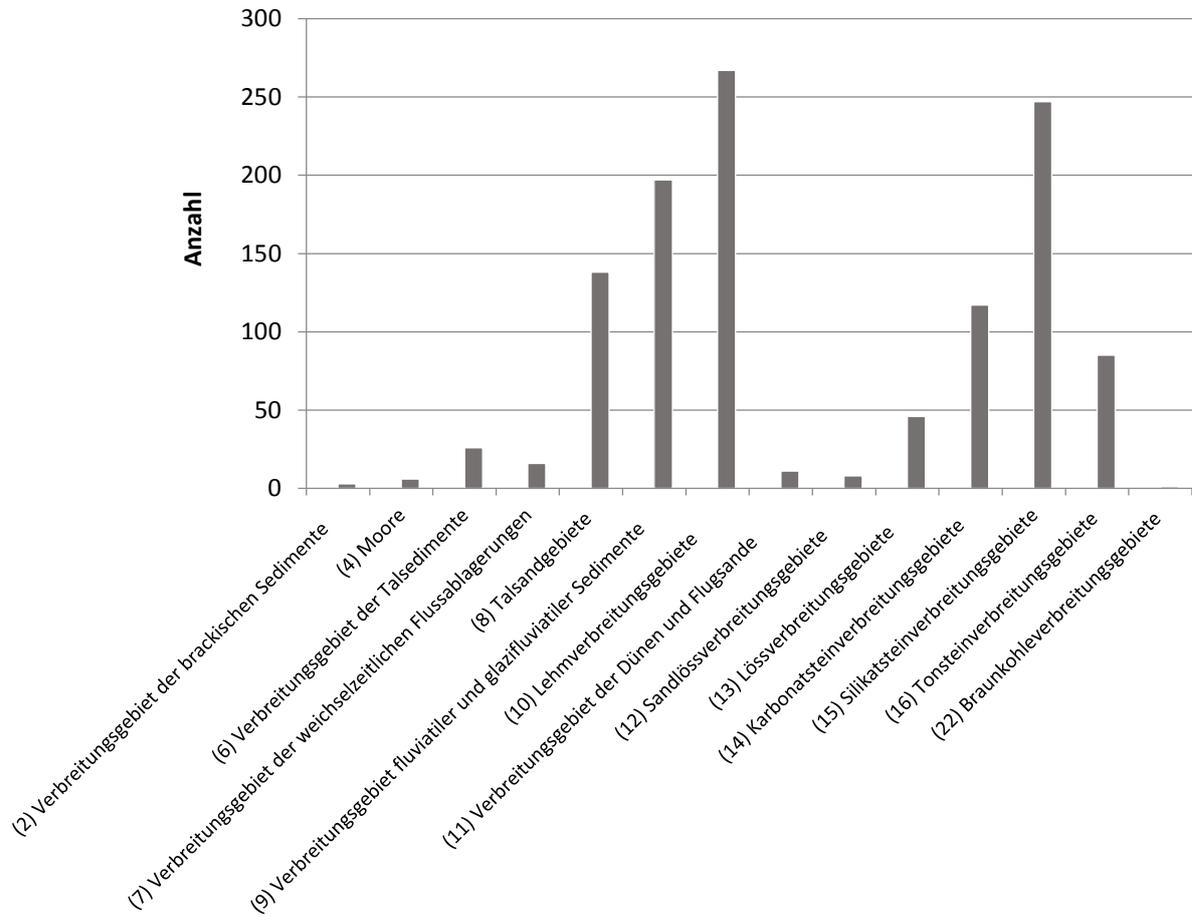
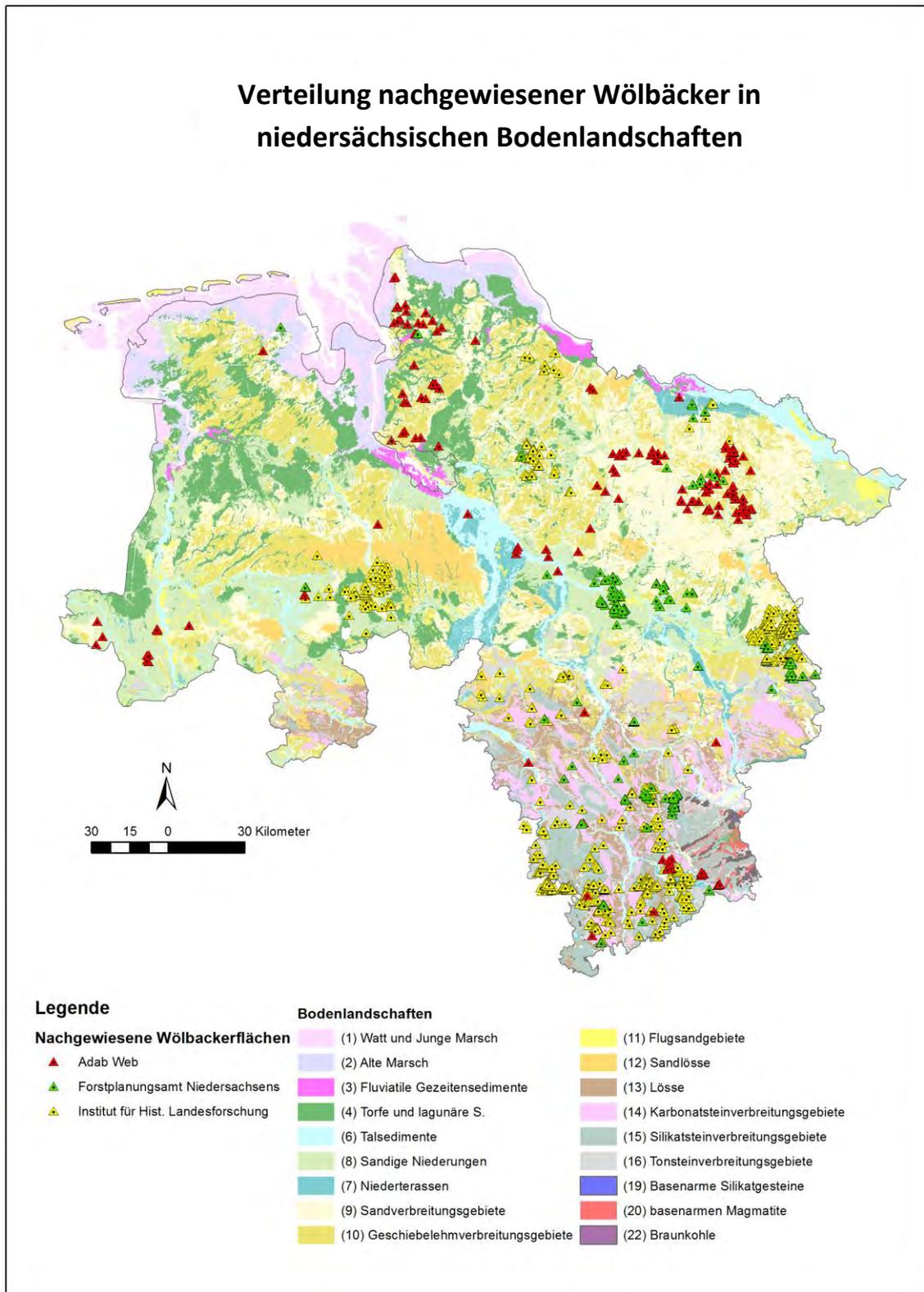


Abbildung 37: Verteilung nachgewiesener Wölbackerflächen in nds. Bodenlandschaften (absolut).

4.1.2 Lage der nachgewiesenen Wölbackerflächen



Karte 8: Verteilung nachgewiesener Wölbacker in nds. Bodenlandschaften nach verschiedenen Quellen (siehe Legende).

### 4.1.3 Heutige Nutzung ehemaliger Wölbackerflächen

Auf Grundlage der nachgewiesenen Flächen konnte die heutige Nutzung ehemaliger Wölbackerflächen ermittelt werden (Abb. 38). Der Großteil der Flächen liegt unter Wald: 39 % Laubwald und 15 % Nadelwald. Über 40 % werden landwirtschaftlich genutzt: 32 % der Flächen liegen unter Acker, 9 % unter Grünland. 5 % der Flächennutzung ist nicht bekannt.

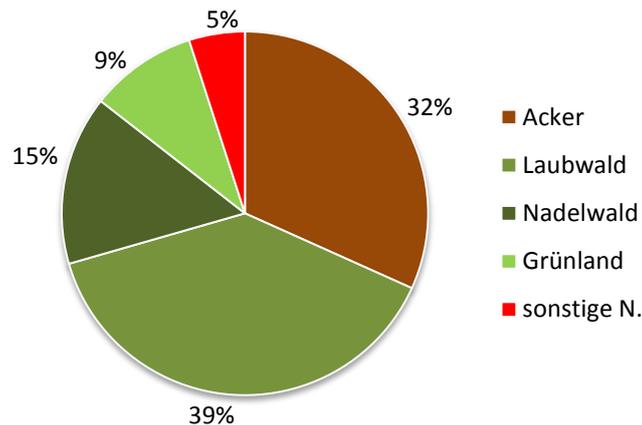


Abbildung 38: Heutige Nutzung von Wölbackerflächen (in prozentualen Anteilen).

### 4.1.4 Diskussion

Die Verteilung der Nachweise zeigt, dass Wölbackerflächen in allen Bodenregionen Niedersachsens vorkommen. Auffällig ist die unregelmäßige Verteilung der nachgewiesenen Flächen. Bei der Darstellung der Nachweise in Karte 8 ist deutlich zu erkennen, dass die nachgewiesenen Flächen je nach Datengrundlage sehr aggregiert und ungleichmäßig verteilt vorliegen. Es bestehen vermutlich nur wenige unabhängige Einzelnachweise. Dieser Aspekt muss bei der Aussagekraft der vorhandenen Daten beachtet werden.

Zunächst ist aufgrund der naturräumlichen Ausstattung der Ausschluss zweier Bodenregionen, Küste und Harz, zu diskutieren. Im Küstenholozän befinden sich vier Nachweise. Nicht sicher sind die Einzelheiten dieser Flächen. Möglicherweise könnte es sich auch um einen vermeintlichen Wölbacker handeln, der ursprünglich aber als Marschhufenbeet genutzt, aber durch die ähnliche Morphologie ebenfalls zu den gewölbten Ackerbeeten gezählt wurde. Diese Zuordnung kann nur vor Ort überprüft und ggf. widerlegt werden.

Im Harz liegen 28 Nachweise vor. Aufgrund des steilen Reliefs war zu vermuten, dass zur Zeit des Mittelalters kaum Ackerflächen angelegt wurden. Je nach Relief und Exposition sind mehr oder weniger flachgründige, kalkarme Standorte mit hohen Niederschlägen zu erwarten, auf denen für den Ackerbau schwierige bis unmögliche Bedingungen herrschen. Landwirtschaftliche Flächen wurden damals hauptsächlich als Bergweiden genutzt. Talniederungen werden aufgrund von Nässe ausgeschlossen, Plateau-Lagen kommen als Ackerstandorte in Frage. Allerdings sind regionale Unterschiede und eine naturräumliche

Heterogenität innerhalb des Harzes zu bedenken. Weitere Untersuchungen zu Wölbäckern wären in diesem Gebiet von Vorteil, um eine genaue Aussage über mögliche Altackerstandorte treffen zu können. Derzeit sind diese Untersuchungen durch die Universität Halle-Wittenberg in naher Zukunft geplant. Im Rahmen dieser Arbeit bleibt der Harz daher unberücksichtigt.

Bei der Betrachtung der Verteilung von Wölbäckern in den einzelnen Bodenregionen muss der Flächenanteil an der Gesamtfläche Niedersachsens berücksichtigt werden. Bei einer gleichmäßigen Verteilung würde die Anzahl der Nachweise in Abhängigkeit der Bodenregion-Flächengröße stehen. Im Bereich der Geest liegt der Flächenanteil bei 61 % und 52 % aller nachgewiesenen Wölbackerflächen kommen hier vor. Dieses Ergebnis bestätigt die aufgestellte Hypothese. Das Bergland macht 15 % der Gesamtfläche Niedersachsens aus, weist aber mit 38 % der beschriebenen Wölbackerflächen verhältnismäßig viele Nachweise auf. Die Bodenregion des Küstenholozäns beträgt 15 % der Landesfläche Niedersachsens und beinhaltet keine bedeutsamen Nachweise von Wölbackerarealen. Hier sind als Grund die Marschhufenbeete zu nennen.

Die bereits aufgeführten Probleme der sicheren Ansprache im Gelände sind vermutlich ein wesentlicher Grund für den gegenwärtig geringen Kenntnisstand zur Verbreitung von Wölbäckern. Bestätigt wird diese Annahme bei der Betrachtung der heutigen Nutzung. Der Nachweis erhaltener Wölbackerflächen ist im Gelände über die Morphologie möglich. Folglich liegen über die Hälfte der nachgewiesenen Flächen unter Wald. Auch auf Grünlandstandorten, unter denen 9 % der nachgewiesenen Flächen liegen, sind die Wölbungen häufig noch gut erkennbar. In der Regel wird bei ackerbaulich genutzten Flächen von einer Einebnung des Mikroreliefs ausgegangen, im Unterboden kann allerdings aufgrund von Humusanreicherungen eine ehemalige Nutzung nachgewiesen werden. Zudem gehen Nachweise ebenfalls auf archäologische Grabungen oder historische Karten zurück.

Zusätzlich zur heutigen Nutzung spielen noch weitere Faktoren bei der Ansprache ehemaliger Wölbackerfluren eine Rolle. Abhängig von geomorphographischen Eigenschaften einer Region kann es aufgrund des Reliefs, besonders im Bergland, zum Teil zu starken Erosionsgeschehen kommen, sodass die ursprüngliche Morphologie nicht erhalten werden kann. Ein Beispiel sind die Wölbäcker bei Rüdershausen (vgl. BORK&ROHDENBURG, 1979; BORK et al., 1998). Darüber hinaus spielen auch der Zeitpunkt der Wiederaufforstung und die Nutzungsdauer eine Rolle. WELL (1989) nennt die deutlich erkennbare Ausprägung von bis vor 120 Jahren noch bewirtschafteten Flächen im Gegensatz zu den kaum noch erkennbaren Wölbackerarealen, die bereits über 600 Jahre forstwirtschaftlich genutzt werden. Unterliegt die Fläche bereits seit vielen Jahrhunderten intensiver forstwirtschaftlicher Nutzung, so sind die Wölbäcker häufig deformiert. KÄUBLER (1966) beschreibt das Erkennen erhaltener Wölbackerstrukturen in unübersichtlichen und mit dem Forstpflug überpflügten Waldbeständen als besonders schwierig. Die von AL-CÁNTARA et al. (2017) untersuchten Wölbackerflächen wurden zwischen dem 17. Jh. und 19. Jh. aufgeforstet und sind gegenwärtig freisichtig als Wölbackerstrukturen im Gelände erkennbar. Die Lage ehemaliger Wüstungen, die über historische Karten zu finden sind,

gibt ebenfalls Aufschluss über im Mittelalter landwirtschaftlich genutzte Flächen. Bereits 1965 nennt JÄGER aus diesem Grund die angewandte Kartographie als wichtigstes Hilfsmittel der modernen landesgeschichtlichen Forschung.

### 4.1.5 Fazit

Aufgrund der unregelmäßigen Verteilung der Daten kann auf Grundlage des aktuellen Forschungsstands der Verbreitung, wie hier auf Basis verschiedener Quellen zusammengefasst, nicht auf eine hypothetische Wölbackerfläche für ganz Niedersachsen geschlossen werden. Die vorliegenden Nachweise geben einen Eindruck der Verteilung, reichen aber nicht für die Darstellung der gesamten Verbreitung von Wölbackerstrukturen aus. Entscheidend sind die topographisch-geographischen Gegebenheiten, die im Mittelalter zu einer ackerbaulichen Nutzung bei gleichzeitiger Erschließung von Siedlungsgebieten geführt haben. Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass nur die Flächen nachgewiesen werden können, die auch als solche zu erkennen sind. Im Bereich lössbedeckter Gebiete wären bspw. Wölbäcker zu erwarten, diese nachzuweisen ist aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung und der damit einhergehenden Einebnung jedoch nur erschwert möglich. Die Untersuchung der Verteilung in Hinblick auf die Bodenlandschaften konnte allerdings zeigen, dass Wölbäcker tendenziell in ganz Niedersachsen zu erwarten sind und nicht von bestimmten Bodeneigenschaften abhängen.

### 4.2 Potentielle Verbreitung und Abschätzung der Wölbackerfläche in Niedersachsen

Bei der Berechnung einer potentiellen Wölbackerfläche werden die einzelnen Gebiete separat betrachtet. Bei der Berechnung sind mehrere Teilschritte, basierend auf der genannten Datengrundlage, notwendig.

#### 4.2.1 Vorgehensweise zur Berechnung der Wölbackerfläche Niedersachsens

Um die potentielle Fläche zu berechnen, wird die durch BK50 und GMK25 erstellte Zielgröße als Ausschlussfläche subtrahiert. Daraus ergibt sich eine potentielle Altacker- oder Allmendefläche. Die vorliegende beschriebene potentielle Altackerfläche wird über Hochrechnungen mit der historischen Karte verifiziert. Von dieser Fläche wird die berechnete Altackerfläche nach HIST25 subtrahiert, sodass sich die potentielle Allmendefläche ergibt. Von der hochgerechneten Altackerfläche nach HIST25 werden die bekannten Esch- und Wölbackerflächen abgezogen. Daraus folgt die nicht geklärte Altackerfläche je Region. Diese nicht geklärte Altackerfläche wird durch die Flächenangaben von Böden mit zweitem humosem Horizont über die Bodenschätzung auf eine Wölbacker-Vergangenheit geprüft (Skizze 3). Die Berechnung der Gesamtfläche pro Region setzt sich aus folgenden Flächenanteilen zusammen: (i) Historisch alte Waldstandorte, (ii) Ausschlussflächen, (iii) bekannte Esch- und Wölbackerflächen, (iv) nicht bekannte Altackerfläche nach HIST25, (v) Allmendefläche. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 10-13 dargestellt und führen zu einer hypothetischen Darstellung der damaligen Nutzung (Abb. 44).



Skizze 3: Berechnungsschritte der potentiellen Wölbackerfläche für Teilgebiete Niedersachsens.

## 4 Ergebnisse

### 4.2.2 Berechnung der potentiellen Altacker- bzw. Allmendefläche

Über die definierten Ausschlussflächen und die historisch alten Waldstandorte berechnet sich eine potentielle Altacker bzw. Allmendefläche von 55 % in der Region Geest West, 65 % in der Geest Ost, 34 % im Bergland und der Lössbörde, 66 % im Bördenvorland (Braunschweig-Ost) sowie 65 % im Osnabrücker Bergland. Für die fünf ausgewählten Regionen ergibt sich insgesamt eine potentielle Altacker- oder Allmendefläche von über 2 000 000 ha, was pro Region einer Fläche von durchschnittlich 57 % entspricht. Die Gesamtfläche teilt sich in Tabelle 10 in (i) Hist. Wald, (ii) Ausschlussflächen und (iii) potentieller Altacker- oder Allmendefläche auf.

Tabelle 10: Berechnungen zur potentiellen Altacker- bzw. Allmendefläche, nach Regionen Niedersachsens.

Flächenangaben je Gebiet	Geest West	Geest Ost	Bergland und Lössbörde	Börden- vorland BS-Ost	Osnabrücker Bergland
Gesamt [ha]	1.909.713	1.202.400	842.156	32.997	90.541
Hist. Wald [ha]	56.456	90.585	218.686	5.698	19.204
Ausschlussfläche [ha]	803.539	331.863	336.410	5.460	12.172
pot. Altacker oder Allmende [ha]	1.049.718	779.964	287.061	21.839	59.165
pot. Altacker oder Allmende [%]	55,0	64,9	34,1	66,2	65,3

### 4.2.3 Validierung der Ergebnisse über Hochrechnungen nach HIST25

Auf Grundlage der Hochrechnungen nach der HIST25 ergeben sich als Altackerfläche folgende Ergebnisse: 26 % in der Region Geest West, 29 % in der Geest Ost, 52 % im Bergland und der Lössbörde, 35 % im Bördenvorland und 41 % im Osnabrücker Raum. Dadurch wird die anfänglich berechnete potentielle Altackerfläche auf die Fläche reduziert, die um 1800 als Altacker genutzt worden ist. Abzüglich der berechneten Altackerfläche bleibt der Anteil der potentiellen Allmendefläche, die zuvor in Tabelle 10 berechnet wurde. Diese beträgt in der Geest etwa 45 %, im Bördenvorland und dem Osnabrücker Bergland ca. 40 % und im Bergland und der Lössbörde 16 % (Tab. 11). Die Gesamtfläche, wie in Tabelle 11 aufgezeigt, ergibt sich daher aus (i) Hist. Wald, (ii) Ausschlussflächen und der potentiellen Altacker- bzw. Allmendefläche, bestehend aus (iii) Altacker nach HIST25 und (iv) Allmende (Wiese, Heide, Hutung, Sonstiges).

Tabelle 11: Berechnungen zur pot. Allmendefläche und zur Altackerfläche aus HIST25.

Flächenangaben je Gebiet	Geest West	Geest Ost	Bergland und Lössbörde	Börden- vorland BS-Ost	Osnabrücker Bergland
Allmende (Wiese, Heide, Hutung, Sonstiges) [ha]	776.791	553.774	137.789	14.195	34.907
Fläche Altacker aus HIST25 [%]	26	29	52	35	41
Fläche Altacker aus HIST25 hochgerechnet [ha]	272.927	226.190	149.272	7.644	24.158

### 4.2.4 Bekannte Altackerflächen nach BK50

Die Altackerfläche, die sich nach der Hochrechnung durch die HIST25 ergibt, ist zum Teil bereits durch Flächenkartierung als Wölbacker oder Plaggenesch bekannt. Diese nachgewiesenen Altackerflächen, werden von der berechneten Altackerfläche abgezogen. Daraus resultiert eine nicht geklärte Altackerfläche, die eine potentielle Wölbackerfläche darstellt. Um die unterschiedlichen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweisen darzustellen, werden Esch und Wölbacker gesondert aufgeführt.

Tabelle 12: Berechnungen zur bekannten Altackerfläche und der daraus nicht bekannten Altackerfläche nach HIST25.

Flächenangaben je Gebiet	Geest West	Geest Ost	Bergland und Lössbörde	Börden-vorland BS-Ost	Osnabrücker Bergland
Wölbacker [ha]	108	7.118	597	6.827	0
Esch [ha]	166.055	5.064	121	5	18.984
<b>Bekannte Altackerflächen (Wölbacker+Esch) aus BK50 [ha]</b>	166.164	12.182	718	6.832	18.984
<b>Nicht erklärter Altacker nach HIST25 [ha]</b>	106.763	214.007	148.554	811	5.274

In der Geest West und im Osnabrücker Bergland dominieren die Eschflächen, während in der Geest Ost Wölbacker und Eschflächen zu nahezu gleichen Teilen vorliegen. Im Bördenvorland sind fast ausnahmslos Wölbacker nachgewiesen. Im Bergland und in der Lössbörde sind mehr fünf mal mehr Nachweise von Wölbackerflächen als von Plaggeneschen.

Auf die Gesamtfläche bezogen, sind es 9 % bekannter Altacker in der Geest West, 21 % im Osnabrücker Bergland sowie im Bördenvorland, 1 % in der Geest Ost und unter 1 % im Bergland und der Lössbörde. Die Altackerfläche ergibt sich in Tabelle 12 daher aus (i) bekannten Altackerflächen (Wölbacker und Plaggenesch) und (ii) nicht geklärten Altackerflächen nach HIST25.

### 4.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse (BK50, FPA, GMK25, HIST25)

Zum besseren Verständnis der Verteilung verschiedener Flächenanteile werden die einzelnen Teilräume separat betrachtet. Um die kalkulierten Flächenangaben nachvollziehen zu können, werden die Ausschlussflächen und bekannten Altackerstandorte als Kartenausschnitte Niedersachsens (Karte 9-13) dargestellt. Darüber hinaus wird die berechnete damalige Flächennutzung in prozentualen und absoluten Zahlen in einzelnen Diagrammen (Abb. 39-43) und einer Übersicht (Abb. 44) aufgeführt.

#### Geest West und Geest Ost

Im westlichen Teil des Teilgebietes 1 (Geest West) liegen vorrangig Treposole vor, Richtung Küste dominieren Moore. In östlicher Richtung wird der Anteil undefinierter Fläche, sprich potentieller Altackerfläche, größer. Besonders auffällig ist im zentralen Bereich des Gebietes das Vorkommen von Sandlöss innerhalb der potentiellen Ackerfläche. Oberhalb des Osnabrücker Berglandes ist der Anteil von Talniederungen und Talsandniederungen sehr hoch, die allerdings als Ausschlussfläche definiert sind. Dies setzt sich auch in Rich-

tung Bremen und Hannover fort und wird durch Moorflächen entlang der Weser unterbrochen. Der Waldanteil beträgt 3 % der Fläche, 9 % sind nachgewiesene Plaggenesche. Etwa 45 % der Gesamtfläche ist über die Ausschlussflächen beschrieben. Ein Flächenanteil von 55 % bleibt unbekannt und wird mit zur potentiell beackerbaren Fläche gezählt. Diese Fläche zeigt sich hauptsächlich in Richtung Küstenholozän und im zentralen Bereich der Geest West. Die Hochrechnung auf Basis der HIST25 ergibt eine nicht erklärte Altackerfläche von 17 % der Teilregion Geest West.

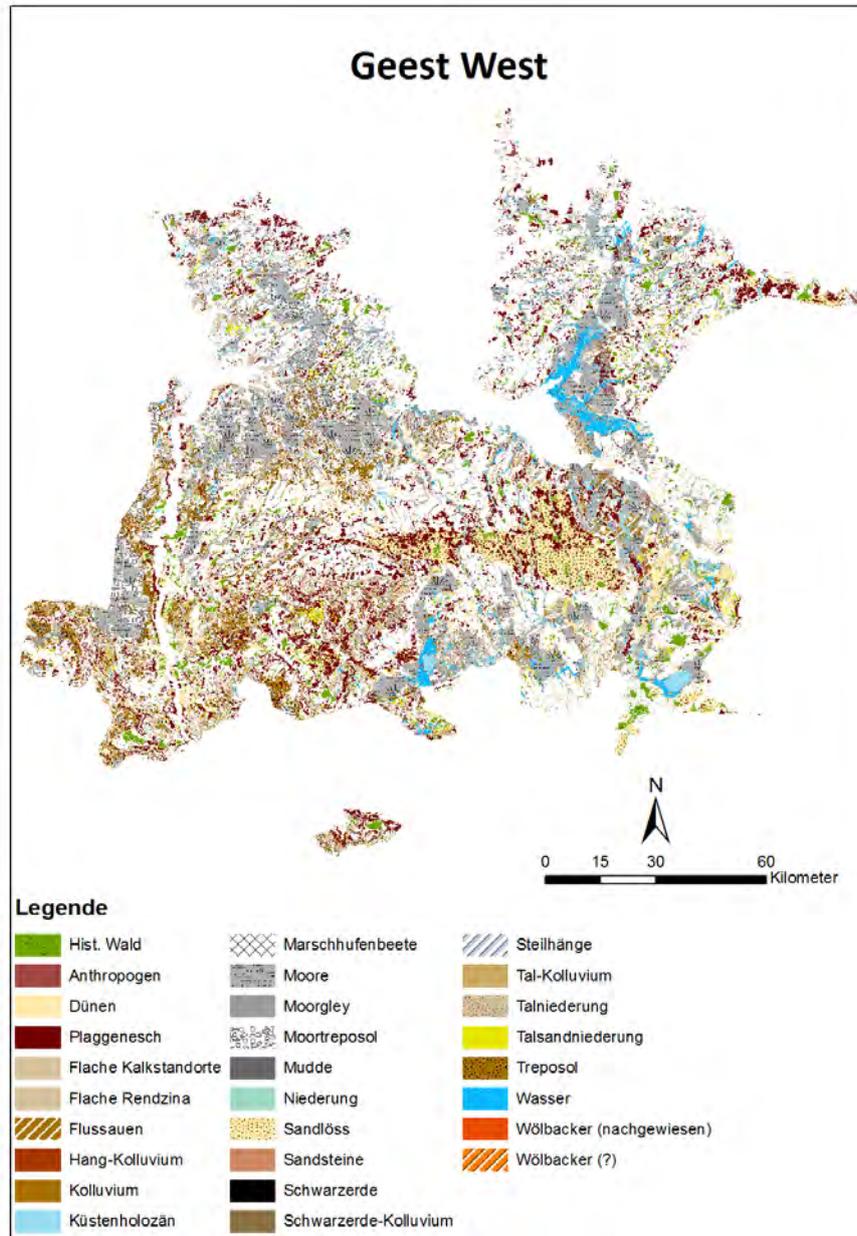
Im Teilgebiet 2 (Geest Ost) liegen Wölbackernachweise vor, die sich besonders im Raum Braunschweig und vereinzelt in der Lüneburger Heide und nahe Rotenburg (Wümme) befinden. Im Bereich der Aller sind Moorflächen zu finden, nordöstlich ist das Küstenholozän dargestellt. In den Randbereichen liegen Talniederungen vor. Zentral und in östliche Richtung befinden sich vereinzelt zusammenhängende Sandlöss-Gebiete. Der Waldanteil liegt bei 8 % der Fläche. Bekannte Altackerflächen machen ca. 1 % der Region aus. Insgesamt kann 65 % der Gesamtfläche nicht als Ausschlussfläche definiert werden und stellt die potentielle Altacker- bzw. Allmendefläche dar. Nach Hochrechnung durch die HIST25 ist ein Viertel der Fläche nicht erklärter Altacker.

### **Bergland (inkl. Lössbörde) und Osnabrücker Bergland**

Das Bergland, inklusive der Lössbörde, besitzt mit 26 % den höchsten Waldanteil Niedersachsens. Das Vorkommen vieler Flächen mit Einfluss kolluvialer Materialverlagerung wird in der Karte 11 (Bergland) deutlich. Im nordöstlichen Bereich der Karte lassen sich Sandlössgebiete und Talniederungen erkennen. Rund 21 % des Osnabrücker Berglandes werden durch Waldflächen bedeckt. Über die Ausschlussflächen werden im Bergland (inkl. Lössbörde) 40 % und in Osnabrück 13 % der Gesamtfläche als potentielle Wölbackerstandorte ausgeschlossen. Der Anteil der potentiellen, nicht erklärten Ackerfläche beträgt nach HIST25 im Osnabrücker Bergland 5 % (21 % bekannter Altacker) und im Bergland und der Lössbörde bei 26 %, da auf Grundlage der BK50 kaum bekannte Altackerflächen (< 1 %) in diesem Gebiet vorliegen.

### **Bördenvorland (Braunschweig Ost)**

Im nordöstlichen Bereich des Teilgebietes 5 befinden sich Talniederungen und Gewässer. Im Bördenvorland ist der relative Flächenanteil nachgewiesener Wölbacker am größten (21 %). Der Waldanteil liegt bei 17 %. Folglich sind 38 % der Fläche bereits über diese Kategorien definiert. Die potentielle Altackerfläche liegt insgesamt bei 66 %. Die nicht erklärte Altackerfläche beträgt nach Abzug der bekannten Flächen 45 % und nach Hochrechnung der HIST25 etwa 5 %.



Karte 9: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen in Geest West.

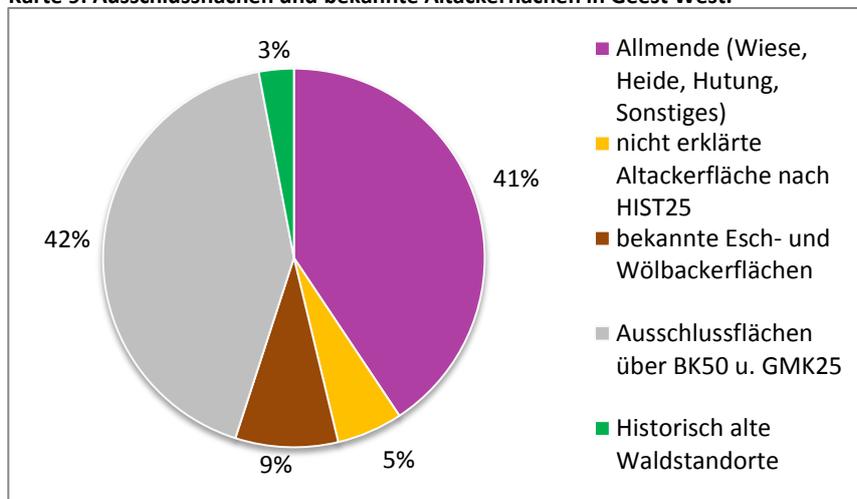
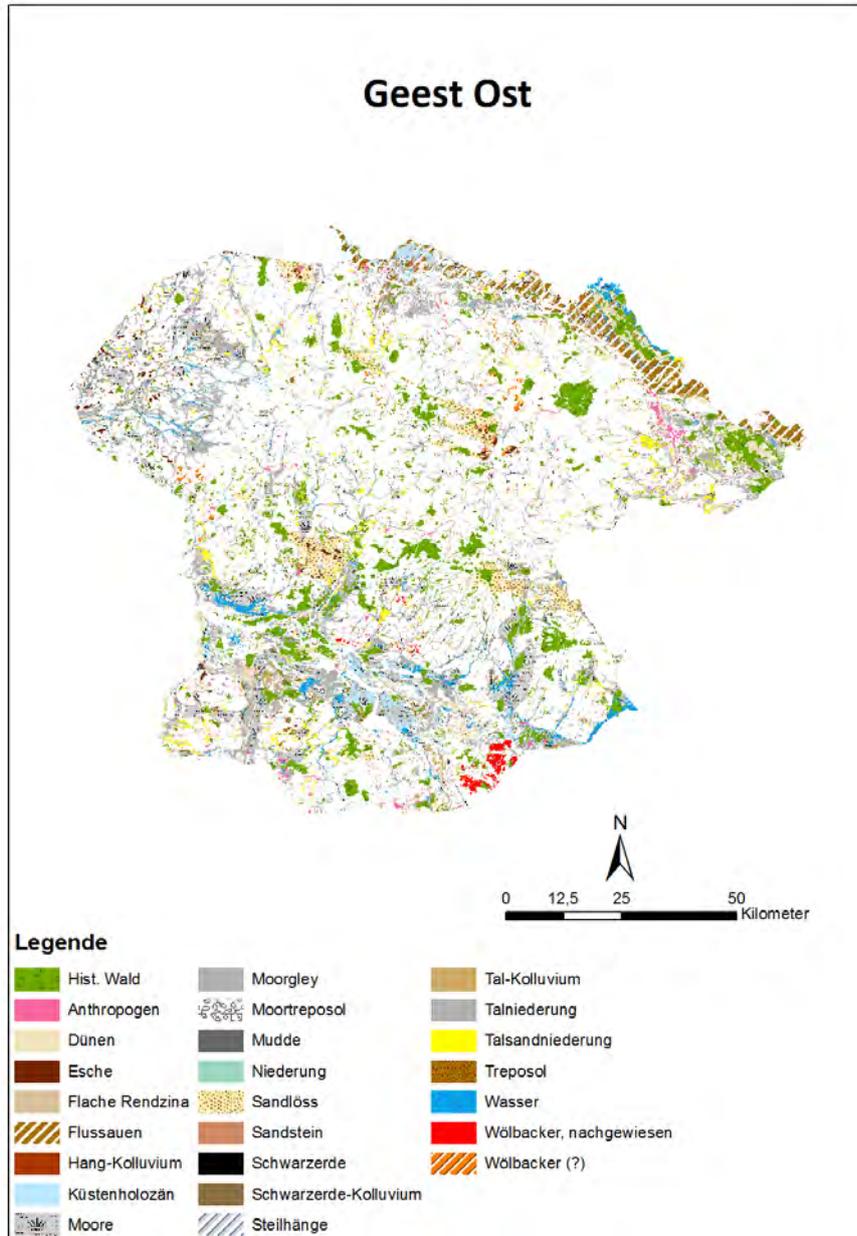


Abbildung 39: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Geest West).



Karte 10: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen in Geest Ost.

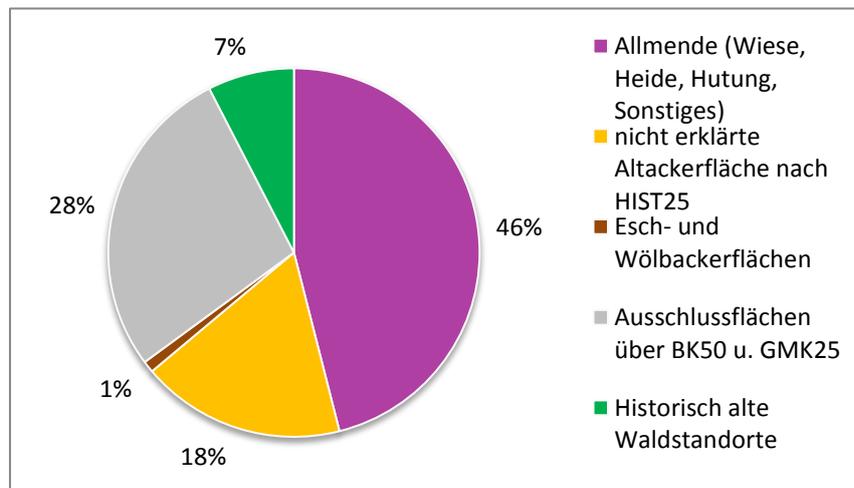
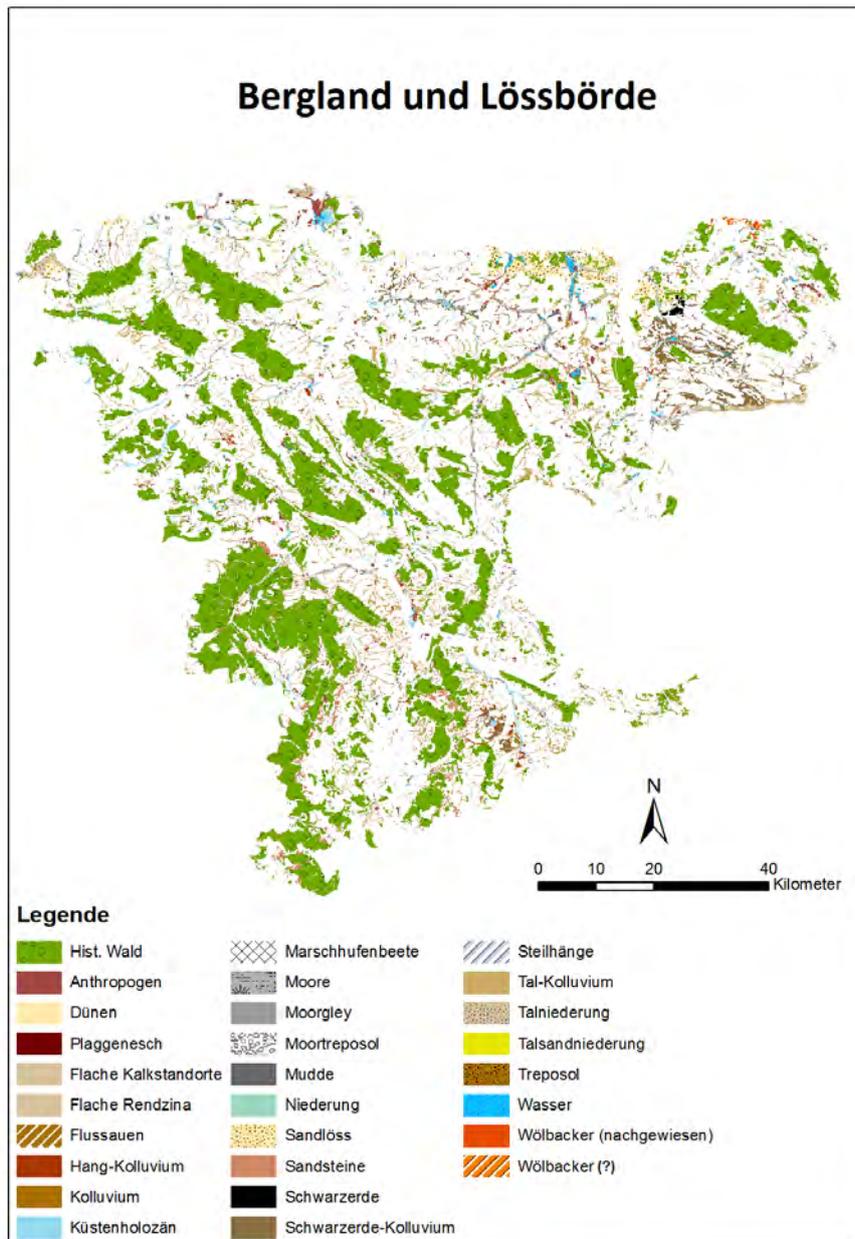


Abbildung 40: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Geest Ost).



Karte 11: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen im Bergland und der Lössbörde.

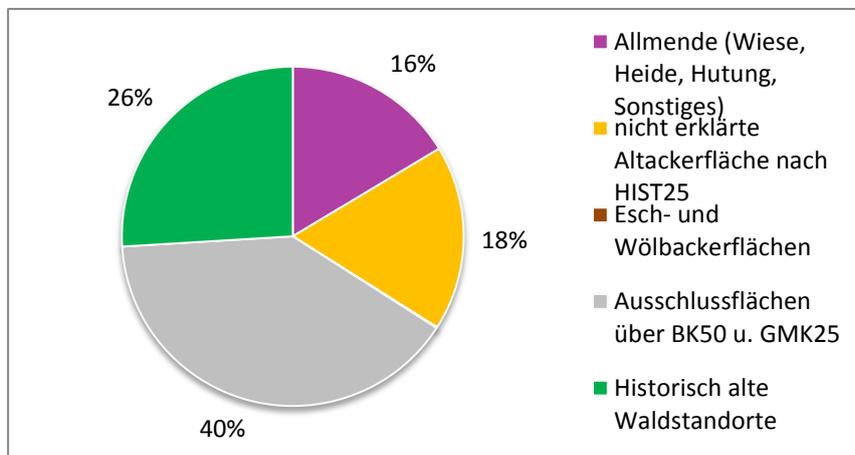
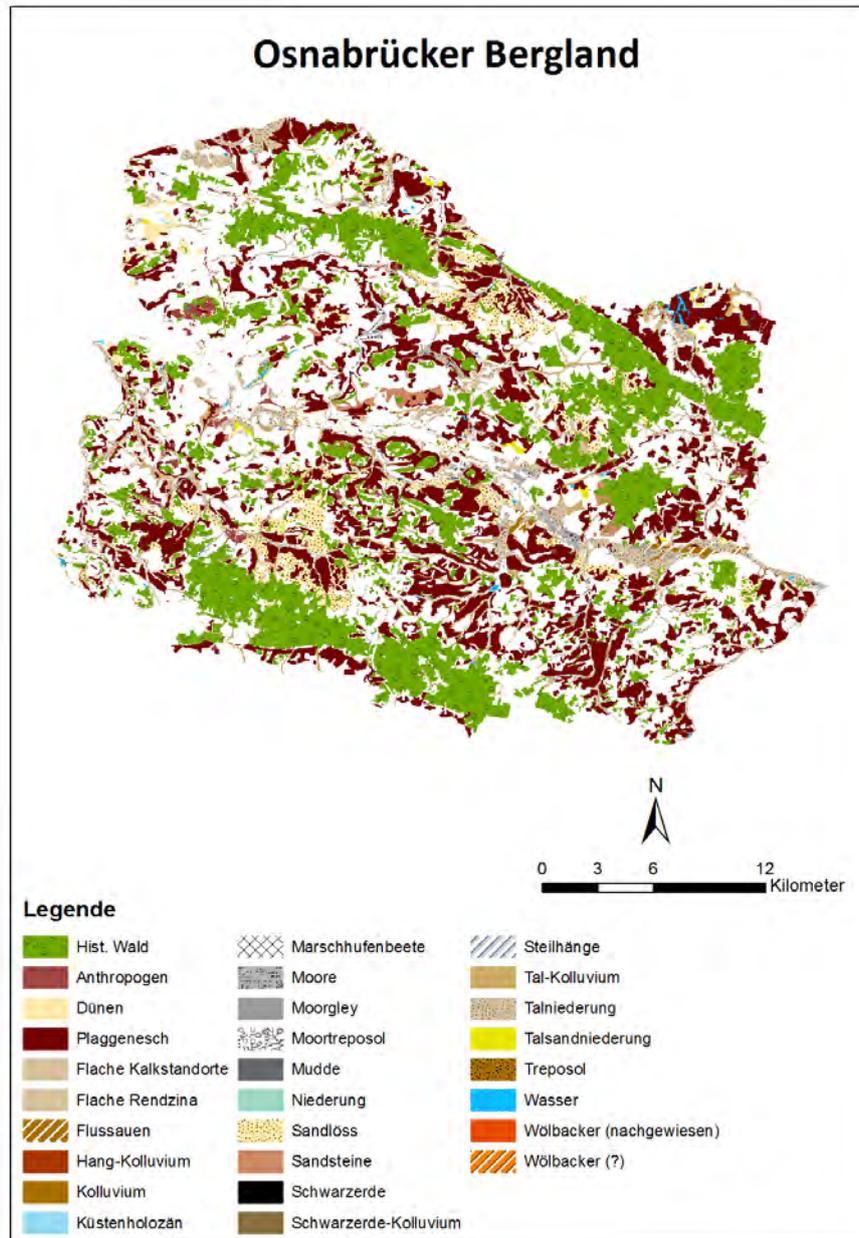


Abbildung 41: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Bergland und Lössbörde).



Karte 12: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen im Osnabrücker Bergland.

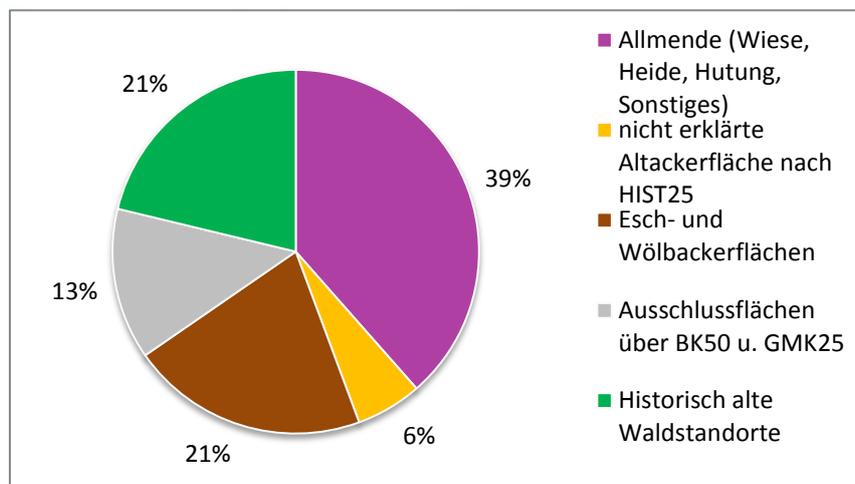
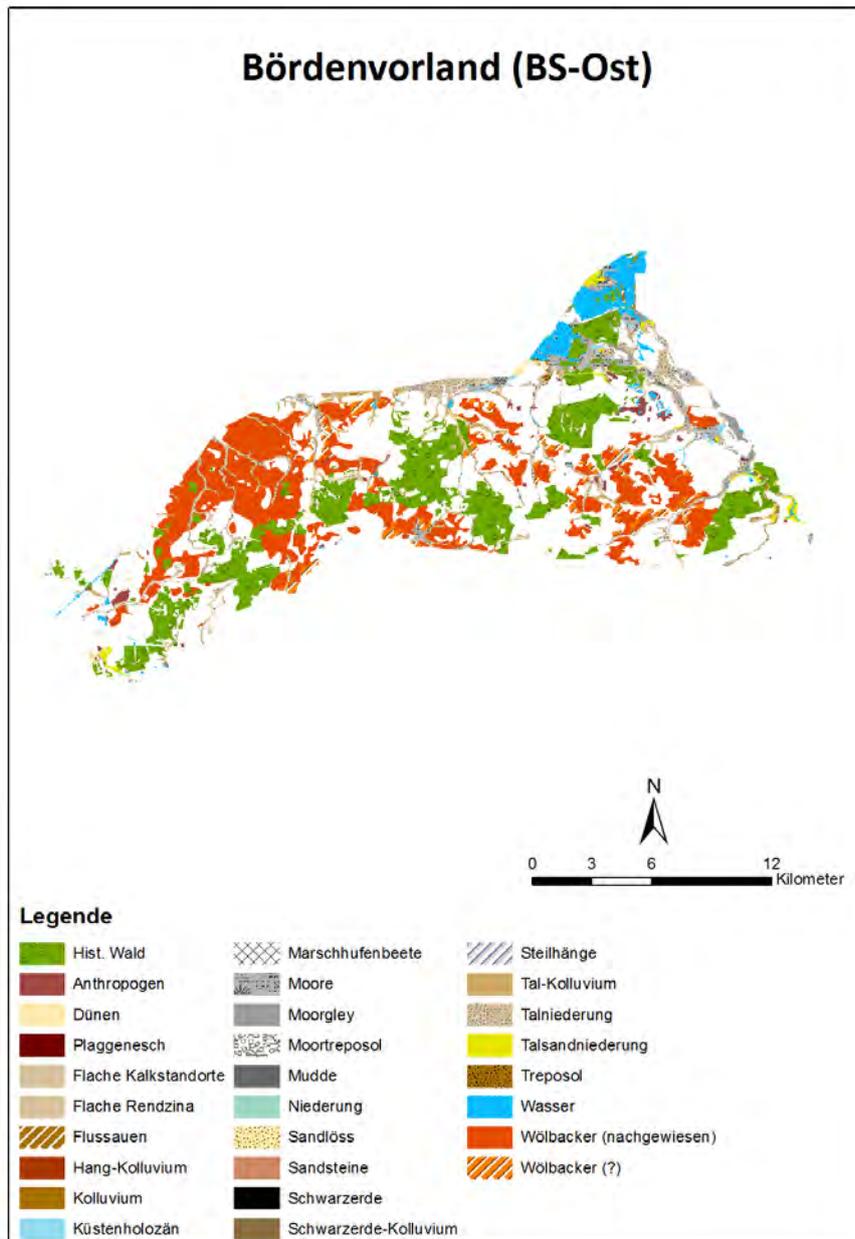


Abbildung 42: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Osnabrücker Bergland).



Karte 13: Ausschlussflächen und bekannte Altackerflächen im Bördenvorland.

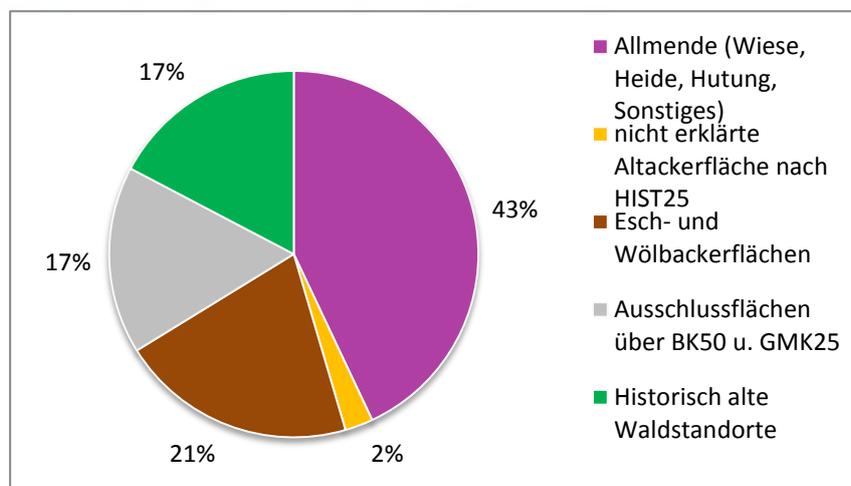


Abbildung 43: Berechnete Flächennutzung um 1800 (Bördenvorland).

## 4 Ergebnisse

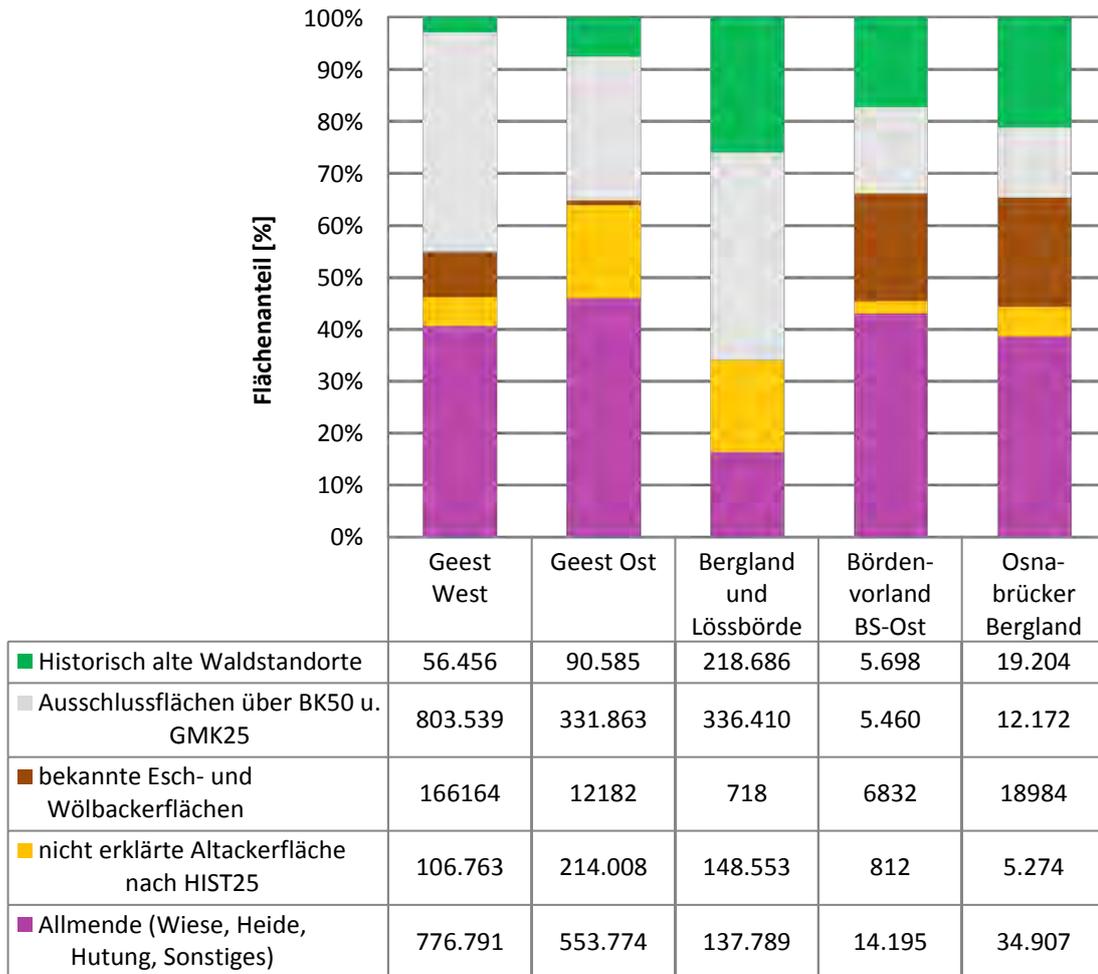


Abbildung 44: Berechnete Flächennutzung der einzelnen Teilräume nach BK50, GMK25, HIST25 und FPA.

### 4.2.6 Validierung der Ergebnisse über die Bodenschätzung

Auf Grundlage der Bodenschätzung werden als Hinweis auf Wölbacker alle Flächen mit zweitem humosem Horizont pro Region berechnet (Tab. 13). Die Daten der Bodenschätzung liegen nicht flächendeckend vor, sodass diese nicht auf die Gesamtfläche bezogen werden, aber zur Abwägung der potentiellen Wölbackerfläche dienen.

Tabelle 13: Berechnete Flächen mit zweitem humosem Horizont je Gebiet.

Flächenangaben je Gebiet	Geest West	Geest Ost	Bergland und Lössbörde	Börden-vorland BS-Ost	Osnabrücker Bergland
Fläche zweiter humoser Horizont aus BS - Löss [ha]	15.916	4.753	165.307	0	2.512
Fläche zweiter humoser Horizont aus BS - Sandlöss [ha]	101.046	44.806	0	2.467	4.765
Fläche zweiter humoser Horizont aus BS - Gesamt [ha]	116.963	49.559	165.307	2.467	7.276

Im Bergland und der Lössbörde dominieren die Lössflächen, während im Bördenvorland nur Böden mit zweiten humosen Horizonten auf Sandlöss vorliegen. In der Geest befinden sich knapp zehnmal so viele tief humose Böden auf Sandlöss, als auf Lössflächen. Das Osnabrücker Bergland weist nach der Bodenschätzung gegenüber den Sandlössflächen nur halb so viele Flächen mit zweitem humosem Horizont im Löss auf. Insgesamt liegt der Anteil der tief humosen Böden an der Gesamtfläche der Teilregionen in der Geest zwischen 4 % und 6 % und im Bergland und der Lössbörde bei 20 %. Im Bördenvorland und dem Osnabrücker Bergland sind es 7 % bis 8 %. Die Gesamtfläche der in Tabelle 13 aufgeführten Werte besteht aus den Flächen mit zweitem humosem Horizont auf (i) Löss und (ii) Sandlöss. Mithilfe einer raumbezogenen Darstellung kann der Anteil tief humoser Böden je Ackerfläche nach HIST25 in den einzelnen Regionen abgeschätzt werden.

### 4.2.7 Diskussion

Bei der Berechnung ergeben sich einige ungeklärte Differenzen zwischen potentieller Altackerfläche und den Hochrechnungen der HIST25 sowie den bodenkundlich nicht erklärten Altackerflächen und der Bodenschätzung. Unbekannt ist daher der Anteil von Wölbackern in den nicht bekannten Altackerflächen. Entsprechende Böden wären durch die Bodenschätzung zu erkennen. Im Folgenden werden Unsicherheiten der Berechnung der potentiellen Wölbackerfläche und mögliche Ursachen diskutiert.

#### Geest West

Die westliche niedersächsische Geest ist seit langer Zeit landwirtschaftliches Kerngebiet. Der Anteil der historischen Waldfläche ist eher gering. Unter hofnahen Eichenwäldern sind vermutlich zum Teil noch Strukturen mittelalterlichen Ackerbaus zu finden. Diese Kleinstflächen können nur im Gelände einzeln kartiert und auf eine damalige Nutzung als Wölbacker und bzw. oder als Plaggenesch überprüft werden.

Weniger als ein Drittel der Region wird über die historischen Nutzungsdaten (HIST25) erfasst. Diese Angabe ist bei der Aussagekraft der Hochrechnung zu berücksichtigen. Ausgehend von der HIST25 sind 17 % der Altackerfläche nicht als Esch oder Wölbacker ausgewiesen und daher unbekannte Altackerfläche. Eine Überprüfung mithilfe der Bodenschätzung in Hinblick auf einen zweiten humosen Horizont ergibt die berechnete Fläche von 6 % und ist vergleichsweise gering. Die nach der BK50 ausgewiesenen Eschstandorte erfassen weitestgehend alle nicht erklärten Altackerstandorte mit zweitem humosem Horizont. Daher ist davon auszugehen, dass nur in Ausnahmen weitere humose Böden nachzuweisen sind. Die Genese dieser Böden wäre weiter zu überprüfen.

#### Geest Ost

In der Geest Ost ergibt sich ein recht großer Anteil (65 %) potentiellen Altackers, ohne Erklärung über Esch- oder Wölbackernutzung. Nach der Hochrechnung durch die HIST25 ist ein Viertel der Fläche nicht erklärter Altacker. Zu berücksichtigen ist in diesem Gebiet, dass die HIST25 zur Validierung unzureichend ist. Die vorliegenden Kartenblätter bede-

cken nur einen Bruchteil des Gebietes, sodass die Hochrechnung nur eine geringe Aussagekraft hat. Bisher bleibt daher die mittelalterliche Nutzung großer Flächen in der östlichen Geest ungeklärt. Da die Beschreibung der östlichen Geest noch Lücken aufweist, wird anhand dieser Region die Bodenschätzung zur Validierung hinzugezogen. Dies erfolgt exemplarisch, um die Plausibilität der erhobenen Daten zu überprüfen und bestehende Unklarheiten zu reduzieren. Im Überblick ist erkennbar, dass humose Böden nur mit sehr geringem Flächenanteil vorkommen. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass in der Geest Ost Wölbäcker mit erkennbaren bodenkundlichen Merkmalen keine Rolle spielen.

Es ist von einer geringen Bevölkerungsdichte während des Mittelalters auszugehen. Darauf weisen u. a. weitläufige Heideflächen der NLWKN-Karte hin. Aufgrund dessen ist in diesem Gebiet zunächst die Plaggenwirtschaft naheliegend. Die fehlenden zweiten humosen Horizonte sprechen allerdings gegen diese Hypothese. Denkbar ist eine jüngere Nutzung (ab 18. Jh.) mit wenigen Esch- und weitläufigen Heideflächen.

Der mittelalterliche Ackerbau in dieser Region kann mithilfe der Ausschlussflächen bislang unzureichend dargestellt werden. Eine genaue Aussage kann nur dann getroffen werden, wenn die nachgewiesenen Wölbäckerflächen im Gelände kartiert und auf einen zweiten humosen Horizont überprüft werden. Dies müsste weiträumig geschehen, da die Datengrundlage in diesem Gebiet bisher nicht ausreicht, um eine gewissenhafte Aussage zu treffen. Insgesamt wurden die, über die Ausschlussflächen berechneten, Altackerflächen vermutlich stark überschätzt.

### **Bergland**

Im Bergland liegen als berechnete Altackerfläche 34 % der Gesamtfläche vor. Nach der HIST25 sind es 52 %, wovon 26 % unbekannt sind. Bodenkundlich erklärte Altackerflächen werden nach der BK50 in dieser Region nicht ausgewiesen. Unter Berücksichtigung der Bodenschätzung liegt in dem ganzen Gebiet des Berglandes und der Lössbörde ein hoher Anteil (20 %) tief humoser Böden vor. Diese Flächen liegen ausnahmslos auf Löss. Allein durch die historische Bewirtschaftung kann diese Fläche nicht erklärt werden. Daher sind im Raum Hildesheimer Börde Schwarzerden, im Leinegraben und im Untereichsfeld Schwarz- und Parabraunerden zu berücksichtigen.

Der Waldanteil ist bei der Berechnung über die Ausschlussflächen recht hoch (26 %). Es ist davon auszugehen, dass die mittelalterliche Waldfläche zeitweise deutlich geringer war. In dieser Berechnung kann allerdings nur von der historischen Nutzung um 1800 ausgegangen werden. Darüber hinaus geht die Definition historisch alter Wälder auf verschiedene Zeiträume zurück und ist nicht einheitlich beschrieben.

Das größte Vorkommen von historischer Ackernutzung ist auf ertragsfähigen Standorten mit gutem Wasserhaushalt zu erwarten. Daher kommen vorwiegend die Lössbecken in Frage, aber auch in den Höhenzügen kann Ackerbau auf Plateau-Lagen stattgefunden haben. Unter Berücksichtigung der Höhenzüge und Neigungen müssen ab 1 % Hangneigung ebenfalls kolluviale Umlagerungen berücksichtigt werden. Die aus Kolluvien ausgewiesenen Flächen sind allerdings nicht zwangsläufig als ehemalige Wölbäcker auszuschließen, da sich in den alten Ackerfurchen häufig humose Ablagerungen befinden, die

im Einzelfall von Kolluvien nur schwer zu unterscheiden sind. Trotz dieser Bedenken ist in diesem Gebiet eine vergleichsweise hohe Wölbackerfläche zu erwarten. Gestützt wird diese Annahme durch zahlreiche Nachweise (Kap. 4.1). Von Interesse wäre daher eine systematische Überprüfung der Strukturen (erodiert, eingeebnet) zur Abgrenzung von Kolluvien und weiteren tief humosen Böden sowie eine quantitative Erfassung aller sich nachweisbaren Wölbackerflächen in diesem Gebiet. Im Rahmen dieser Arbeit findet die Überprüfung der Ergebnisse durch Geländeaufnahmen in Hannover, Göttingen und Umgebung statt.

### **Bördenvorland (Braunschweig Ost)**

Im Teilgebiet Bördenvorland (BS-Ost) liegt die HIST25 flächendeckend vor, weshalb die Validierung in diesem Fall Sicherheit bringt. Es ist nach der Hochrechnung aus der HIST25 anzunehmen, dass die nach der BK50 berechnete potentielle Altackerfläche überschätzt wurde. Nach der HIST25 liegt eine Altackerfläche von 35 % vor. Davon sind über die BK50 knapp 21 % als Wölbacker kartiert. Dies würde bedeuten, dass der Großteil der Ackerfläche als Wölbacker bewirtschaftet worden ist. Was bei der Berechnung beachtet werden muss, ist der Zeitraum, den die HIST25 wiedergibt. Es handelt sich dabei um die Nutzung um 1800, weiter zurückliegende Nutzungen können hierbei nicht erfasst werden. Die Altackerfläche von 1800 stimmt daher nicht mit der des Mittelalters nicht überein. Denkbar wäre auch eine vorherige Wölbackerbewirtschaftung, die bereits um 1800 aufgegeben waren. Auffällig ist der im Vergleich geringe Anteil tief humoser Böden (7 %). Dies könnte ein Indiz für die mögliche Überschätzung der Wölbackerflächen im Bördenvorland sein.

### **Osnabrücker Bergland**

Das Osnabrücker Bergland wird durch die HIST25 flächendeckend dargestellt. Der Anteil der potentiellen Altackerfläche liegt bei 65 % und ist somit etwas höher als der Anteil, der über die HIST25 berechnet wurde (41 %). Wie bereits für das Bergland beschrieben, ist das Relief in diesem Gebiet in die Diskussion der Ergebnisse mit einzubeziehen. Durch Höhenzüge, Senkenbereiche und Steilhänge kommt es wiederkehrend zur Umlagerung von Material. Kolluvien können daher auch hier der Grund für einen zweiten humosen Horizont sein. Über die Bodenschätzung liegt der Anteil tief humoser Böden bei 8 %. Dabei sind 21 % der Fläche als Esch ausgewiesen. Es ist daher anzunehmen, dass der Esch in diesem Gebiet leicht überschätzt wurde. Dies ist möglicherweise damit zu begründen, dass die als Esch beschriebenen Flächen auf eine andere Ursache zurückzuführen sind. Angenommen, es handele sich hierbei um Kolluvien, so wären diese allerdings als Ausschlussflächen definiert worden. Vermutlich ist der Grund bei der Kartierung der Plaggenesche zu suchen. Hierbei wurden auch solche Standorte als Esch beschrieben, die gegenwärtig als Siedlung vorliegen und nicht mehr zu erkennen sind. Anzunehmen ist daher, dass die ursprüngliche Plaggeneschfläche größer war, als heute durch die HIST25 noch nachvollziehbar. Insgesamt liegt die nicht erklärte Ackerfläche nach der HIST25, nach Abzügen der bekannten Eschflächen, bei 5 %. Für dieses Gebiet greift die Berechnung über

die Ausschlussflächen und die bekannten Altackerstandorte daher zufriedenstellend, vorliegende Eschflächen sollten allerdings noch einmal genau überprüft werden.

### 4.2.8 Fazit

Aus den einzeln berechneten Flächen lässt sich eine Aussage für das gesamte Gebiet Niedersachsens treffen. Unter Berücksichtigung der unbekanntes Altackerfläche nach der HIST25 kann mithilfe der Bodenschätzung eine Fläche mit zweitem humosem ermittelt werden, die vermutlich als Wölbacker genutzt wurde. Auf Grundlage prozentualer Anteile berechnet sich für die gesamte Geest (West und Ost) eine potentielle Wölbackerfläche von ca. 15 000 ha. Beim Bergland ist die Fläche mit zweitem humosem Horizont größer als die nicht erklärte Altackerfläche. Ein Grund sind vermutlich die Kolluvien, die bei der Berechnung bisher nicht mit einbezogen wurden. Nach BK50 liegt der Anteil der Kolluvien im Bergland bei etwa 73 000 ha. Ausgehend von der gesamten Fläche tief humoser Böden ergibt sich damit eine potentielle Wölbackerfläche von ungefähr 90 000 ha, die innerhalb des nicht erklärten Altackers liegt. Bei den Teilgebieten Bördenvorland und Osnabrücker Bergland wird davon ausgegangen, dass die gesamte Altackerfläche bereits über ausgewiesene Esch- und Wölbackerflächen bekannt ist. Diese beiden Regionen bleiben daher bei der Abschätzung der noch nicht bekannten Wölbackerfläche Niedersachsens unberücksichtigt. Daher ist zu vermuten, dass insgesamt 104 000 ha Wölbackerfläche noch nicht als solche kartiert und vermerkt ist. Der größte Anteil hiervon liegt im Bergland, wo die Abgrenzung zu Kolluvien zu klären wäre.

### 5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen

Nachgewiesene Wölbackerflächen bilden die Grundlage zur Überprüfung von Annahmen zur Verbreitung, der Vorhersage zur Schutzwürdigkeit von Wölbackerböden und der Darstellung ihrer Eigenschaften unter gegenwärtigen Bedingungen. Für die Beschreibung der Morphologie und zur Charakterisierung dieser Strukturen werden Wölbackerstrukturen im Raum Göttingen und Hannover untersucht. Alle beschriebenen Flächen unterscheiden sich in Bezug auf die Nutzung, das Relief und den Erhaltungszustand voneinander. Neben eigenen Geländeaufnahmen werden auch Profildaten des NIBIS herangezogen, um eine mögliche Klimafunktion von Wölbackerböden als bedeutender Kohlenstoffspeicher zu überprüfen. Die verwendeten Daten beziehen sich auf eingeebnete Wölbackerstrukturen unter heutiger landwirtschaftlicher Nutzung.

Ziel der Auswertung von Geländedaten ist es, eine Übersicht über die Standorteigenschaften und die charakteristischen Merkmale ehemaliger Wölbackerstrukturen zu erhalten. In Bezug auf zuvor definierte Ausschlussflächen werden auf Grundlage der Beobachtungen mögliche Fehlerquellen bei der Vorhersage zur Verbreitung von Wölbackern in Niedersachsen diskutiert. Des Weiteren ermöglicht die Darstellung verschiedener Wölbackerformen und ihre Pedofunktionen eine Beurteilung im Sinne des Bodenschutzes.

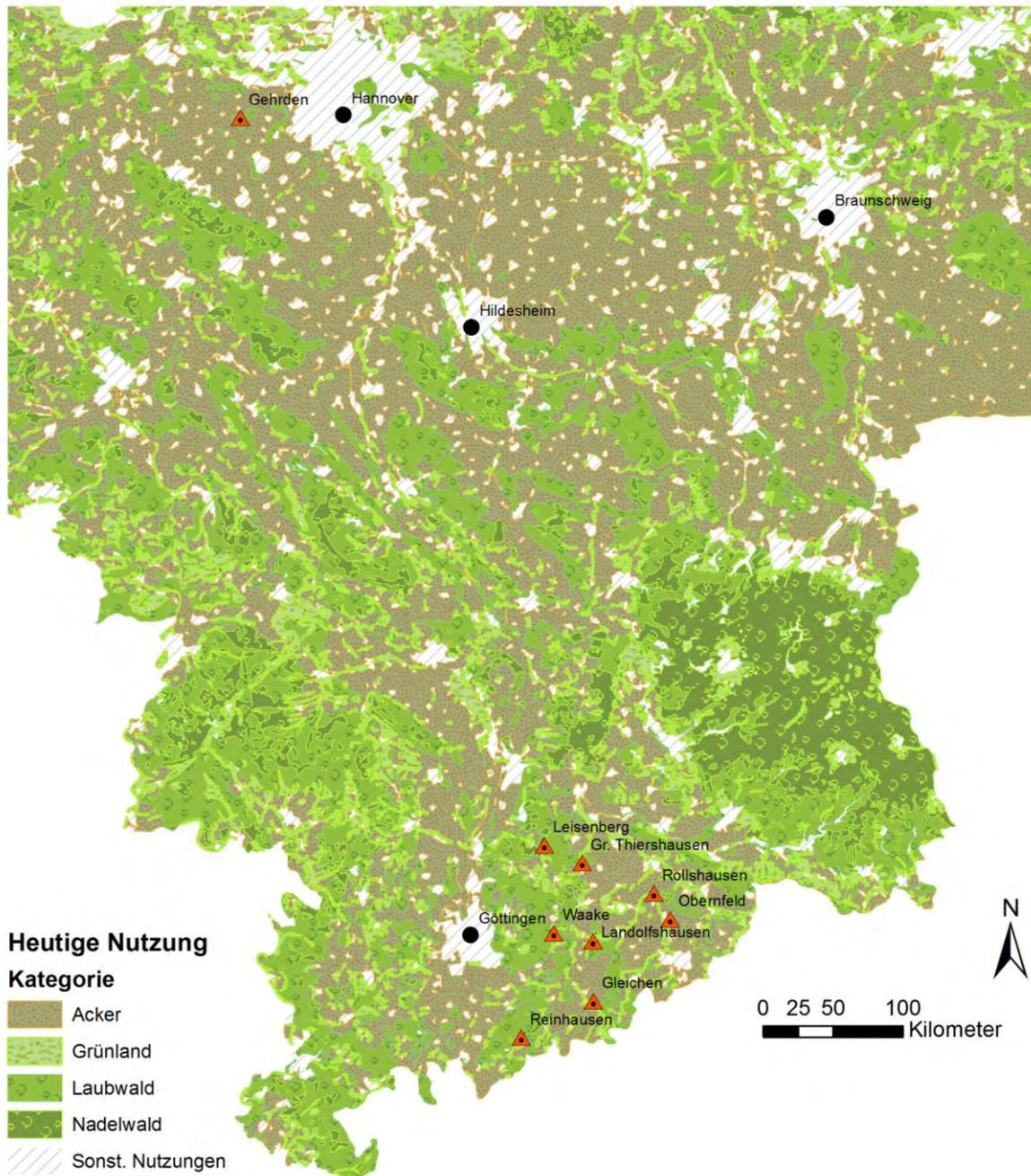
#### 5.1 Wölbackernachweise in Hannover, Göttingen und Umgebung

Im Jahr 1784 wurden die Kurhannoverschen Landesaufnahmen in Niedersachsen abgeschlossen. Das Blatt Göttingen nimmt dabei eine besondere Stellung ein, da es das einzige Blatt ist, das als handgezeichnetes Exemplar erstmals im Druck (Maßstab 1 : 25 000) veröffentlicht wurde und heute noch als Original erhalten ist. Der Göttinger Raum war in der zweiten Hälfte des 18. Jh. Teil des Fürstentums Göttingen. Bei der Darstellung ist die Flurparzellierung nicht übernommen worden, lediglich größere Flurblöcke sind abgegrenzt und Flächen, meist kreuzweise, ausschraffiert. Die großen und kleinen Streifenkomplexe lassen teils noch die mittelalterliche Ackerflur erkennen. Als Hinweis auf die damalige Dreifelderwirtschaft liegen drei große Flurbezirke im Raum Göttingen vor: (i) Weender Feld, (ii) Albaner Feld, (iii) Geismar Feld (DENECKE, 1983).

Während im Mittelalter, entlang des Leinetals, die Wiesen (Heugewinnung) und das Bruchland (Weideanger) noch überwogen, führten Meliorationsmaßnahmen Ende des 18. Jh. zu einer Nutzung als Ackerland. Die im 14. Jh. bis 15. Jh. wüst gefallenen Dörfer sind gut dokumentiert (DENECKE, 1983). Ein Relikt ehemaliger Feldfluren können Wölbackerstrukturen im Gelände sein, die sich unter Wald und Grünland, besonders in der Nähe von Wüstungen häufig noch gut an der wellenförmigen Mikromorphologie erkennen lassen. Einen Überblick über die Siedlungen und Wüstungen in Südniedersachsen geben u. a. die von E. KÜHLHORN erstellten Karten (vgl. KÜHLHORN, 1964). Im Zuge der Wüstungsforschung wurden den erhaltenen Flurrelikten sowie der Typologie und der Genese der ackerbaulichen Formen nachgegangen, um Grundlagen für die Ansprache im Gelände

## 5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen

zu schaffen (DENECKE, 1994). Einige dieser, zum Großteil bereits untersuchten Flächen, werden im Rahmen dieser Arbeit betrachtet und ihr rezenter Zustand wird im Gelände überprüft. Die Lage der untersuchten Flächen und ihre heutige Nutzung werden in Karte 14 dargestellt.



Karte 14: Lage der untersuchten Wölbackerstandorte im Teilgebiet Niedersachsens.

### **Standort 1 - Gehrden**

Das Gebiet bei Hannover wurde bereits durch Franz Antony in Hinblick auf die Verbreitung von Plaggeneschen und eine ehemalige Wölbackerfläche untersucht und befindet sich nach der Kurhannoverschen Landesaufnahme im Blatt 116 (Langenhagen). Im „Elsloher Forst“ wurden erhaltene Wölbäcker vorgefunden (vgl. ANTONY, 1988).

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das nahe gelegene Kirchwehren (Gemeinde Seelze) untersucht. Unter Wald liegen erhaltene Wölbackerstrukturen, die freisichtig zu erkennen sind. Im Bereich des angrenzenden Ackers konnte durch das Anlegen eines Profils ein zweiter humoser Horizont unterhalb der Pflugsohle festgestellt werden. Die Oberflächenform wies in diesem Bereich jedoch keine besonderen Merkmale eines Wölbackers auf.

### **Standort 2 - Reinhausen**

Die in Reinhausen vorkommenden Wölbackerareale wurden bereits durch die Diplomarbeit von WELL (1989) beschrieben und kürzlich im Rahmen des Projektes *Humusvergrabung* durch das Thünen-Institut Braunschweig unter der Leitung von A. Don untersucht. Die untersuchten Strukturen sind noch heute deutlich im Gelände erkennbar. Die offene Profilwand des ehemaligen Wölbackers erlaubt einen guten Blick auf die einzelnen Bodenhorizonte.

### **Standort 3 - Waake**

Am Standort Waake bei Göttingen liegen die mittelalterlichen Ackerbeete heute unter Grünlandnutzung. Die gewölbte Oberflächenform ist deutlich erkennbar. Im Bereich des Rückens war der Boden zur Zeit der Untersuchungen (Februar 2017) trocken, während im Bereich der Furche Wasser stand. Untersuchungen mithilfe des Pürckhauer Bohrstocks (1 m Einschlaglänge) haben ergeben, dass, im Vergleich zur Furche, im Bereich des Rückens ein mächtigerer humoser Horizont (etwa 20 cm mehr) vorliegt.

### **Standort 4 – Rollshausen**

Die Fläche nahe Rollshausen befindet sich ebenfalls unter Grünland. Die nur leichten Wölbungen lassen sich am besten aus der Ferne erkennen. Die Fläche liegt westlich der B 247 zwischen Gieboldehausen und Oberfeld, nördlich des Dorfes Rollshausen. Die ehemaligen Wölbackerstrukturen sind auf dieser Fläche nahezu vollständig eingeebnet.

### **Standort 5 - Gleichen**

Für den Standort Gleichen lag vor Beginn der Geländearbeit eine Fotografie der landwirtschaftlich genutzten Flächen bei leichter Schneebedeckung vor. Zwischen den bereits geschmolzenen Kuppen der Wölbackerfläche, liegen die noch mit Schnee bedeckten Furchen. Die zunächst eben erscheinende Fläche ist durch die Aufnahmen deutlich als ehemalige Wölbackerstruktur zu identifizieren. Auf Grundlage dieser Beobachtung wurde die Fläche mithilfe des Bohrstockes untersucht. In einem Abstand von etwa 10 m wurden Bohrstöcke gesetzt, um die Mächtigkeit humoser Horizonte zu vergleichen. Eine unterschiedliche Mächtigkeit zwischen vermuteter Kuppe und Furche konnte anhand von zwei Einschlügen beobachtet werden.

### **Standort 6 – Obernfeld**

Die Fläche *Am Flutberge* in Obernfeld ist durch Erosion geprägt. Im Bereich der hoch gelegenen Ackerflächen sind ehemalige Wölbacker durch die landwirtschaftliche Nutzung bereits eingeebnet. Die am Rande des Ackers gelegene Hohlform, die durch lineare Erosion entstanden ist, wurde vermutlich zur Zeit des Mittelalters als Weg genutzt. Die von der Schlucht aus noch erkennbaren Köpfe der Wölbacker sind durch Materialverlagerung in ihrer ursprünglichen Morphologie stark überformt. Durch das Auftreten enormer Niederschläge und der daraus resultierenden Wassererosion im 14. und 18. Jh. sind tiefe Schluchten entstanden (vgl. BORK, 2001a). Die betrachtete Fläche weist On-Site-Schäden (Entstehung von Erosionsrinnen, Verletzung der Bodendecke) auf, während Richtung Dorfkern die Off-Site-Schäden in Form von Materialanlagerung (Schlamm) noch immer sichtbar sind. Um weitere Erosionsereignisse zu vermeiden, wurde die Schlucht zwischen den Ackerflächen aufgeforstet. Dennoch kommt es aufgrund der Geländemorphologie bei Starkregenereignissen noch heute zu wiederkehrenden Erosionsprozessen.

### **Standort 7 – Groß Thiershausen**

In der Umgebung der ehemaligen Wüstung Tidershusen (heute Gr. Thiershausen) befindet sich eine bis zum 15. Jh. bewirtschaftete Wölbackerflur. Die Wüstung wurde das letzte Mal im Jahr 1465 urkundlich erwähnt (KÜHLHORN, 1970 aus BORK 1985). Durch die Nutzungsaufgabe und die spätere Aufforstung blieben die ursprünglichen Strukturen weitestgehend erhalten. Bodentypologisch liegt eine Parabraunerde im spätmittelalterlichen Kolluvium vor (BORK, 1985). Je nach Hanglage sind infolge erosiver Vorgänge, die durch Rodung und Starkniederschläge begünstigt wurden, einige Dezimeter mächtige Rinnen im Bereich der Wölbackerfurchen entstanden und ein Teil des ehemaligen Rückens abgetragen worden (BORK, 2001a). Die Flächen weisen eine vergleichsweise starke Hangneigung auf. Vom heutigen Weg aus lassen sich die Wölbackerprofile gut erkennen.

### **Standort 8 – Leisenberg**

Leisenberg ist eine von fünf Wüstungen, die den Ort Gillersheim, der seit dem Jahr 1105 besteht, umgeben. Südwestlich der noch erhaltenen Kirchrueine, die zum Wüstungs-ort Leisenberg (bis 15. Jh.) gehörte, befinden sich ehemalige Wölbackerflächen unter Wald. Die Oberflächenform der Wölbacker ist überwiegend sehr gut erhalten und aufgrund geringerer Hangneigung weniger stark durch Erosion geprägt (KARNEHM-WOLF, o.J.).

### **Standort 9 – Landolfshausen**

Zwischen dem Ort Landolfshausen und Seulingen befinden sich südlich der L 574 ehemalige Wölbackerareale, die heute landwirtschaftlich genutzt werden. Im Bereich des eingezäunten Grünlandes sind die Strukturen deutlich erkennbar. Je nach Lichteinfall, hebt sich die typische Oberflächenform deutlich ab. Unterhalb des Grünlandes sind ebenfalls noch die Formen eines Wölbackers zu erahnen. Besonders auffällig ist an diesem Standort die differenzierte Farbintensität des Getreides (Anfang April) zwischen vermutlicher Furche- und Rückenstruktur. Der Blick auf den Bestand lässt unterschiedliche kleinräumige Standortbedingungen für die Pflanzen erahnen.

## 5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen

### Standort 1 - Gehrden

Tabelle 14: Standortbeschreibung Gehrden (Wald).

<b>Bezeichnung</b>	<b>Kirchwehren</b>	
<b>Aufnahmedatum</b>	02.02.2017	
<b>Heutige Nutzung</b>	Forstwirtschaft	
<b>Koordinaten</b>	Breite: 52°21'28.4", Länge: 9 34'9.9"	
<b>Höhe</b>	58,38 m (NHN)	
<b>Neigung</b>	0,5 %	
<b>Geologie</b>	Lösslehm, humos über drenthezeitl. glazifluviatilen Sanden	
<b>Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken</b>	ca. 60 cm	
<b>Distanz zwischen Furche und Rücken</b>	ca. 8 m	
<b>Analysewerte (30-60 cm Tiefe)</b>	$C_{org}$ : 0,54 Gew.-%	$N_t$ : 0,06 Gew.-%,
	$S_t$ : 0,02 Gew.-%	pH: 3,8



Foto 1: Blick in den Bestand mit erkennbaren Wölbungen im Gelände, (Foto: I. Schmoock).

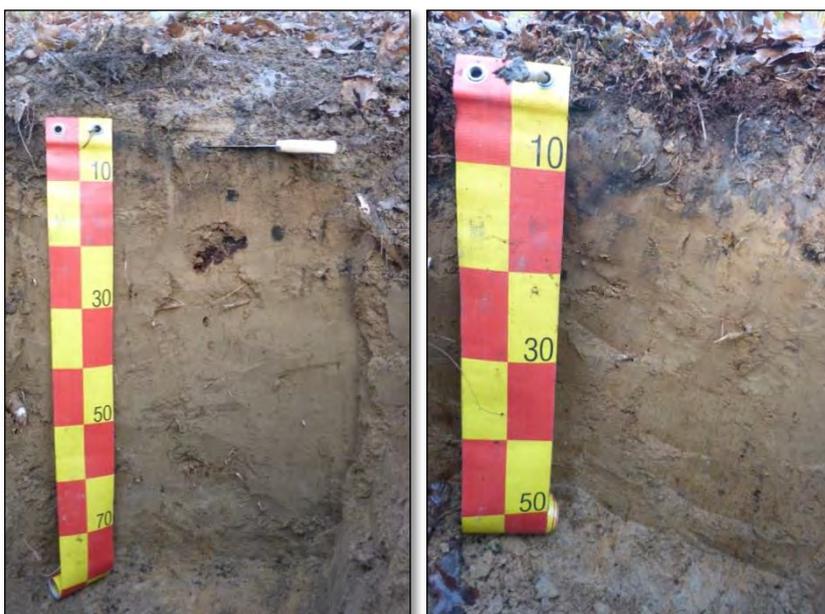


Foto 2: Links: Rückenbereich einer Wölbackerstruktur, rechts: Furchenbereich (Foto: I. Schmoock).

## 5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen

Tabelle 15: Standortbeschreibung Gehrden (Acker).

<b>Bezeichnung</b>	<b>Allerfeld</b>	
<b>Aufnahmedatum</b>	02.02.2017	
<b>Heutige Nutzung</b>	Ackerstandort	
<b>Koordinaten</b>	Breite: 52° 21' 30.75", Länge: 9° 34' 11.04"	
<b>Höhe</b>	58,61 m (NHN)	
<b>Neigung</b>	0,4 %	
<b>Geologie</b>	Lösslehm (zum Teil humos) über drenthezeitlichen, glazifluviatilen Sanden	
<b>Struktur</b>	eingeebnet	
<b>Analysewerte (0-30 cm Tiefe)</b>	C <sub>org</sub> : 1,19 Gew.-% S <sub>t</sub> : 0,02 Gew.-%	N <sub>t</sub> : 0,13 Gew.-% pH: 6,56
<b>Analysewerte (30-60 cm Tiefe)</b>	C <sub>org</sub> : 0,76 Gew.-% S <sub>t</sub> : 0,02 Gew.-%	N <sub>t</sub> : 0,09 Gew.-% pH: 6,75



Foto 3: Wölbacker - Profil unter Acker. 0-30 cm Ap, 30-60 cm wR (Foto: I. Schmoock).

### Standort 2 - Reinhausen

Tabelle 16: Standortbeschreibung Reinhausen (Wald).

<b>Bezeichnung</b>	<b>Kaninchenstein</b>
<b>Aufnahmedatum</b>	24.02.2017
<b>Heutige Nutzung</b>	Forstwirtschaft
<b>Koordinaten</b>	Breite: 51°26'14.16", Länge: 10°0'14.77'
<b>Höhe</b>	332,79 m (NHN)
<b>Neigung</b>	2-6 %
<b>Geologie</b>	Mittlerer Buntsandstein (Sollingfolge), Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen
<b>Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken</b>	ca. 80 cm
<b>Distanz zwischen Furche und Rücken</b>	8-9 m



Foto 5: Profilwand (AICÁNTARA et al., 2017).



Foto 4: Gewölbte Oberfläche im Grünland (Foto: I. Schmoock).



Foto 6: Gewölbte Oberfläche im Wald (Foto: I. Schmoock).

### Standort 3 - Waake

Tabelle 17: Standortbeschreibung Waake (Grünland).

Bezeichnung	Untere Rotenbreite
Aufnahmedatum	22.02.2017
Heutige Nutzung	Grünland
Koordinaten	Breite: 51°32'58.14", Länge: 10°03'28.63'
Höhe	275,52 m (NHN)
Neigung	4,2 %
Geologie	Oberer Buntsandstein (Röt); Tonstein, lagenweise Gips
Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken	ca. 40 cm
Distanz zwischen Furche und Rücken	6-8 m



Foto 7: Deutliche Wölbungen im Grünland (Foto: I. Schmoock).



Foto 8: Furche des ehemaligen Wölbackers (nass) (Foto: P. Gernandt).



Foto 9: Blick vom Wirtschaftsweg (Foto: P. Gernandt).



Foto 10: Rückenbereich des ehemaligen Wölbackers (trocken) (Foto: P. Gernandt).

## 5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen

### Standort 4 - Rollshausen

Tabelle 18: Standortbeschreibung Rollshausen (Grünland).

Bezeichnung	Spitzen
Aufnahmedatum	22.02.2017
Heutige Nutzung	Grünland
Koordinaten	Breite: 51 34'44.63", Länge: 10 13'3.72"
Höhe	154,84 m (NHN)
Neigung	0,7 %
Geologie	Auenlehm, toniger Schluff (kalkfrei) über sandiger bis kiesiger Niederterrasse
Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken	ca. 25 cm
Distanz zwischen Furche und Rücken	ca. 8 m



Foto 11: Erkennbare Wölbungen unter Grünland (Foto: I. Schmoock).



Foto 12: Blick auf die landwirtschaftliche Fläche (Foto: I. Schmoock).

### Standort 5 - Gleichen

Tabelle 19: Standortbeschreibung Gleichen (Acker).

<b>Bezeichnung</b>	<b>Am Beyerberge</b>
<b>Aufnahmedatum</b>	22.02.2017
<b>Heutige Nutzung</b>	Acker
<b>Koordinaten</b>	Breite: 51°28'21.2", Länge: 10°07'08.5'
<b>Höhe</b>	270,06 m (NHN)
<b>Neigung</b>	8,2 %
<b>Geologie</b>	Mittlerer Buntsandstein (Volpriehausen-Wechselfolge); Sandstein-Schluffstein-Tonstein Wechselfolgen
<b>Struktur</b>	eingebnet



Foto 13: Blick in Richtung Dorfmitte (Süden) (Foto: I. Schmoock).



Foto 14: Blick von der gegenüberliegenden Seite des Feldes mit erkennbaren Wölbackerstrukturen durch die leichte Schneebedeckung (Foto: S. Fenner).



Foto 15: Blick Richtung Norden in den Bestand (Foto: I. Schmoock).

### Standort 6 - Oberfeld

Tabelle 20: Standortbeschreibung Oberfeld (bewaldete Schlucht am Acker).

Bezeichnung	Am Flutberge
Aufnahmedatum	22.02.2017
Heutige Nutzung	Ackerstandort; Schlucht ist bewaldet
Koordinaten	Breite: 51°33'11.5", Länge: 10°14'34.7'
Höhe	187,05 m (NHN)
Neigung	18,2 %
Geologie	Unterer Buntsandstein (Bernburgfolge), Feinsandstein-Tonstein-Schluffstein (Bernburgfolge)
Struktur	erodiert



Foto 16: Ausläufer der ehemaligen Wölbackerflächen (oberhalb) (Foto: I. Schmoock).



Foto 17: Durch Erosion zerschluchteter ehemaliger Weg bzw. Schlaggrenze (Foto: I. Schmoock).

## 5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen

### Standort 7 - Groß Thiershausen

Tabelle 21: Standortbeschreibung Groß Thiershausen (Wald).

Bezeichnung	Forstweg zum Leisenberg
Aufnahmedatum	10.04.1017
Heutige Nutzung	Wald
Koordinaten	Breite: 51 36' 37.10", Länge: 10 6' 20.02"
Höhe	182,52 m (NHN)
Neigung	ca. 20 %
Geologie	Holozäne Flussablagerungen (Auelehm, -sand)
Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken	ca. 80-100 cm
Distanz zwischen Furche und Rücken	10-12 m



Foto 18: Schnitt durch ehemalige Wölbacher (H.-R. Bork).



Foto 19: Ehemalige Wölbacherfläche in Gr. Thiershausen (Foto: I. Schmoock).

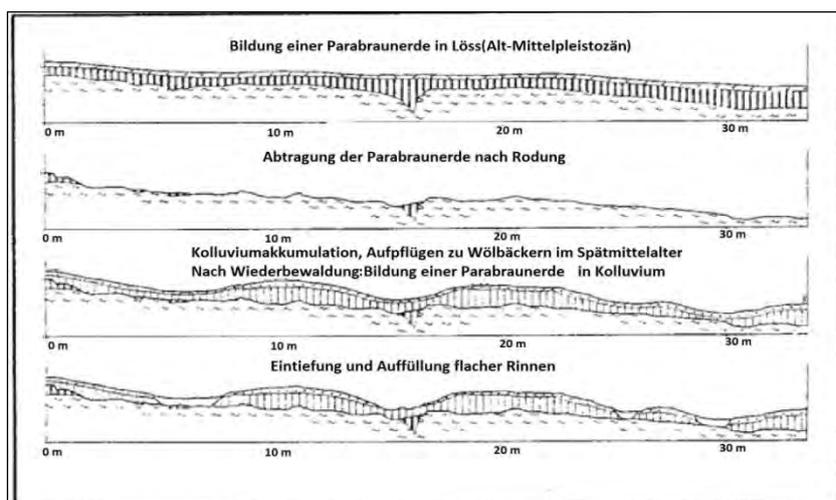


Abbildung 45: Bodenkundliche Entwicklung am Standort Thiershausen (verändert, aus WELL, 1989 nach BORK&ROHDENBURG, 1979).

### Standort 8 - Leisenberg

Tabelle 22: Standortbeschreibung Leisenberg (Wald).

Bezeichnung	Leisenberger Kirche
Aufnahmedatum	10.04.1017
Heutige Nutzung	Wald
Koordinaten	Breite: 51°37' 43.86", Länge: 10°2' 39.88"
Höhe	248,55 m (NHN)
Neigung	4,3 %
Geologie	Volpriehausenwechselfolge des Mittleren Bundsandsteins
Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken	60-80 cm
Distanz zwischen Furche und Rücken	8 m



Foto 20: Wölbacher am Standort Leisenberg (Foto: P. Gernandt).



Foto 21: Deutliche Wölbungen durch ehemaligen Wölbackerbau, südwestlich der Kirchruiene (Foto: I. Schmoock).

### Standort 9 - Landolfshausen

Tabelle 23: Standortbeschreibung Landolfshausen (Grünland).

Bezeichnung	Steinlandsfeld
Aufnahmedatum	10.04.1017
Heutige Nutzung	Grünland
Koordinaten	Breite: 51°31' 55.95", Länge: 10°7' 10.67"
Höhe	199,64 m (NHN)
Neigung	19 %
Geologie	Umgelagerter Löss über Lösslehm und Löss über Volpriehausensandstein des Mittleren Buntsandsteins
Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken	ca. 40 cm
Distanz zwischen Furche und Rücken	ca. 10-12 m



Foto 22: Ehemalige Wölbäcker unter Grünland (Foto: H. Steinmann).



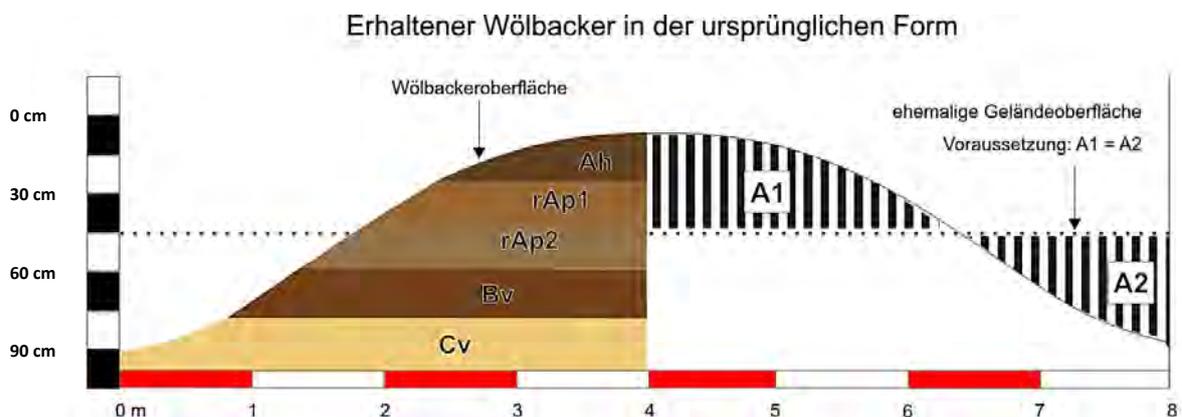
Foto 23: Blick auf die landwirtschaftliche Fläche mit deutlichen Farbunterschieden im Bestand (Foto: I. Schmoock).

### 5.2 Systematik der Wölbäcker aus bodenkundlicher Sicht

Auf Grundlage vorliegender Literatur und eigener Geländebeobachtungen können Wölbäcker im Wesentlichen in drei verschiedene Formen unterschieden werden: (i) Erhaltene Wölbäcker, (ii) eingeebnete Wölbäcker, (iii) erodierte Wölbäcker. Daraus ergeben sich aus bodenkundlicher Sicht verschiedene Horizontabfolgen. Bei der Ansprache von Wölbäckerböden muss daher zwischen den Grundtypen (i) primärer (ursprünglich bzw. erhalten) und (ii) sekundärer (eingeebnet bzw. überformt) Wölbäcker differenziert werden.

#### 5.2.1 Erhaltene Wölbäcker (primär)

Die erhaltene Form eines Wölbäckers konnte im Gelände unter Wald beobachtet werden (Skizze 4, links). Der ehemalige Pflughorizont wird in der Darstellung als reliktsch (rAp) bezeichnet. Darunter fallen alle Horizonte, deren Merkmale nicht unter rezenten Bedingungen entstanden sind, die aber in die aktuelle Pedogenese mit einbezogen werden können. In diesem Fall ist die Ausprägung des Horizontes auf die mittelalterliche Zeit der Wölbäckerphase zurückzuführen. Häufig sind zwei Pflugphasen nachweisbar, die hier als rAp1 und rAp2 bezeichnet werden. Darüber befindet sich der humose mineralische Oberboden (Ah), der sich durch die Akkumulation organischer Substanz aufgrund forstlicher Nutzung und der damit einhergehenden Vegetation entwickelt hat. Materialanlagerungen im Bereich der Furche werden in dieser Skizze nicht berücksichtigt. Exemplarisch wird von einem verwitterteren Unterbodenhorizont (Bv) ausgegangen. Darunter liegt der Horizont des verwitterten Ausgangsmaterials (z. B. Löss), der als Cv beschrieben wird (vgl. AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005).



Skizze 4: Links: Erhaltene Wölbäckerstruktur unter Wald, rechts: Rekonstruktion einer primären Wölbäckerstruktur in Anlehnung an MEIBEYER (1969).

Basierend auf vorliegender Literatur (MEIBEYER, 1969) erfolgt die schematische Darstellung eines Wölbäckerprofils in seiner ursprünglichen Form (rechts). Die Horizontbezeichnung erfolgt auf Grundlage der aktuellen Kartieranleitung (KA 5). Angenommen wird eine Breite von 8 m und ein Höhenunterschied von ca. 80 cm

zwischen Rücken und Furche. Voraussetzung für diese Skizze ist die Annahme, dass der Auftrag in der Kuppe der Materialentnahme in der Furche entspricht.

Bei fortschreitender Nutzung, kann dies nicht gewährleistet werden, da es wiederkehrend zur Umlagerung von Material kommt. Daher handelt es sich lediglich um eine schematische Darstellung einer Wölbackerstruktur. Die Darstellung dient dazu, die einzelnen Horizonte und das morphologische Erscheinungsbild eines primären Wölbackertyps abzubilden.

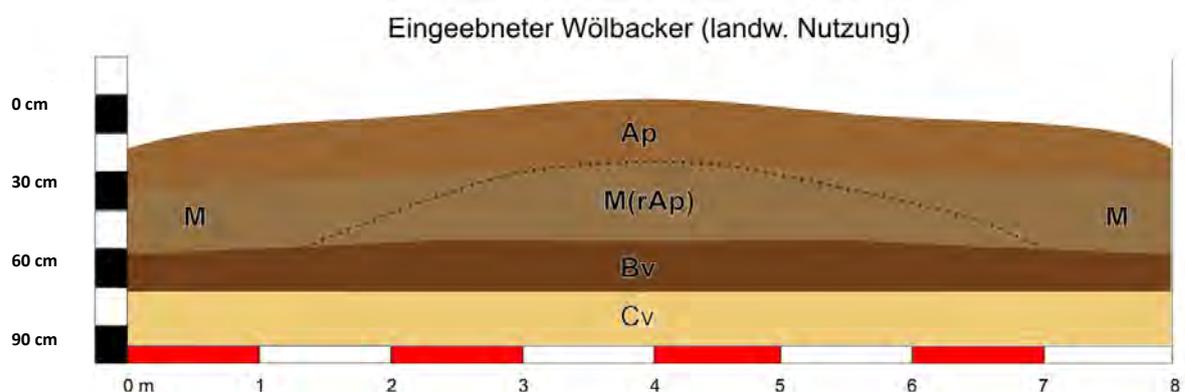
### 5.2.2 Eingebnete Wölbäcker unter landwirtschaftlicher Nutzung (sekundär)

Bei der ackerbaulichen Nutzung wird durch Einsatz des modernen Pfluges die ursprüngliche Struktur eines Wölbackers überprägt und Bodenmaterial wird in die ehemalige Furche eingetragen. Die daraus resultierende Struktur hängt im Wesentlichen von der Dauer und Intensität der Bodenbearbeitung ab. Im Bereich des aktuellen Pflughorizontes (Ap) ist die Wölbacker-Vergangenheit in Form einer leichten Oberflächenwölbung zum Teil noch erkennbar. Der reliktsche Pflughorizont, welcher durch den Einsatz des Streichbrettpfluges entstand, ist kaum von der Verfüllung im Bereich der Furchen abzugrenzen. Dieser zweite Horizont wird als M bezeichnet und ist wie folgt definiert (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005):

Mineralbodenhorizont mit folgenden Eigenschaften:

- Mindestgehalt an organischer Substanz, in der Regel wie bei Ah-Horizont
- vor Umlagerung pedogen oder durch Bodenbearbeitung verändert
- transportierte Auftragsmasse

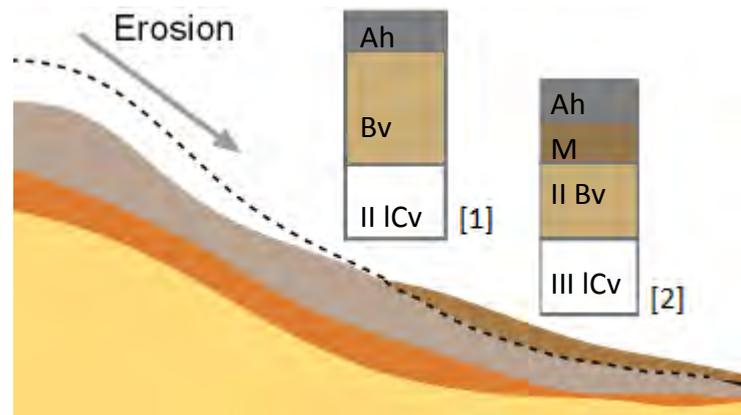
Im Bereich des ehemaligen Beetes entspricht der M-Horizont dem reliktschen Pflughorizont (rAp). Im Gelände kann häufig noch der ehemalige Materialauftrag über den Einsatz eines Bohrstockes (Pürckhauer) nachgewiesen werden. Dabei wird der Horizont unter der aktuellen Pflugsohle betrachtet (etwa 30-60 cm Tiefe).



Skizze 5: Eingebnete Wölbackerstruktur (durch ackerbauliche Nutzung).

### 5.2.3 Erodierete und verfüllte Wölbäcker (sekundär)

Abhängig von den Reliefbedingungen (Kuppe, Ober/Mittel/Unterhang, Verflachung) eines Standortes entwickeln sich unterschiedliche Bodentypen. Durch Bodenerosion wird humoses Oberbodenmaterial den Hang abwärts transportiert. Bei flacher Hangneigung und in Senkenbereichen kommt es zur Akkumulation von organischer und mineralischer Bodensubstanz. Die Skizze 6 stellt die Pedogenese im Hangbereich dar. Während sich bei mittlerer Neigungsstufe eine Braunerde entwickelt hat, liegt im Bereich leichter bis keiner Hangneigung ein Kolluvium vor (vgl. CHMIELESKI, o.J.; STAHR, 2014).



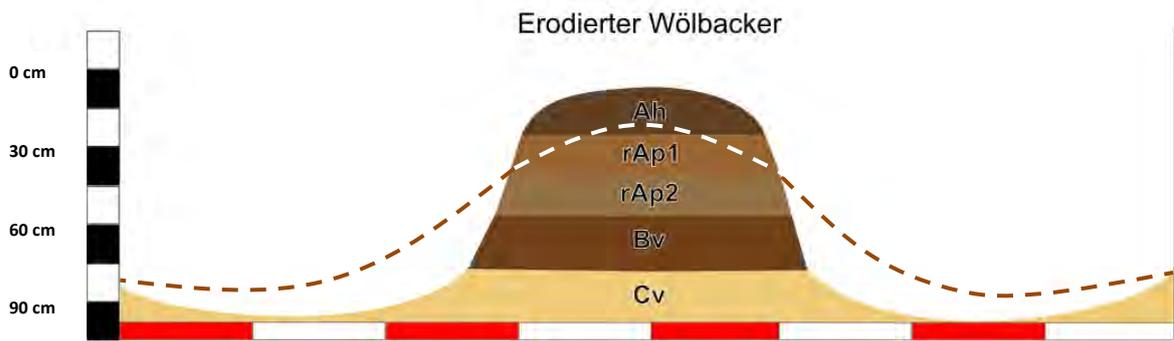
Skizze 6: Bodenentwicklung am Hang (Catena) (verändert nach STAHR, 2014; CHMIELESKI, o.J.). 1: Braunerde bei mittlerer Hangneigung, 2: Kolluvium bei leichter Hangneigung.

Übertragen auf Wölbackerstrukturen bedeutet dies, dass je nach Reliefposition Material abgetragen oder angelagert wird. Die erodierte Form einer Wölbackerstruktur kommt daher in zwei Varianten vor: (i) Der durch Materialabtrag geprägten und (ii) der durch umgelagertes Material verfüllten. Die stark erodierte Form eines Wölbackers ist im Bereich starker Hangneigung zu erwarten. Die verfüllte Form (Kolluvium) entsteht am Hangfuß und in Senkenbereichen.

#### (i) Erodierter Wölbackertyp

Die durch zeitweilige Vegetationslosigkeit, starke Hangneigung und Niederschlagsereignisse begünstigte Erosion führte verbreitet zu tiefen Einschnitten der Furchen und verkürzten Profilen im Bereich der ehemaligen Beete. Der Höhenunterschied zwischen Furche und Rücken stieg durch den Oberflächenabfluss stetig an. Im erhaltenden Teil des ehemaligen Wölbackers lässt sich die Mächtigkeit der reliktschen Pflughorizonte meist noch nachvollziehen, unter aktueller forstlicher Nutzung bildet sich außerdem ein humoser Oberboden (Ah). Je nach Relief und Ausmaß der Erosion sind die Furchen durch lineare Erosion zu mächtigen Schluchten worden und die Wölbäcker noch als Köpfe oder stark verkürzt sichtbar (vgl. Standort Oberfeld). Zum Teil ist das erodierte Material in den Furchen angelagert. Die reliefabhängigen Szenarien werden in Skizze 7 durch die gestrichelten Linien angedeutet.

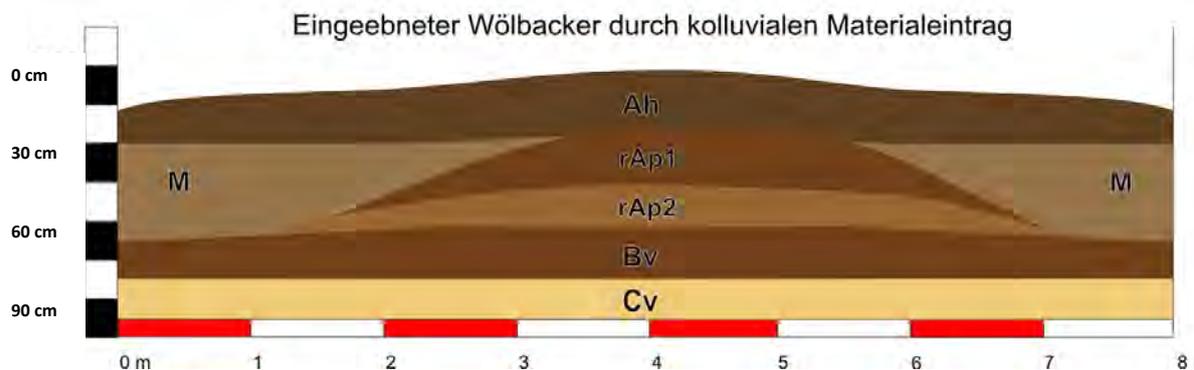
## 5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen



Skizze 7: Durch Oberflächenabfluss erodierte Wölbackerstruktur.

### (ii) Kolluvial verfüllter Wölbackertyp

Durch den Materialeintrag ist, wie bei der eingeebneten Form unter landwirtschaftlicher Nutzung, der Bereich der reliktschen Pflughorizonte nur schwer vom kolluvialen Horizont (M) abzugrenzen. Im Bereich der Furchen sammelt sich Bodenmaterial an und verfüllt so die Rinnen. Darüber entwickelt sich unter der Waldvegetation ein humoser Oberbodenhorizont (Ah). Durch den kolluvialen Materialeintrag ist die ursprüngliche Form des Wölbackers in der Regel nicht mehr als solche erkennbar (Skizze 8).



Skizze 8: Eingeebnete Wölbackerstruktur (durch kolluvialen Materialeintrag).

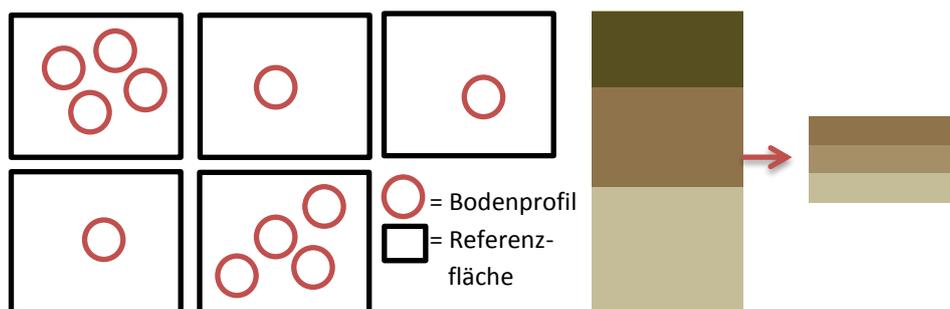
### 5.3 Profildatenauswertung - Klimabedeutung von Wölbackerböden

Kennzeichen einer ehemaligen Nutzung als Wölbacker sind u. a. erhöhte Humusvorräte im Bereich ehemaliger Wölbacker-Rücken, eine verbesserte Wasserregulierung infolge der Wölbungen sowie eine Verbesserung der bodenphysikalischen Eigenschaften, wie z. B. Lagerungsdichte, höhere Porenvolumina, etc. (vgl. LÜST&GIANA, 2006). Durch den Auftrag humosen Materials im Bereich der Kuppe besteht die Vermutung, dass Wölbackerböden eine potentiell bedeutsame Kohlenstoffsенке darstellen könnten. Die Kohlenstoffspeicherung von Wölbackerböden unter Wald wurde bereits durch das Thünen-Institut erfasst (ALCÁNTARA et al., 2017). Die Bedeutung ackerbaulich genutzter Wölbackerböden als Kohlenstoffsенке stellt eine offene Fragestellung dar, die nachfolgend auf Grundlage einzelner Profildaten aus dem Bundesland Niedersachsen untersucht wird.

#### 5.3.1 Methodik

Zur Überprüfung werden vorhandene Daten zu den bodenchemischen- und physikalischen Parametern von neun Profilen aus der Labor- und Profildatenbank der BGR mit aktuell lokal vorherrschenden Kohlenstoffgehalten verglichen. Die Verteilung der Profile innerhalb Niedersachsens wird mithilfe von ARCMAP (10.4) dargestellt und stützt sich auf der Darstellung der Kohlenstoffvorräte in 30-60 cm Tiefe für landwirtschaftlich genutzte Böden Niedersachsens (Karte 15; vgl. GeoBerichte 27, LBEG). Die Zuweisung der  $C_{org}$ -Gehalte basiert auf der Kohlenstoffdatenbank und wird unter Berücksichtigung der Trockenrohdichte und Abschätzung des Skelettgehaltes hergeleitet. Die Bestimmung der Kohlenstoffgehalte geht auf die Leitprofile der BÜK50 (Bodenübersichtskarte 1 : 50 000) zurück (MÖLLER&KENNEPOHL, 2014).

Die Profildaten werden durch das LBEG (Hannover) bereitgestellt und beinhalten die Textur, die  $KAK_{pot}$  ( $mmol\ c\ kg^{-1}$ ) sowie den Humusgehalt (Gew.-%). Die Auswertung findet mit R STUDIO (1.0.136) statt. Es handelt sich bei den Daten um die Auswertung von insgesamt elf Profilen mit Wölbacker-Vergangenheit. Davon liegen neun Profile unter landwirtschaftlicher Nutzung. Aus diesen Profilen werden die Daten der Humusgehalte (Tiefe von ca. 30 bis 60 cm) für die Auswertung verwendet. Dabei muss berücksichtigt werden, dass mehrere Tiefenabschnitte eines Profils mit in die Auswertung einfließen können (z. B. Humusgehalt für 35-45 cm, 45-55 cm), sodass sich ein Stichprobenumfang von insgesamt  $n = 21$  und für die Referenzflächen  $n = 5$  ergibt (vgl. Skizze 9).



Skizze 9: Modellhafte Darstellung der untersuchten Referenzflächen und Profile mit einzelnen Tiefenabschnitten.

Für die Auswertung werden zunächst folgende Hypothesen formuliert:

$H_0$  = Der Humusgehalt von Wölbackerböden unter landwirtschaftlicher Nutzung unterscheidet sich in einer Tiefe von 30-60 cm nicht signifikant ( $\alpha=0,05$ ) von den lokal durchschnittlich vorherrschenden Humusgehalten landwirtschaftlich genutzter Böden.

$H_A$  = Der Humusgehalt von Wölbackerböden unter landwirtschaftlicher Nutzung unterscheidet sich in einer Tiefe von 30-60 cm signifikant ( $\alpha=0,05$ ) von den lokal durchschnittlich vorherrschenden Humusgehalten landwirtschaftlich genutzter Böden.

Die verwendeten Daten und das Skript zur Auswertung mit R STUDIO können dem Anhang entnommen werden.

### 5.3.2 Ergebnisse

Alle Daten liegen normalverteilt vor ( $p > 0,05$ ) und weisen keine Varianzhomogenität auf (F-TEST,  $\alpha=0,05$ ). Die Überprüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den Profildaten und den Daten der Referenzflächen (WELCH-TEST) ergibt, dass  $H_0$  angenommen und  $H_A$  abgelehnt wird ( $p = 0.3517$ ). Der Humusgehalt der untersuchten Profile beträgt im Mittel 0,50 % (Median) und bei den Referenzflächen 0,54 % (Median). Der Humusgehalt von Wölbackerböden unter landwirtschaftlicher Nutzung unterscheidet sich in einer Tiefe von 30-60 cm nicht signifikant ( $\alpha=0,05$ ) von den lokal durchschnittlich vorherrschenden Humusgehalten landwirtschaftlich genutzter Böden (Abb. 46).

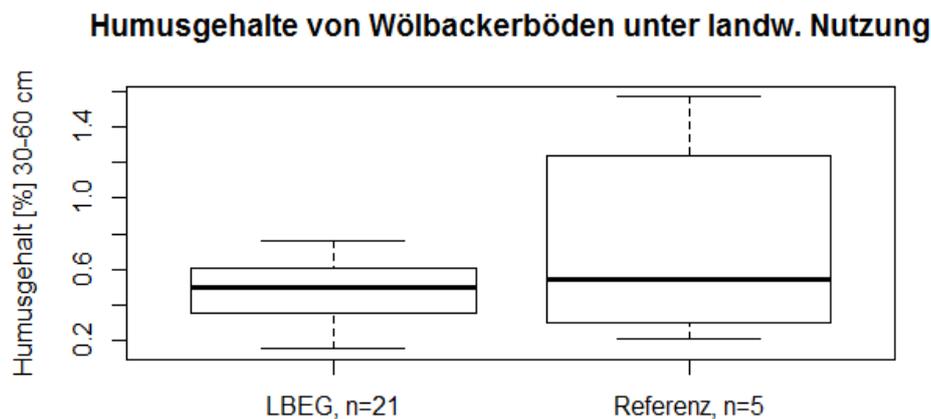
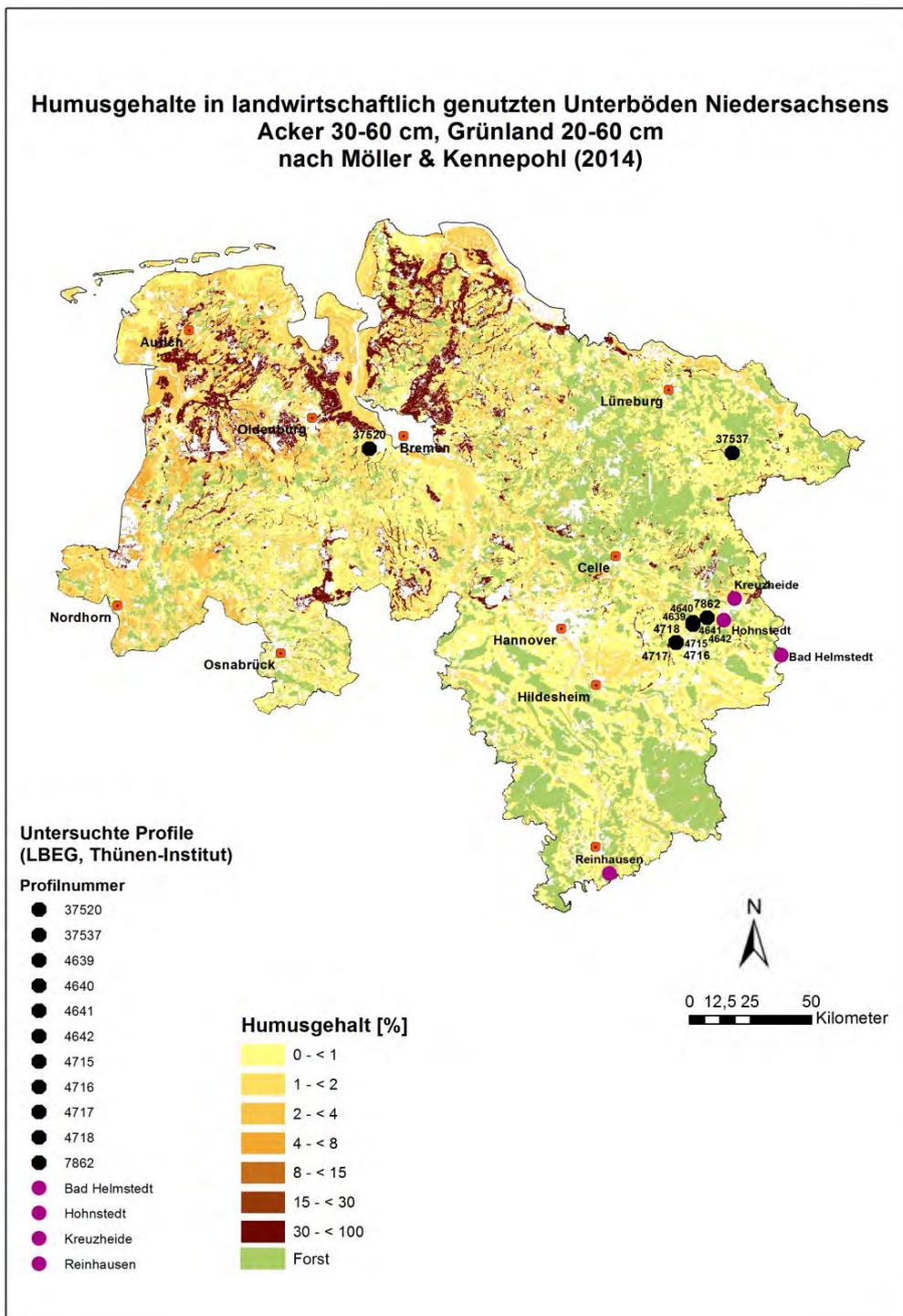


Abbildung 46: Boxplot zum Vergleich der Humusgehalte von Wölbackerböden und Referenzflächen unter landwirtschaftlicher Nutzung (Tiefe von 30-60 cm).

5.3.3 Lage der untersuchten Profile (LBEG, Thünen-Institut)



Karte 15: Verteilung untersuchter Wölbackerprofile (LBEG, THÜNEN-INSTITUT) unter Einbeziehung der Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Unterböden Niedersachsens nach MÖLLER&KENNEPOHL, 2014.

### 5.3.4 Diskussion

Durch den Streichbrettpflug wurde humoses Material dem Bereich der Furche entnommen und im Bereich des Rückens angereichert. Zunächst wäre daher von einer neutralen Bilanz auszugehen, da die gesamte Struktur betrachtet werden muss. Anhand der Nutzungsdauer bzw. dem Zeitpunkt der Aufforstung kann abgeschätzt werden, wie lange der humose Horizont im Bereich des Rückens bereits vergraben bzw. überprägt ist. Ungewiss ist allerdings häufig der genaue Zeitraum der ackerbaulichen Nutzung ehemaliger Wölbackerflächen. Zur Aufforstung liegen zum Teil Nachweise vor, die auf das 17. bis 19. Jh. verweisen (vgl. ALCÁNTARA et al., 2017). Unter ackerbaulicher Nutzung wurden die Flächen eingeebnet. Es ist daher zwar von einem erhöhten Humusgehalt im Bereich der ehemaligen Beete bis etwa 60 cm Tiefe auszugehen.

ALCÁNTARA et al. (2017) haben fünf erhaltene Wölbackerstandorte unter forstlicher Nutzung auf ihre Kohlenstoffgehalte untersucht (Anhang 4, 5). Vier davon liegen in Niedersachsen, ein weiterer Standort (Eddessen) befindet sich in Westfalen. In einer Tiefe von 0 bis 10 cm konnten bei vier Standorten höhere OBS-Gehalte in der Furche ( $45 \pm 5 \text{ g kg}^{-1}$ ), als in der Kuppe ( $28 \pm 3 \text{ g kg}^{-1}$ ) festgestellt werden. In einer Tiefe von 10 bis 20 cm sind die Gehalte in der Furche ebenfalls leicht höher als im Bereich der Rückenstruktur und der Referenzfläche. ALCÁNTARA et al. (2017) nennen als Grund den Eintrag von Material (vor allem Streu) im Bereich der Furche infolge von „Stilllegung“ und Aufforstung der Flächen (Abb. 47).

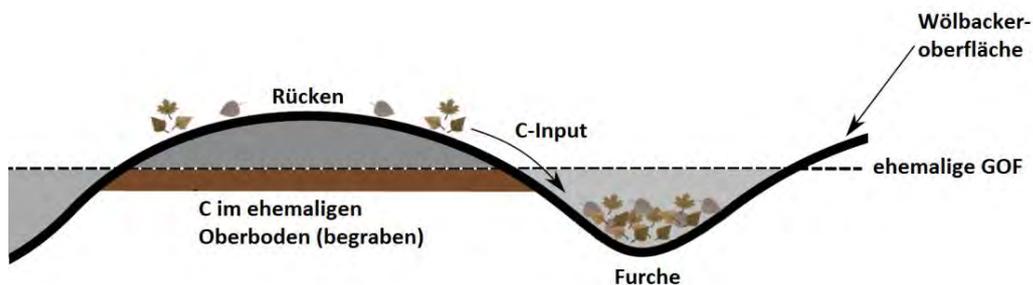


Abbildung 47: Mikromorphologie von Wölbackerstrukturen (verändert nach ALCÁNTARA et al., 2017).

Im vergrabenen Pflughorizont (Tiefe: 20 bis 33-52 cm) ist der OBS-Gehalt im Bereich der Kuppe zwischen  $0,4\text{-}0,9 \text{ g kg}^{-1}$  höher. Dies ist durch die damalige Anhäufung humosen Materials zu erklären. Es liegen jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen Rücken und Furche vor (ALCÁNTARA et al., 2017).

Bei untersuchten Wölbackerprofilen in der Natteheide (Brandenburg) konnten im Bereich der Furche in einer Tiefe von 15-25 cm ein Gehalt von 3 %  $C_t$  festgestellt werden. Im Bereich des Rückens lag der Kohlenstoffgehalt bei 3,2 %  $C_t$  (10-25 cm), in einer Tiefe von 40-50 cm bei 3,4 %  $C_t$  und im zweiten rAp (50-80 cm) bei 1,5 %  $C_t$  (HIEROLD, 2012). Nach HIEROLD (2012) sind Wölbacker daher, aufgrund mächtiger humoser Oberboden-Horizonte, in Hinblick auf ihre Klimawirkung von besonderer Bedeutung, da auch lange nach ihrer Nutzung hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff nachgewiesen werden können.

Bei der Untersuchung eingeebener Flächen im Rahmen dieser Arbeit zeigte sich, dass keine signifikanten Unterschiede des Humusgehaltes zwischen Einzelprofilen und Referenzflächen im Bereich des vergrabenen Oberbodenhorizontes bestehen.

### 5.3.5 Fazit

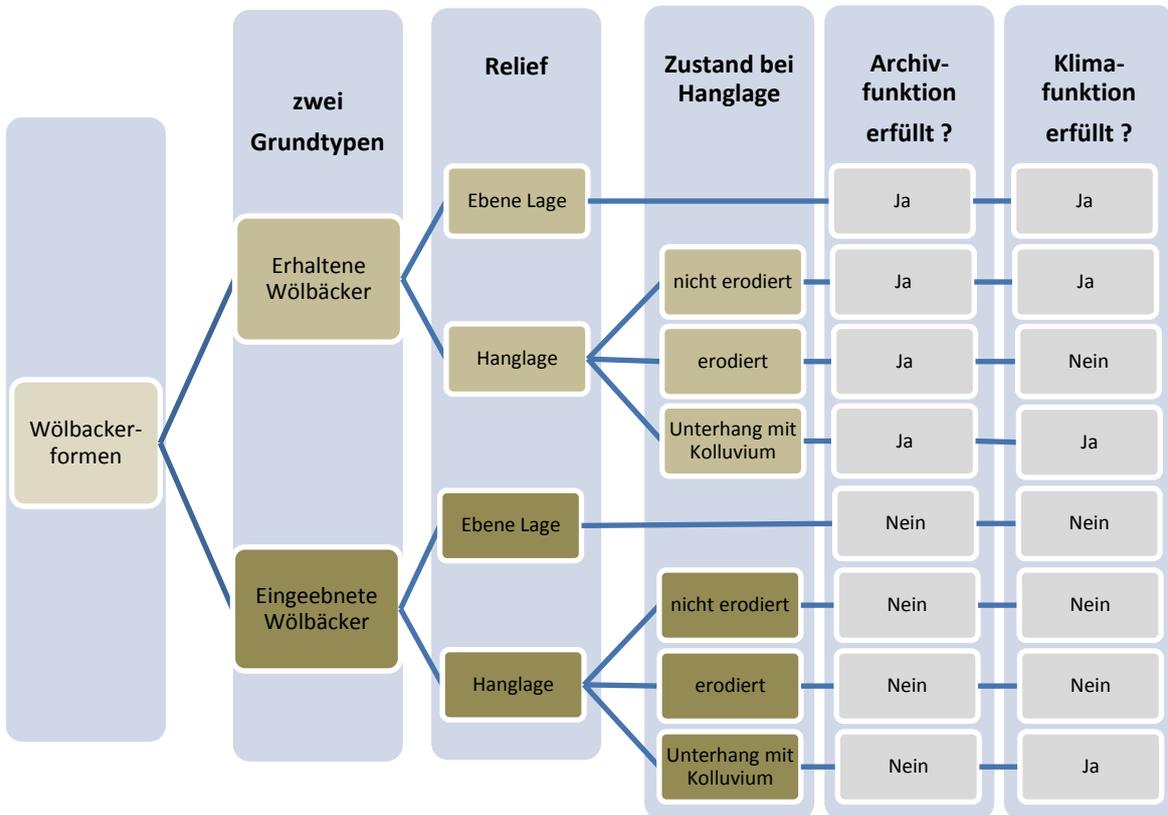
Unter forstwirtschaftlicher Nutzung ist eine Anreicherung organischer Substanz im Bereich der Furche festgestellt worden. Je nach Relief kann Material des Oberhanges eine Wölbackerstruktur, z. B. durch kolluvialen Materialeintrag, im Bereich der Furche auffüllen. Unter ebenen Bedingungen hängt die Anreicherung hauptsächlich von der Vegetation am Standort ab. Diese Bedingungen können zu signifikant höheren Humusgehalten im Bereich der Furche führen, die allerdings weniger auf den Wölbackerbau an sich zurückzuführen sind, sondern vielmehr auf den Materialeintrag, der post festum stattfindet.

Insgesamt konnte der Vergleich der Daten herausstellen, dass es sich bei Wölbackerböden tendenziell um keine potentielle Kohlenstoffsenke handelt, da das humose Material des Rückens der Furche entnommen, sodass eine weitestgehend ausgeglichene Bilanz zu erwarten ist. Allerdings bedarf es weiterer Erkenntnisse in Bezug auf Kohlenstoffumsetzung und -sequestration des zweiten humosen Horizontes in der eingeebneten Form. Darüber hinaus ist der damalige Eintrag von weiterem organischem Material, etwa über Stallmist, Waldstreu, etc. zu berücksichtigen. Bei erhaltenen Wölbackern spielt zudem der Eintrag von Vegetationsresten eine Rolle (Streu).

Bei der Betrachtung der Daten muss berücksichtigt werden, dass es sich um einen vergleichsweise kleinen Datensatz handelt. Die Referenzflächen sind darüber hinaus weniger standortsspezifisch als in vergleichbaren Studien im Gelände. Eine Laboranalyse einzelner Profile, inklusive Referenzflächen, war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Eine genauere Erfassung der Kohlenstoffgehalte kann daher nur im Gelände stattfinden. Hier besteht weiterhin Forschungsbedarf bei der eingeebneten Form von Wölbackerböden. Auf diese Weise könnten weitere Faktoren (z. B. Vegetation, Relief, Substrateinfluss, kleinräumige Schwankungen, etc.) ausgeschlossen werden. Bei der Bewertung von Wölbackerböden als Kohlenstoffsenke müssen die genannten Formen von Wölbackern (Kap. 5.2) berücksichtigt werden.

### 5.4 Bewertung der Archiv- und Klimafunktion von Wölbackern

Die Geländeaufnahmen und die Auswertung der Profildaten lassen sowohl Rückschlüsse auf die unterschiedlichen Formen von Wölbackern schließen, als auch auf ihre Funktionen als kulturgeschichtliche Archive und Kohlenstoffspeicher. Daraus ergibt sich eine Übersicht relief- und nutzungsabhängiger Wölbackerformen und ihrer Bedeutung im Sinne des Bodenschutzes (Skizze 10).



Skizze 10: Bewertung der Archiv- und Klimafunktion im Sinne des Bodenschutzes unter Berücksichtigung der verschiedenen Wölbackertypen.

Erhaltene Wölbackerböden erfüllen sowohl eine Funktion als Kohlenstoffspeicher als auch als Archive. Zum einen ist bei dieser Form der Wölbacker der ehemalige Pflughorizont, der Hinweise auf die historische Bodenbearbeitung liefert, noch erhalten, zum anderen sind erhöhte Kohlenstoffgehalte bei erhaltenen Strukturen unter Wald in ebener Lage nachgewiesen worden. In Hanglage wird die Archivfunktion bei der erodierten Form des Wölbackers ebenfalls erfüllt, da die ursprüngliche Horizontabfolge in den erhaltenen Rückenbereichen in der Regel noch erkennbar ist. Als Kohlenstoffspeicher sind allerdings nur die verfüllten Formen am Unterhang von Bedeutung, da das humose Material in diesem Bereich akkumuliert. Demnach erfüllen alle erhaltenen Wölbackerformen im Sinne des BBodSchG eine Archvifunktion.

Bei erhaltenen Wölbackern ist die Bedeutung von Wölbackerböden im Sinne des Klimaschutzes vom Relief und dem daraus resultierenden Zustand abhängig. Als Kohlenstoffsенке im Sinne des Klimaschutzes spielen erodierte Strukturen in Hanglage kaum bis gar keine Rolle, erhaltene und kolluvial verfüllte Wölbacker hingegen sind ein bedeut-

## **5 Analyse bekannter Wölbackerböden zur Validierung aufgestellter Hypothesen**

---

samer Kohlenstoffspeicher. Bei erhaltenen Strukturen muss besonders die sogenannte Humusvergrabung und der damit einhergehende reduzierte Humusabbau im ehemaligen Oberboden berücksichtigt werden.

Die ursprüngliche Horizontabfolge kann bei eingeebneten Wölbackern nur bedingt nachvollzogen werden, was eine Abgrenzung zum Kolluvisol erschwert. Daher sind eingeebnete Wölbackerformen bezüglich einer Archivfunktion nur mittelbar von Bedeutung. Da sich der Humusgehalt bei eingeebneten Wölbackerflächen nicht signifikant von den Referenzflächen unterscheidet, spielen diese Böden vermutlich keine besondere Rolle für den Klimaschutz. Lediglich kolluvial verfüllte Flächen am Unterhang können durch die erhöhte Menge humosen Materials eine solche Klimafunktion erfüllen.

### 6 Zusammenfassende Diskussion

#### 6.1 Gründe für den Wölbackerbau

Während der letzten Dekaden wurden die Gründe für den Wölbackerbau wiederholt diskutiert. Die bei BARTUSSEK (1982) bereits genannten Gründe konnten anhand vorliegender Literatur und Geländebeobachtungen überprüft werden.

Wie schon BARTUSSEK (1982) feststellte, bestand die Idee der gewölbten Beete vermutlich lange vor Einsatz des Pfluges und fand später mit fortschreitender Technisierung verbreitet Anwendung. Die Verwendung des Streichbrettflugers wird ebenfalls im aktuellen Werk zur Agrargeschichte als Ursprung für die Entstehung von Wölbäckern angegeben (BRAKENSIEK et al., 2016). Die Datierung dieser Bewirtschaftungsform geht auf verschiedene Nachweise zurück, die zum einen in der technischen Entwicklung der Pfluggeräte begründet sind und zum anderen auf Beobachtungen im Gelände basieren (z. B. WIEGAND, 2005; POSCHOLD, 2014). Zudem konnten regionale Studien bereits einen entscheidenden Beitrag zur Untersuchung von Wölbackerflächen leisten (z. B. JÄGER, 1968; BORK, 1985). Anzunehmen ist, dass der Wölbackerbau multifaktoriell begründet war, hauptsächlich aber durch die Möglichkeit einer neuen Pflugtechnik entstanden ist, durch die die Standorteigenschaften für den Ackerbau verbessert werden konnten. Weitere Autoren kamen aufgrund lokaler Beobachtungen zu sehr differenzierten Begründungen, die mehr standortspezifisch, aber weniger allgemein zu verstehen sind. Durch eigene Geländebeobachtungen konnten einige davon bestätigt werden.

Die verbesserte Wasserspeicherkapazität (i) durch die tiefgründigen Beete konnte bei gleichzeitiger Entwässerung über die Furche durch Beobachtungen am Standort Waake am besten nachvollzogen werden. Während hier das Wasser in der Furche stand, blieb der ehemalige Rückenbereich trocken. MEIBEYER (1969) nennt ähnliche Beobachtungen auf sandigen Wölbackerböden der Lüneburger Heide: Während auf der Kuppe die Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*) als Zeigerpflanze für Trockenheit vorkommt, wächst im Bereich der Furche das für stau- und wechselfeuchte Standorte typische Pfeifengras (*Molinia coerulea*). Die erhöhte Wasserspeicherung steht in Zusammenhang mit der zunehmenden Gründigkeit der Böden und der erhöhten pflanzenverfügbaren Wassermenge im Bereich ehemaliger Kuppen. Daraus resultiert vermutlich auch der zweite Grund für Wölbäcker: Die sogenannte „Risikoversicherung durch stabile Erträge“ (ii), die bei BARTUSSEK (1982) genannt wird. Die Humusanreicherung (iii) durch den Auftrag von Oberbodenmaterial konnte über den Einsatz des Bohrstockes festgestellt werden. Zudem wird der zweite humose Horizont in verschiedener Literatur beschrieben (z. B. HIEROLD, 2012; ALCÁNTARA et al., 2017). Durch die unterschiedliche Mächtigkeit humosen Bodenmaterials entstehen kleinräumig unterschiedliche Standortbedingungen. Diese werden z. B. durch den Pflanzenaufwuchs sichtbar. Gestützt wird diese Theorie u. a. durch die Geländebeobachtungen in Landolfshausen, wo das Getreide unterschiedliche Farbintensitäten aufweist. Weitere Ursachen sind jedoch zu überprüfen, um einen sicheren Bezug zum Wölbackerbau herzustellen.

Wie bereits angenommen, ist der Bereich des Rückens während des Mittelalters ackerbaulich genutzt worden, während sich im Bereich der Furche Beikraut etablierte. Nachweise dieser Bewirtschaftungsform liegen vor allem als Zeichnungen vor, auf denen die Pflugtechnik zu sehen ist. Die Entwicklung der Kulturpflanzen auf den Beeten wird jedoch selten dargestellt. Als sichere Nachweise dienen daher meist nur Beschreibungen, eine Zeichnung mit erkennbarer Vegetation ist Anhang 6 zu entnehmen.

Für den Grund einer besitzrechtlichen Abgrenzung der Parzellen zum Schutz von Bodendiebstahl (iv) liegen einzelne Hinweise vor. So nennt MEIBEYER (1969) als eine besondere Form der Wölbäcker eine zwischen 1 und 1,5 m breite Wölbung im Bereich der Furchen. Um die Bodenbearbeitung zu erleichtern, wurden lose Steine von Acker- und Grünlandflächen aufgelesen und zu Lesesteinhaufen zusammengetragen. Im Bereich dieser sogenannten *Zwischenrücken* konnten solche Lesesteine nachgewiesen werden. MEIBEYER (1969) erklärt diese Struktur damit, dass der Furchenstreifen mit zunehmender Zeit immer weniger mitgepflügt wurde. Die zuvor identische Pflugfurche beider Parzellen wanderte so zur jeweiligen Seite in das Innere und der kleine Rückenbereich wurde zur Schlaggrenze (Anhang 7). Nach KITTLER (1963) sei außerdem die Realerbteilung der Hauptgrund für das „Zusammenpflügen“ des Bodens (aus BARTUSSEK, 1982). Auf diese Weise sei versucht worden, den eigenen Boden zusammenzuhalten. Ein wesentliches Argument gegen diese Annahme besteht allerdings darin, dass der Beginn der Flurzersplitterung erst im 18. und 19. Jh. einsetzte (SEEDORF&MEYER, 1996) und der Wölbackerbau bereits weit vorher stattfand. Daher scheint die besitzrechtliche Abgrenzung nicht der maßgebliche Grund für die Entstehung von Wölbäckern zu sein.

Ferner nennt BARTUSSEK (1982) die Nachahmung und Gewohnheit (v) als Grund für den Wölbackerbau. Der Grund der Nachahmung ist vermutlich an die technischen Möglichkeiten im Mittelalter gekoppelt. Auf Grundlage zahlreicher Autoren wird der Streichbrettpflug mit der Anlage von Wölbäckern in Zusammenhang gebracht (z. B. EYRE, 1955; BARTUSSEK, 1982). Bezogen auf die genannten Standortfaktoren scheint die Technik des Streichbrettpfluges gerade auf wenig ertragsfähigen Standorten Vorteile zu bringen. Darüber hinaus gab es bis zum 19. Jh. keine adäquate Möglichkeit zur Entwässerung über Drainagen (STEINIGER, 2013).

Bisher liegen daher multiple Gründe für den Einsatz des Streichbrettpfluges vor (vgl. BARTUSSEK, 1982). Der Einsatz dieser Technik ist vermutlich in der Verbesserung des Standortes und weniger in der besitzrechtlichen Abgrenzung und Gewohnheit begründet. Die Bewirtschaftungsform lässt sicher wohl am besten als „adaptive Antwort auf umweltbedingte und technische Grenzen“ während des Mittelalters beschreiben (GARTNER, 2003). Dabei lagen jedoch, abhängig von Substrat und entsprechender Textur, Unterschiede bei der Wahl der Pflugtechnik vor. Während die später entwickelten Kehrpflüge weniger für schwere Böden geeignet waren, wurden Beetpflüge gebietsweise auch nach Ende des Mittelalters eingesetzt (vgl. BRAKENSIEK et al., 2016).

### 6.2 Ansprache und systematische Einordnung von Wölbackerböden

Wölbackerböden können zurzeit nicht bodentypologisch erfasst werden, da die Kategorie weder in der deutschen Kartieranleitung (KA5) noch in der internationalen Kartieranleitung (WRB) vorgesehen sind. Die grundsätzliche Frage ist, ob die Bildung der Ackerbeete als geogener oder pedogener Prozess aufgefasst wird. Im ersten Fall müsste der Wölbacker dann als Substrat genannt werden. Im zweiten Fall wäre der Wölbacker vergleichbar mit den Plaggeneschen zu den anthropogen beeinflussten Böden zu stellen. Wie in Kap. 5.2 beschrieben finden sich die Wölbäcker aber in verschiedenen Ausprägungen, was eine einheitliche Einordnung erschwert. Die Möglichkeiten und die Probleme zur Ansprache und systematischen Stellung von Wölbäckern werden im Folgenden verdeutlicht.

Je nach Wölbackertyp können sich verschiedene Bodentypen entwickeln. Innerhalb von Rodungsflächen haben bspw. nur schwache Bodenumlagerungen stattgefunden, während unter Wald, mit vermindertem Einfluss der Erosion, die Bodenentwicklung weiter fortschreiten konnte (BORK, 1985). Folglich liegen zum Teil kleinsträumig unterschiedliche Bodeneigenschaften vor. Zudem müssen die Ausprägungen der ehemaligen Furche und Kuppe bei der Beschreibung von Wölbackerböden differenziert betrachtet werden. Anhand einiger Beispiele aus der Literatur und eigener Geländeaufnahmen (Standort Gehrden) wird die bisherige Ansprache von Wölbackerböden herausgestellt und diskutiert.

- (i) In Groß Thiershausen entwickelte sich nach Aufgabe des Ackerbaus (Ende des 15. Jh.) in dem ehemaligen Pflughorizont (lehmig-schluffiges, grauhumoses Material) eine Parabraunerde. Das Material beschreibt BORK (2001b) als spätmittelalterliches Kolluvium und weist die Horizontabfolge der Parabraunerde als Nebenhorizonte aus: *M-Ah/ M-A/ M-Bt/ II Cv* (Anhang 8). Bodentypologisch handelt es sich um eine Parabraunerde aus kolluvialem Material.
- (ii) Bei den Profilen der Natteheide in Brandenburg werden die Böden ehemaliger Wölbackerflächen als reliktsche Pseudogley-Gleye beschrieben. Der ursprüngliche Grundwasserstand wurde durch Meliorationsmaßnahmen beeinflusst und die stauenden Merkmale durch Beckensedimente treten aktuell in Erscheinung (GALL et al., 2005). Bezeichnet wird die Horizontabfolge (bis 80 cm) der Profile wie folgt: *Oh/ rAp1* (Furche) und *Oh/ rAp1/ rAp1/ rAp2* (Rücken) (HIEROLD, 2012). Die vollständige Profilbeschreibung ist Anhang 9 zu entnehmen.
- (iii) In der Braunschweiger Flur und in der Calenberger Börde wurde der Einfluss der Wölbackerbewirtschaftung durch ANTONY (1988) und GEHRT (1998b) nachgewiesen. GEHRT beschreibt den Wölbackerboden (Bänderparabraunerde unter Wald) wie folgt: *Ah/ Y-rAp1/ Y-rAp2/ Bbt/ Cv-Bbt/ Cv*. Unter ackerbaulicher Nutzung, in der eingeebneten Form, liegt folgende Horizontbeschreibung vor:

*Ap/ Bbt/ Cv-Bbt/ Cv* vor. Der Einfluss der historischen Landnutzung ist bis ca. 70 cm erkennbar (Anhang 10). Das Symbol *Y* steht nach KA 4 für einen Horizont, der aus anthropogenen Aufschüttungen oder Aufspülungen als Ausgangsmaterial vorliegt (AG BODEN, 1996).

- (iv) Bei den Geländeaufnahmen nahe Hannover wurde das Profil unter Wald im Rahmen dieser Arbeit wie folgt beschrieben: *Ah/ wR1/ wR2/ ...* (Standort Kirchwehren). Dabei handelt es sich um einen Vorschlag zur Ansprache, der gegenwärtig in dieser Form noch nicht vorliegt. Bei dem *R*-Horizont handelt es sich um einen mineralischen Mischhorizont, der durch regelmäßiges Pflügen entstanden ist (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). Das voran gestellte Zusatzsymbol *w* ist ein Vorschlag für den Hinweis auf die Wölbackerbewirtschaftung. Auf diese Weise kann die historische Nutzung der Fläche verdeutlicht werden.
- (v) Nach internationaler Kartieranleitung (WRB) wären die Wölbackerböden am Standort Gehrden vermutlich als Anthrosole zu beschreiben, da sie tiefgründig (bis ca. 70 cm) anthropogen verändert sind (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2014). Nach den FAO-Richtlinien zur Bodenbeschreibung könnte der reliktsche Pflughorizont als *bAp* (buried = begraben) bezeichnet werden. Als „begraben“ werden Horizonte bezeichnet, die genetische Merkmale aufweisen, die sich vor der Überprägung gebildet haben (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2006).

Um die mittelalterliche Nutzung mithilfe des Streichbrettpfluges herauszustellen, liegen daher zwei Möglichkeiten vor: Erstens die Beschreibung des Wölbackermaterials, in dem Bodenbildung stattfindet und zweitens die Verwendung merkmalsbeschreibender Horizonte (z. B. ehemaliger Pflughorizont). Das Substrat ist das Material der Festsubstanz eines Bodens, dessen Ansprache zur Kennzeichnung bodenkundlich relevanter Merkmale dient. Die Beschreibung des Ausgangsmaterials wird in der Regel verschlüsselt angegeben (LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE, 2017). Um den Einfluss des Menschen deutlich zu machen, kann bei Material mit Wölbacker-Vergangenheit von einer Auffüllung durch Wölbackerbau gesprochen werden. Das beschreibende Symbol wäre *y* (anthropogen (künstliche) Gebilde) und das nachgestellte *w* würde für den Einfluss durch die mittelalterliche Pflugtechnik stehen (GEHRT, 2017). Auf Grundlage dieser Beschreibung ginge die Information der Landnutzungsgeschichte nicht verloren, auch wenn bei der Horizontierung der reliktsche Pflughorizont nicht berücksichtigt werden würde. Bei der Kartierung wäre die Beschreibung dann bspw. wie folgt: Parabraunerde (*Ah/ Al/ Bt/ Cv*) aus Wölbackermaterial (*yw*). Ein anderer Ansatz ist die Beschreibung der sichtbaren Wölbackermerkmale als Horizonte. Wie bereits in aktueller Literatur beschrieben, wird der ehemalige Pflughorizont in der Regel als *rAp* bezeichnet (HIEROLD, 2012). Die Idee die-

sen als *wR* zu beschreiben, wäre ein neuer Ansatz (GEHRT, 2017), der nach aktueller Kartieranleitung zum Bodentyp Rigosol (*YY*) führen würde.

Auf Grundlage von Literaturnachweisen und Geländebeobachtungen sind Wölbackerböden generell zur Abteilung der *Terrestrischen Böden*, zur Klasse der *Terrestrisch anthropogenen Böden* zu zählen. Welcher Bodentyp ausgewiesen werden kann, ist derzeit nicht festgelegt. Ein Vorschlag zur einheitlichen Ansprache von Wölbackern wäre ein neuer Bodentyp und die eine eindeutige Beschreibung des Ausgangsmaterials. Als Möglichkeit besteht die Bezeichnung des Bodentyps als *YW*; Wölbackerboden (*A/wR/... /II ...*) und des Substrates als *yw* (anthropogen beeinflusstes Material aus Wölbackerbau). Begründet werden kann der Vorschlag eines eigenen Bodentyps für Wölbackerböden u. a. dadurch, dass bereits weitere Böden mit anderer Nutzungsgeschichte in der aktuellen Kartieranleitung aufgeführt werden. So liegt bspw. für den Plaggensch die Horizontabfolge *Ah/E/II...* vor. Für eine schnellere Erfassung schützenswerter Wölbackerflächen wäre eine einheitliche Beschreibung jener Böden dienlich. Dabei ist herauszustellen, dass bei der bodensystematischen Einordnung zur Beschreibung von Wölbackern vorab die in Kap. 5.2 beschriebene Kategorisierung in die verschiedenen Formen von Wölbackern vorzunehmen ist.

### 6.3 Wölbackerböden als kulturgeschichtliche Archive und Kohlenstoffsenke

Archive historischer Agrarkulturtechniken stellen nur solche Flächen dar, die ursprüngliche Strukturen und den Einfluss der Pflugtechnik aufweisen. Durch die Geländearbeit konnte im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden, dass Wölbacker unter verschiedener Nutzung noch als solche zu erkennen sind und demnach schützenswert wären.

Um den Informationswert von Wölbackerböden als kulturgeschichtliche Archive zu überprüfen, wird die schematische Darstellung der verschiedenen Wölbackertypen herangezogen. Eine Archivfunktion wird demnach nur durch die erhaltenen und erodierten Wölbackerstrukturen gewährleistet (Kap. 5.4). Bei der erodierten Form können die ursprünglichen Strukturen von Furchen und Kuppen noch erkannt und in den kolluvial verfüllten Bereichen der anthropogene Einfluss durch den zweiten humosen Horizont nachvollzogen werden. Des Weiteren gibt das Gesamtbild im Gelände bzw. das Betrachten der Catena (s. Skizze 6) Aufschluss über die historische Bewirtschaftung. Bei Standorten mit schwacher bis keiner Hangneigung liegen unter Wald erhaltene Wölbackerstrukturen vor. Bei dieser Form des primären Wölbackertyps sind die reliktschen Pflughorizonte noch erkennbar. Aus der eingeebneten Form kann nur noch schwer Rückschluss auf die damalige Bewirtschaftung gezogen werden. Eine Archivfunktion im Sinne des Bodenschutzes kann daher nicht erfüllt werden. Die Flächen unter ackerbaulicher Nutzung konnten zwar als ehemalige Wölbackerflächen identifiziert werden, eine bodenkundliche Information über die historische Bewirtschaftungsform war jedoch nur schwer zu entnehmen. Verdeutlicht wird dieser Unterschied am Standort Gehrden, wo erhaltene und eingeebnete Strukturen nah beieinander liegen.

Erhaltene sowie erodierte Strukturen, die als Zeugnis der Landschaftsgeschichte dienen, sind nach BBodSchG, NDSchG und BNatSchG unter Schutz zu stellen. Informationen über schutzwürdige Flächen werden derzeit über das Denkmalinformationssystem ADAB-web gesammelt. Die hier verwendeten Daten zeigen, dass die gesamte Wölbackerfläche noch nicht erfasst wurde. Bisher werden Einzelfälle durch das Niedersächsische Landesamt für Denkmalpflege in das Verzeichnis der Kulturdenkmale aufgenommen (GUNREBEN&BOESS, 2015). Die Darstellung potentieller Wölbackerflächen kann hier als Ansatz dienen, schutzwürdige Flächen zu erfassen. Dies setzt eine regionale Untersuchung von Wölbackerflächen voraus. Dabei sind die Belange des Bodenschutzes innerhalb der Planungsverfahren, unter Berücksichtigung des Niedersächsischen Raumordnungsgesetzes (NROG) und des Baugesetzbuches (BauGB), fallspezifisch abzuwägen (vgl. GUNREBEN&BOESS, 2015).

Wölbacker hatten unter anderem eine Humus- und Nährstoffanreicherung zum Ziel, bei der Material innerhalb einer Fläche kleinräumig umgelagert wurde. Durch den Auftrag von Oberbodenmaterial muss zwischen Rücken und Furche bei der Beurteilung der Kohlenstoffspeicherung differenziert werden. Bei erhaltenen Strukturen unter Wald ist der Humusgehalt im Bereich des vergrabenen Pflughorizontes (ca. 30-50 cm Tiefe) höher. Dies ist zum einen auf die damalige Anhäufung humosen Materials und zum anderen auf die verminderte Mineralisationsrate im vergrabenen Oberboden zurückzuführen (HÖPER,

2002; ALCÁNTARA et al., 2016). Aufgrund geringerer Mächtigkeit wäre im Abschnitt der damaligen Furche eine deutliche geringere Speicherung von Kohlenstoff zu erwarten. Nachdem die ackerbauliche Nutzung aufgegeben wurde, sind viele Flächen unter Wald gekommen. Durch Materialeintrag, z. B. in Form von Streu, ist der Kohlenstoffgehalt in den ersten 10 cm der Furche dennoch höher (ALCÁNTARA et al., 2017).

Bei der eingeebneten Form von Wölbäckern unter ackerbaulicher Nutzung konnte mithilfe der Profildatenauswertung in Tiefe des reliktschen Pflughorizontes im Vergleich zu lokal vorherrschenden Humusgehalten kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dies weist ebenfalls darauf hin, dass die Düngung damals eine untergeordnete Rolle gespielt hat. Anderenfalls wäre zu erwarten, dass im Bereich der damaligen Rückenstruktur erhöhte Gehalte an organischem Material zu finden wären. Zu berücksichtigen ist dabei, dass das Material einer ständigen Umlagerung unterlag. Dennoch müsste sich bei ursprünglich stark humosen Oberböden, die gegenwärtig unter der aktuellen Pflugsohle vergraben liegen, noch immer ein signifikanter Unterschied zu Referenzflächen feststellen lassen. Überdies fehlt bei den ehemaligen Pflughorizonten in der Regel eine starke Dunkelfärbung, wie sie z. B. bei den Plaggeneschen zu finden ist. Der Einfluss der Düngung ist daher anhand vorliegender Literatur zu überprüfen.

Die Verwendung von Stroh und Mist ist bereits bekannt (vgl. BRAKENSIEK et al., 2016) und auch der Einsatz von Waldstreu konnte nachgewiesen werden. Da die Streu aus dem Wald zunächst in den Stall gebracht und dort als Einstreu verwendet wurden, sind Fundstücke von Ziegelresten innerhalb der ehemaligen Pflughorizonte ein Hinweis auf diese Art der Düngung (vgl. LINKE, 1968; Anhang 11). Insgesamt waren die Möglichkeiten einer optimalen Nährstoffversorgung im Mittelalter allerdings stark eingeschränkt. Vereinzelt gibt es Hinweise auf Plaggendüngung, die vermutlich nicht flächendeckend eine Rolle spielte, aber dennoch in manchen Gebieten Niedersachsens Anwendung fand. Grund dafür ist, dass die damals verfügbare Düngermenge nicht ausreichend für die im Verhältnis große Fläche der Wölbäcker war. Dies bestätigt die Annahme, dass es sich bei dem zweiten humosen Horizont bei Wölbackerböden hauptsächlich um eine mechanische Akkumulation von organischem Bodenmaterial infolge des Streichbrettfluges handelt.

Im Sinne des Bodenschutzes ist daher von einer geringen Bedeutung der Wölbackerböden als Funktion einer Kohlenstoffsенке auszugehen. Durch Geländebeobachtungen konnte aufgezeigt werden, dass bei erodierten Strukturen häufig große Menge an Oberbodenmaterial umgelagert wurden und daher keine hohen Humusgehalte durch Wölbackerbewirtschaftung zu erwarten sind. Durch die Profildatenauswertung konnte diese Annahme bestätigt werden. In Bezug auf eine Klimawirkung spielen daher nur erhaltene bzw. nicht erodierte Wölbackerformen eine Rolle. Bei Hanglage ist eine erhöhte Kohlenstoffspeicherung bei kolluvial verfüllten Strukturen zu erwarten.

### 6.4 Nachweise erhaltener und erkennbarer Wölbäcker

Die Verteilung nachgewiesener Wölbäckerflächen zeigt, dass der Wölbäckerbau nicht an bestimmte Regionen oder Bodenlandschaften gebunden war. Diese Aussage wird allerdings dadurch eingeschränkt, dass nur solche Wölbäcker dargestellt werden können, die aufgrund ihrer Mikromorphologie als solche in Erscheinung treten. Über die Hälfte aller nachgewiesenen Flächen liegt heute unter Wald. Als Grund ist der gute Erhaltungszustand der ehemaligen Ackerbeete zu nennen. Daher fand der Großteil aller Analysen und Beschreibungen auf Wölbäckerflächen mit rezenter forstlicher Nutzung statt (z. B. WELL, 1989; BORK, DOTTERWEICH, 2001; ALCÁNTARA et al., 2017). Unter Grünland liegen 9 % aller Wölbäckernachweise. Durch die gut erkennbare Oberflächenform wäre hier eine größere Anzahl an Nachweisen unter Grünland zu erwarten. Gründe dafür konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht erfasst werden.

Knapp 32 % aller nachgewiesenen Wölbäcker befinden sich auf heutigen Ackerflächen. Dies scheint zunächst ein hoher Anteil, da eingeebnete Wölbäcker nur noch schwer erkennbar sind. Allerdings liegen mithilfe verschiedener Aufnahmetechniken einige Beispiele für Wölbäcker unter ackerbaulicher Nutzung vor: Zum einen Luftbildaufnahmen (BUCHERT&RASINK, 2012), zum anderen die digitalisierte Geländedarstellung von DEUMLICH (2012). Darüber hinaus existieren Profildaten des Landesamtes Hannover (LBEG) (Anhang 1) sowie Ergebnisse der Untersuchungen von ANTONY (1988), der im Gebiet östlich von Dedensen einen braunen Plaggenesch mit Wölbäcker-Vergangenheit unter rezenter landwirtschaftlicher Nutzung beschreibt. Auch Fotos bei leichter Schneebedeckung können ein Hilfsmittel sein, um die Strukturen zu erkennen (s. Standort Gleichen). Die bisher häufig verbreitete Annahme, dass Wölbäcker unter ackerbaulicher Nutzung nicht mehr als solche erkennbar sind, kann daher nicht bestätigt werden. Freisichtig sind die Strukturen zwar nur schwer zu erfassen, aber mithilfe verschiedener Techniken sind Wölbäcker auch auf rezenten landwirtschaftlichen Flächen zu erkennen. Zukünftig bieten hochauflösende Geländemodelle (1m DGM) vermutlich die Möglichkeit einer systematischen Erfassung. Insbesondere bei Grünlandnutzung dürfte diese Methode gute Ergebnisse liefern. Unter ackerbaulicher Nutzung sind vermutlich die erodierten Wölbäcker besonders gut zu erkennen. Bei forstlicher Nutzung, insbesondere bei Nadelwald, wird allerdings kaum eine vollständige Erfassung der Strukturen zu erreichen sein.

Verschiedene Kriterien zum Ausschluss historischer Ackerfluren wurden über naturräumliche und bodenkundlich bzw. geologische Informationen definiert. Die Definition für absolute Ausschlussflächen schränkt die potentielle Altackerfläche ein. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Ausschlussflächen im Maßstab 1 : 50 000 definiert wurden.

In Einzelfällen ist bei einigen definierten „Ausschlussflächen“ eine Wölbäcker-Vergangenheit nachgewiesen worden. Ein Beispiel hierfür ist die definierte Ausschlusskategorie der Dünen. Bei den durch die Universität Halle-Wittenberg untersuchten Dünenarealen in Schlagenthin war zunächst nicht klar, ob die Flächen damals ackerbaulich gemieden wurden (KÄUBLER, 1966) oder erst infolge von Winderosion, begünstigt durch Wölbäckerbau, entstanden. LINKE (1968) konnte schließlich feststellen, dass unter den

Sandaufwehungen ehemalige Wölbäcker liegen. Wölbäcker in Umgebung einer Düne werden ebenfalls durch BOER (2015) in Brandenburg beschrieben. Diese zum Teil unter Dünen begrabenen und noch erhaltenen Strukturen werden auch von HIEROLD (2012) genannt. Daher kann bei ausgewiesenen Dünenarealen nicht ausgeschlossen werden, dass unter diesen Flächen Wölbäcker vorliegen. Dies gilt ebenso für weitere Ausschlussflächen, die unter Umständen eine Wölbacker-Vergangenheit haben, die aufgrund der Überprägung aber nicht mehr als solche sichtbar ist. Diese Areale können jedoch auch mit anderen Methoden nicht erfasst werden. Liegen bereits Hinweise auf ein Wölbackervorkommen vor, wie z. B. die Nähe einer Wüstung, so kann die Untersuchung vermutlicher Wölbackerstrukturen direkt im Gelände vorgenommen werden.

### 6.5 Potentielle Verbreitung von Wölbackerflächen in Niedersachsen

Will man die potentielle Wölbackerverbreitung in Niedersachsen erfassen, sind die naturräumlichen Ausstattungen der Bodenregionen und die unterschiedlichen kulturräumlichen Voraussetzungen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wurden bei der Abschätzung der Arealgrößen fünf Teilräume Geest West und Ost, Bergvorland, Osnabrücker Bergland sowie Lössbörde und Bergland getrennt betrachtet. Zwischen dem niedersächsischen Berg- und Tiefland bestehen generell Unterschiede in Bezug auf Verbreitung und Ausprägung.

- i. In Westniedersachsen wurde hauptsächlich das System der Plaggenwirtschaft praktiziert. Der Großteil der Plaggeneschfläche befindet sich, von Osnabrück ausgehend, über die westliche Grenze zu den Niederlanden bis nach Oldenburg und östlich bis zur Weser. Daher sind im Tiefland keine großen Wölbäckervorkommen zu erwarten. Die Bewirtschaftung zur Zeit des Mittelalters ist in diesem Gebiet über die Zuweisung der Plaggenesche mit einer Fläche von 180 000 bis 190 000 ha (BK50) weitestgehend geklärt. Der Fall einer zeitversetzten oder parallelen Bewirtschaftung als Wölbackerfläche ist nicht auszuschließen, wird aber nicht mit einbezogen, da die Wölbackerstrukturen in diesem Fall aufgrund des Profilaufbaus häufig nicht mehr nachvollziehbar sind. Vereinzelt gibt es Hinweise auf eine durch Plaggenwirtschaft entstandene künstliche Aufhöhung der Wölbackerstrukturen (z. B. ANTONY, 1988). Diese liegen nach MEIBEYER (1969) jedoch nur sehr vereinzelt vor, da allein aufgrund des Flächenverhältnisses von privaten, parzellierten Arealen und Allmendeflächen, die für den Plaggenhieb in Frage kommende Flächengröße berücksichtigt werden muss.
- ii. Bei der Geest Ost ist, aufgrund der für die Landwirtschaft ungünstigen Bedingungen, eine geringe Siedlungsdichte zu erwarten. Anzunehmen ist ein Landschaftsbild, welches durch extensive Weiden, Heideflächen und degenerierte Hudewälder geprägt war (VOLKER, 2005). Der sehr geringe Flächenanteil tief humoser Böden unterstützt diese Theorie. Zu vermuten ist daher, dass der Großteil der Geest als Allmendefläche genutzt wurde. In der historischen Karte von 1800 (Kurhannoversche Landesvermessung) werden Ackerflächen dargestellt, Wölbäcker oder entsprechende Bodenhorizonte lassen sich aber nur sehr vereinzelt nachweisen (nördlich von Hannover meistens eingeebnete Formen unter Acker sowie gut erhaltene Strukturen unter Wald bzw. Grünland, um Uelzen liegen Nachweise von Wölbackerflächen aggregiert vor). Dies könnte in der Bevölkerungsdichte oder im Alter der Landnutzung begründet sein. Weitere Informationen, z. B. durch Siedlungsforschung, sind notwendig, um eine gesicherte Aussage über die historische Nutzung in dieser Region treffen zu können.

- iii. In den Bereichen intensiver Landwirtschaft, der Börde, kam es verbreitet zu einer Überprägung der historischen Relikte. Der Nachweis ist insbesondere in Gebieten mit Schwarz- und Grauerden problematisch. Im Bergland liegt der Anteil erodierter Böden nach BK50 bei 97 000 ha und in der Geest bei 5 000 ha (GEHRT, 2012b). In diesem Gebiet sind daher erodierte und kolluvial verfüllte Wölbackerstrukturen zu erwarten. Diese Annahme konnte durch die Geländeaufnahmen rund um Göttingen bestätigt werden. Zudem haben bereits vorher Forschungen zu Wölbäckern stattgefunden, die Hinweise auf den Einfluss der Erosion liefern (z. B. BORK, 1985).
- iv. Der Harz und die Küstenregion wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Im überwiegend steilhängigen Westharz finden sich evtl. einige wenige Wölbackerflächen in den Plateaulagen. Dass der niedersächsische Westharz bei der Berechnung der Verbreitung ehemaliger Wölbackerflächen außer Acht gelassen wurde, bedeutet aber nicht, dass im Harz generell keine Wölbäcker vorkommen. Im eher flacheren Ostharz, nahe der ehemaligen Siedlung Hohenrode (Sachsen-Anhalt), konnten im heutigen Waldgebiet Wölbäcker beobachtet werden (ARCHÄOLOGISCHE GESELLSCHAFT, 2015).
- v. Im Bereich der Küste lassen sich ebenfalls wenige Nachweise von Wölbäckern finden. In diesem Gebiet liegen an der Elbe Marschhufensiedlungen mit Marschhufenbeeten und Gruppen vor (SEEDORF&MEYER, 1996). Diese Ackerstrukturen wurden von GEHRT et al. (2014) genetisch bearbeitet, flächenmäßig erfasst und in der neuen Bodenkarte von Niedersachsen nachgewiesen.

Die bisherige Annahme, dass Wölbäcker nur im Bereich leichter Hangneigungen auftreten, konnte weitestgehend bestätigt werden. Bei der Betrachtung der Strukturen in Thiershausen liegt allerdings eine deutliche Hangneigung vor, die erosive Vorgänge begünstigt hat. Zu überlegen ist daher, welche Flächen aufgrund des Reliefs tatsächlich als Ausschlussflächen zu definieren sind. Wölbäcker sind in Arealen mit einer Neigungsstufe 4 und größer mit der Technik des Beetpfluges, insbesondere hangaufwärts, sicherlich nur schwer zu bearbeiten gewesen. Deshalb dominieren in steileren Hanglagen die Ackerterrassen. Allerdings wurden gerade in Notzeiten Flächen wiederkehrend urbar gemacht und die Bewirtschaftung ebenso schnell wieder aufgegeben. Folglich kann die Wölbackerfläche im Mittelalter größer gewesen sein als heute nachvollziehbar. Bezugnehmend auf die Archivfunktion von Böden und der Kohlenstoffspeicherung durch Wölbackerböden konnte allerdings gezeigt werden, dass lediglich erhaltene und zum Teil erodierte Strukturen eine Rolle spielen, sodass die Erfassung überprägter bzw. nicht mehr erkennbarer Wölbäcker im Sinne des Klima- und Bodenschutzes nicht zwingend erforderlich ist.

### 7 Fazit

Auf Grundlage der Geländenachweise in Südniedersachsen sind Wölbackerstrukturen durch 8-12 m lange Rücken mit alternierenden Furchen gekennzeichnet. Der Höhenunterschied zwischen Rücken und Furche beträgt im Grünland 25-40 cm und unter Wald 60-100 cm. Ferner sind drei Formen von Wölbäckern zu differenzieren: (i) Erhaltene, (ii) eingeebnete und (iii) erodierte Wölbäcker. Erhaltene Wölbäcker sind in ebenen Lagen unter forstwirtschaftlich extensiver Nutzung zu erwarten. Die eingeebnete Form ist unter ackerbaulicher Nutzung nur noch schwer bis gar nicht mit bloßen Auge erkennbar. Unter Grünland sind die Wölbungen aufgrund der vielfach extensiven Bewirtschaftung unterschiedlich stark, aber generell gut erhalten. Bei Waldstandorten hängt die Ausprägung eines Wölbackers vor allem mit dem Relief zusammen. Ein weiterer Faktor ist die Korngrößenzusammensetzung des Bodens. An erosionsgefährdeten Standorten tritt häufig die erodierte und verfüllte Form eines Wölbackers auf. Bereits erodierte Strukturen besitzen aufgrund der vertieften Furchenbereiche eine mächtigere Höhendifferenz. Bei einem enormen Abtrag von Bodenmaterial sind nur noch die Köpfe ehemaliger Wölbäcker zu sehen. Je nach Nutzungsdauer und –intensität ist die Oberflächenform von Wölbäckern im Gelände bei starker Überprägung und kurzer Nutzungsdauer weniger gut oder unter Wald, ohne Einsatz schwerer Maschinen und langer Nutzungsdauer sehr deutlich erkennbar (vgl. WELL, 1989; GALL et al., 2005; GUNREBEN&BOESS, 2015).

Durch den Vergleich neun verschiedener Wölbackerprofile unter ackerbaulicher Nutzung zu Referenzflächen mit gleichem Ausgangssubstrat konnte gezeigt werden, dass die Kohlenstoffspeicherung im zweiten humosen Horizont nicht signifikant von anderen Flächen abweicht. Bei der erhaltenen Form unter Wald wurde hingegen ein Unterschied festgestellt (vgl. ALCÁNTARA et al., 2017). Aus diesem Grund spielen eingeebnete Wölbackerböden als Kohlenstoffspeicher keine besondere Rolle. Erhaltene Formen weisen jedoch höhere Kohlenstoffgehalte im gesamten Profil und eine geringere Mineralisationsrate innerhalb des begrabenen, ehemaligen Pflughorizontes auf. Die Verbreitung erhaltener Wölbackerstrukturen spielt daher im Sinne des Bodenschutzes, sowohl in Hinblick auf Archivfunktion als auch auf die Klimarelevanz von Böden, eine Rolle.

Die Eigenschaften von Wölbackerböden wurden bislang nur in Einzelfällen bodenkundlich analysiert (z. B. BORK, 1985; GEHRT, 1998b; HIEROLD, 2012; ALCÁNTARA et al., 2017). Die Bewertung der Bodenteilfunktion von Wölbackerböden als Archiv der Kulturgeschichte erfolgt nicht nach standardisierten Verfahren und einheitlichen Kriterien. In der Regel hängen die Auswahl und die Bewertung von Einzelobjekten von Experten ab und werden regionalspezifisch bearbeitet. Eine einheitliche Beschreibung könnte die bundesweite Erfassung von Wölbackerböden erleichtern. Aus diesem Grund ist eine systematische Einordnung von Wölbackerstrukturen, die eine Funktion als kulturgeschichtliches Archiv erfüllen, von besonderer Bedeutung. Daher ist zu überlegen, den Boden- und/oder Substrattyp *Wölbacker* in die Kartieranleitung aufzunehmen. Eine einheitliche Beschreibung von Wölbackerböden könnte dazu führen, dass nachgewiesene Flächen eindeutiger be-

schrieben und je nach Ausprägung geschützt werden können. Standardisierte Verfahren für die Erfassung und Dokumentation der Wölbäcker wären hier wünschenswert.

Die bisher vorliegenden Karten sind zu stark generalisiert (NLWKN), um regionalspezifische Aussagen treffen zu können. Sie liegen nicht für ganz Niedersachsen flächendeckend vor (HIST25). Darüber hinaus sind die Nachweise sehr unterschiedlichen Alters und nicht qualifiziert. Um alle Wölbäckerböden Niedersachsens und ihre Pedofunktionen zu erfassen, bedarf es aus diesem Grund noch weiterer detaillierter Forschung zur Verbreitung. Dabei ist besonders das Bergland von Interesse, da die Berechnungen auf einen hohen Anteil bisher nicht erfasster Wölbäcker in diesem Gebiet hinweisen. Auch in der Geest Ost ist die historische Nutzung bisher weitestgehend unklar. Die Digitalisierung der historischen Karten aus den ersten Landesvermessungen um 1800 (HIST25) für ganz Niedersachsen wäre ein wichtiger Schritt zur gesicherten Darstellung der historischen Nutzung.

Insgesamt konnten im Rahmen dieser Arbeit die Eigenschaften potentieller Wölbäckerstandorte, das Vorkommen verschiedener morphologischer Formen sowie deren charakteristische Eigenschaften und ihre Bedeutung im Sinne des Bodenschutzes dargestellt werden.

### 8 Literatur

- ABEL, W., 1976: Die Wüstungen des ausgehenden Mittelalters, 3. Auflage. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag.
- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). Hannover, Stuttgart, 438 S.
- AG BODEN, 1996: Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage. Hannover, 392 S.
- ALCÁNTARA, V., A. DON, R. WELL, R. NIEDER, 2016: Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks. *Global Change Biology* 22 (8), 2939–2956.
- ALCÁNTARA, V., A. DON, R. WELL, R. NIEDER, 2017: Legacy of medieval ridge and furrow cultivation on soil organic carbon distribution and stocks in forests. *Catena* (154), 85–94.
- ANTONY, F., 1988: Kartierung und Analyse der Böden in der Agrarlandschaft mit Plaggensch-Wölbäcker-Vorgeschichte im Bereich der nördlichen Lössgrenze westlich von Hannover. Diplomarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.
- ARCHÄOLOGISCHE GESELLSCHAFT IN SACHSEN-ANHALT E.V., 2015: Früh- und hochmittelalterliche Siedlungsspuren im südlichen Unterharz. Wüstung Hohenrode. <http://agisa.de/frueh-und-hochmittelalterliche-siedlungsspuren-im-suedlichen-unterharz/> (7. November 2016).
- AZIZI, A., N. BISCHOFF, W. BÖTTCHER, J. BRÜGGER, L. EBELING, M. FOLKERS, A.-K. GEBLER, M. HENSCHER, D. HERDTLE, S. HOFFMANN, C. IMWALLE, G. KUHN, S. MARAHRENS, U. MEER, G. PAUL, H. SCHÄFSMEIER, R. SCHAUER, S. SCHRÖDER, S. SCHULZE, W. SEHER, B. STEINHOFF, L. VAJEN, C. VOIGT, A. WICK, 2010: Die Böden Deutschlands. Sehen, Erkunden, Verstehen, 198 S.
- BACHOFER, F., 2002: Die Gliederung der Flur: Formen Genese. Seminararbeit. München, GRIN Verlag, 15 S.
- BAKER, A., R. A. BUTLIN, 1973: Studies of field systems in the British Isles, Cambridge University Press, 728 S.
- BANHAM, D., R. FAITH, 2014: Anglo-Saxon Farms and Farming. *Medieval History and Archaeology. Am. Hist. Rev.* 121 (4), 1346–1347.
- BARTUSSEK, I., 1982: Die gewölbten Ackerbeete in der historischen Landwirtschaft. Ihre Relikte und Nachwirkungen in der Gegenwart. Diplomarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.
- BAURIEGEL, A., 2005: Das Flächenbodenformenarchiv zur Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg. The archive of area related soilforms for the medium scaled soil map of the state of Brandenburg. *Brandenburg. gewowiss. Beitr.* 12 (1/2), 25–35.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2016: Bodenfunktionen. Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. <http://www.lfu.bayern.de/boden/bodenfunktionen/archivfunktion/index.htm> (31. Oktober 2016).
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, o.J.: Bodenfunktionen. <http://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/bodenschutz/bodenfunktion.htm> (11. Mai 2017).

- BECK, H., D. DENECKE, H. JANKUHN (Hrsg.), 1980: Untersuchungen zur eisenzeitlichen und frühmittelalterlichen Flur in Mitteleuropa und ihrer Nutzung: Bericht über die Kolloquien der Kommission für die Altertumskunde Mittel- und Nordeuropas in den Jahren 1975 und 1976, Vandenhoeck & Ruprecht, 424 S.
- BEHRE, K.-E., 2000: Frühe Ackersysteme, Düngemethoden und die Entstehung der norddeutschen Heiden. Arch. Korrbbl. 30, 135–151.
- BEHRE, K.-E., 2008: Landschaftsgeschichte Norddeutschlands. Umwelt und Siedlung von der Steinzeit bis zur Gegenwart, Wachholtz, 308 S.
- BENDA, L., 1995: Das Quartär Deutschlands., Borntraeger, 408 S.
- BENTZIEN, U. (Hrsg.), 1980: Bauernarbeit im Feudalismus: landwirtschaftliche Arbeitsgeräte und -verfahren in Deutschland von der Mitte des ersten Jahrtausends u. Z. bis um 1800. Berlin, Akademie-Verlag, 271 S.
- BERGMANN, R., 2009: Mittelalterliche Landwirtschaft in Westfalen.  
[https://www.lwl.org/LWL/Kultur/Westfalen\\_Regional/Wirtschaft/Mittelalterliche\\_Landwirtschaft](https://www.lwl.org/LWL/Kultur/Westfalen_Regional/Wirtschaft/Mittelalterliche_Landwirtschaft) (5. Mai 2017).
- BESTE, A., 2015: Down to the earth - Der Boden, von dem wir leben. Zum Zustand der Böden in Europas Landwirtschaft, 48 S.
- BLUME, H.-P., G. W. BRÜMMER, R. HORN, E. KANDELER, I. KÖGEL-KNABNER, R. KRETSCHMAR, K. STAHR, B.-M. WILKE, 2010: Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage, Spektrum, 544 S.
- BOER, W. M. de, 2015: Eine reliktsche Parabeldüne und Wölbäcker im Baruther Urstromtal westlich von Schöbendorf entdeckt durch Laserscandatenauswertung. Biologische Studien (44), 4–12.
- BOESS, J., I. DAHLMANN, M. GUNREBEN, U. MÜLLER, 2002: Schutzwürdige Böden. Hinweise zur Umsetzung der Archivfunktion im Bodenschutz. GeoFakten 11. Hannover, 1–5.
- BORK, H.-R., 1985: Mittelalterliche und neuzeitliche lineare Bodenerosion in Südniedersachsen. Hercynia N. F., 259–279.
- BORK, H.-R., 2001a: Göttingen - "Tiefes Tal" bei Oberfeld. [http://www.tag-des-bodens.de/bod\\_schatz/reisefuehrer/ni7.htm](http://www.tag-des-bodens.de/bod_schatz/reisefuehrer/ni7.htm) (18. April 2017).
- BORK, H.-R., 2001b: Göttingen - Wölbäcker bei Thiershausen. [http://www.tag-des-bodens.de/bod\\_schatz/reisefuehrer/ni6.htm](http://www.tag-des-bodens.de/bod_schatz/reisefuehrer/ni6.htm) (19. April 2017).
- BORK, H.-R., 2006: Landschaften der Erde unter dem Einfluss des Menschen, Primus Verlag, 203 S.
- BORK, H.-R., H. BORK, C. DALCHOW, B. FAUS, H.-P. PIORR, T. SCHATZ, 1998: Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften. Gotha, Klett-Perthes, 326 S.
- BORK, H.-R., M. DOTTERWEICH, 2001: Böden als Archiv. Göttingen – Wölbäcker bei Thiershausen. In: UMWELTBUNDESAMT, ABTEILUNG II 5 BODEN, FACHGEBIET II 5.1 (Hrsg.): Zu den Böden Deutschlands. Böden sehen - Böden begreifen. Berlin, 17–18.

- BORK, H.-R., A. KRANZ, 2008: Die Jahrtausendflut des Jahres 1342 prägt Deutschland. Neue Forschungsergebnisse aus dem Einzugsgebiet des Mains. *Jber. Wetterau. Ges. ges. Naturkunde* 158, 119–129.
- BORK, H.-R., H. ROHDENBURG, 1979: Beispiele für Jungholozäne Bodenerosion und Bodenbildung im Untereichsfeld und Randgebieten. *Landschaftsgenese und Landschaftsökologie* (3), 115–134.
- BRAASCH, O., 1994: Das unterirdische Baden-Württemberg. Bilder von Bezgenriet. <http://home.bawue.de/~wmwerner/braasch/bezgenr.html> (22. März 2017).
- BRAKENSIEK, S., 2002: Marken und Gemeinheiten in Westfalen und Niedersachsen. *Verwaltung - Bewirtschaftung - Nachhaltigkeit*. In: J. ALTENBEREND, R. VOGELSANG (Hrsg.): *Kloster – Stadt – Region : Festschrift für Heinrich Rüthing*. Bielefeld, Verl. für Regionalgeschichte, 291–314.
- BRAKENSIEK, S., R. KIEBLING, W. TROBBACH, C. ZIMMERMANN (Hrsg.), 2016: *Grundzüge der Agrargeschichte. Vom Spätmittelalter bis zum Dreißigjährigen Krieg (1350-1650)*. Köln, Weimar, Wien, Böhlau, 800 S.
- BRONICK, C. J., R. LAL, 2004: Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124 (1-2), 3–22.
- BRYANT, R. B., J. M. GALBRAITH, 2002: Incorporating Anthropogenic Processes in Soil Classification. Chapter 7. In: *Soil Classification*, 57–64.
- BUCHERT, U., B. RASINK, 2012: "Wölbäcker" - Spuren bäuerlichen Schaffens des Mittelalters und der Neuzeit. *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* (1), 10–11.
- BÜHL, H., H. STICHER, BARMETTLER, K., 1989, 1998: Die Bodenkunde im Dienst der Archäologie. In: *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte*, 215–226.
- BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, 1998: *Bundes-Bodenschutzgesetz. BBodSchG*, 11 S.
- BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, 2009: *Bundesnaturschutzgesetz. BNatSchG*, 56 S.
- CERTINI, G., R. SCALENGHE, 2011: Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *The Holocene* 21 (8), 1–6.
- CHMIELESKI, J., o.J.: *Bodenbildende Prozesse*. [https://www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/boku\\_online/pcboku10.agrar.hu-berlin.de/cocoon/boku/sco\\_8\\_bodenbildung\\_044d7.html?section=&SID](https://www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/boku_online/pcboku10.agrar.hu-berlin.de/cocoon/boku/sco_8_bodenbildung_044d7.html?section=&SID) (17. April 2017).
- DABBERT, S., S. : HERRMANN, G. KAULE, M. SOMMER, 1999: *Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung. Methodik, Anwendung und Übertragbarkeit am Beispiel von Agrarlandschaften*. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 247 S.
- DANNEMANN, S., N. HERRMANN, 2014: Nachweis einer historischen Hohlweggalerie bei Alfeld/Leine (Süd-niedersachsen) anhand von Vermessungsergebnissen und bodengeographischen Feldaufnahmen. In: M. SAUERWEIN (Hrsg.): *Hildesheimer Geographische Studien*, 5–9.

- DENECKE, D. (Hrsg.), 1983: Göttingen und Umgebung im Jahre 1784. Erläuterungen zum Blatt 155 der Kurhannoverschen Landesaufnahme des 18. Jahrhunderts. Maßstab 1 : 25 000, 75 cm x 50 cm, Niedersächsisches Landesverwaltungsamt - Landesvermessung.
- DENECKE, D., 1994: Wüstungsforschung als kulturlandschafts- und siedlungsgenetische Strukturforchung. In: D. DENECKE, R. BERGMANN, M. BLAZER, G. MANGELSDORF, V. NEKUDA, R. NEKUDA, E. CERNY, A. HABOVSTIAK, H. KRAWARIK, P. RÜCKERT, P. CEDE, J. RENES (Hrsg.): Wüstungsforschung - Wüstungsperioden - Wüstungsräume. Bonn, Siedlungsforschung, 9–26.
- DENECKE, D., 2005: Wege der Historischen Geographie und Kulturlandschaftsforschung. Ausgewählte Beiträge, Franz Steiner Verlag, 330 S.
- DENECKE, D., R. BERGMANN, M. BLAZER, G. MANGELSDORF, V. NEKUDA, R. NEKUDA, E. CERNY, A. HABOVSTIAK, H. KRAWARIK, P. RÜCKERT, P. CEDE, J. RENES (Hrsg.), 1994: Wüstungsforschung - Wüstungsperioden - Wüstungsräume. Bonn, Siedlungsforschung.
- DEUMLICH, D., 2012: Struktur und Prozess - Einfluss historischer Landbewirtschaftung auf lineare Fließwege bei Starkregen in Brandenburg. *Landscape Online* 31, 1–19.
- DEUMLICH, D., R. DANNOWSKI, L. VÖLKER, 2014: Historische und aktuelle Geoinformation – Grundlage in der Agrarlandschaftsforschung 139, 329–341. [www.geodaesie.info](http://www.geodaesie.info) (10. Oktober 2016).
- DIERKES, F., 2000: Tierhaltung, Pflanzenzucht und landwirtschaftliche Anbaumethoden im späten Hochmittelalter. <http://www.frankdierkes.de/tierhaltung-im-hma.html> (24. April 2017).
- DOLLE, J., 1995: Zur Theorie einer "spätmittelalterlichen Agrarkrise". Eine kritische Untersuchung am Beispiel des Altkreises Göttingen. In: GESCHICHTSVEREIN F. GÖTTINGEN U. UMGEBUNG E.V. (Hrsg.): Göttinger Jahrbuch, Goltze, 272 S., 55–94.
- DOTTERWEICH, M., 2008: The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of central Europe. Deciphering the long-term interaction between humans and the environment - A review. *Geomorphology* 101 (1), 192–208.
- DÜWEL, O., C. S. SIEBNER, J. UTERMANN, F. KRONE, 2007: Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands. Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Produktinformationen im FISBo BGR.
- ECKELMANN, W., 1980: Plaggenesche aus Sande, Schluffen und Lehmen sowie Oberflächenveränderungen als Folge der Plaggenwirtschaft in den Landschaften des Landkreises Osnabrück. In: BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE UND GEOLOGISCHE LANDESÄMTER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (Hrsg.): Geologisches Jahrbuch. Hannover, Reihe F, Heft 10.
- ECKL, H., F. RAISSI, 2009: Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen. *GeoBerichte* 15.
- EYRE, S. R., 1955: The Curving Plough-Strip and its Historical Implications. *Agric. Hist. Rev.* 3 (2), 80–94.

- FIEDLER, H. J. (Hrsg.), 2001: Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten, Expert Verlag, 598 S.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2006: Guidelines for soil description, 4. Auflage.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2014: World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015.
- FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU (FiBL) BIOLAND E.V., BIO AUSTRIA, BIO SUISSE, INSTITUT FÜR BIOLOGISCHE LANDWIRTSCHAFT AN AGRARKULTUR LUXEMBURG, 2012: Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit.
- GALL, B., P. LANTZSCH, T. KERSTING, 2013: Böden als Archive der Kulturgeschichte. Darstellung an ausgewählten Beispielen im Land Brandenburg. Bodenschutz (2), 40–45.
- GALL, B., R. SCHMIDT, A. BAURIEGEL, 2005: Wölbäcker. Steckbriefe Brandenburger Böden. Potsdam.
- GARTNER, W. G., 2003: Raised field landscapes of Native America. Dissertation, University of Wisconsin-Madison, 1033 S.
- GEHRT, E., 1998a: Böden als Teile von Landschaften. Nord- und mitteldeutsche Lössböden und Sandgebiete. In: P. FELIX-HENNINGSSEN, H.-P. BLUME, W. R. FISCHER, H.-G. FREDE, R. HORN, K. STAHR (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde, Hüthig Jehle Rehm, 1–53.
- GEHRT, E., 1998b: Einführung in das Exkursionsgebiet. Vegetation und Nutzungsgeschichte. In: E. GEHRT, NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.): Äolische Sedimente und Bodenentwicklung im nördlichen Harzvorland. Programm und Exkursionsführer, 6–10.
- GEHRT, E., 2012a: 1000 Jahre Plaggenesch. Boden des Jahres 2013. [www.lbeg.niedersachsen.de/download/73182/Faltblatt\\_Ausstellung\\_Plaggenesch.pdf](http://www.lbeg.niedersachsen.de/download/73182/Faltblatt_Ausstellung_Plaggenesch.pdf) (24. April 2017).
- GEHRT, E., 2012b: Kultusole in Niedersachsen. Kommission V. DBG-Tagung 2012.
- GEHRT, E., 2013: Das Landschafts- und Bodenentwicklungsmodell der niedersächsischen Marschen für die Geologische Karte und Bodenkarte 1 : 50 000. In: NIEDERSÄCHSISCHES INSTITUT FÜR HISTORISCHE KÜSTENFORSCHUNG (Hrsg.): Siedlungs- und Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet (SKN). Aktuelle archäologische Forschungen im Küstenraum der südlichen Nordsee: Methoden - Strategien - Projekte, 275 S., 31–47.
- GEHRT, E., 2017. mündlich. Hannover.
- GEHRT, E., R. EILERS, T. KREUZBERG, 2014: Die anthropogene Beeinflussung der Marschböden an der Unterelbe. Poster.
- GRANHÖFT, A., B. HOCHFELD, G. MIEHLICH, 1999: Funktionale Bewertung von Böden bei großmaßstäbigen Planungsprozessen. In: Mitteilungen der Deutschen bodenkundlichen Gesellschaft (DBG) 87, 7–10.
- GUNREBEN, M., J. BOESS, 2015: Schutzwürdige Böden in Niedersachsen. GeoBerichte 8. Hannover.

- HAUGER, K., R. RIEDINGER, B. SITTLER, 2001: Wölbäcker im Landkreis Rastatt - Auf den Spuren mittelalterlicher Ackerfluren. In: Heimatbuch des Landkreises Rastatt, 163–172.
- HAUPTMEYER, C.-H., 2004: Niedersachsen. Landesgeschichte und historische Regionalentwicklung im Überblick. Oldenburg, Isensee Verlag.
- HERDEN, R.-E., 2007: Die Bevölkerungsentwicklung in der Geschichte. Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung, 7 S.
- HIEROLD, W., 2012: Sind Kultsole ein Beispiel für Investitionen in die ökologische Infrastruktur? Workshop DBG, Komm.V. Oldenburg.
- HOFFMANN, P., W. MEIS, E. STÜBER, 1999: Niedersachsen. Ein Porträt. Braunschweig, Joh. Heinr. Meyer,, 296 S.
- HOJESKY, H., 2015: Kurzfassung der Ergebnisse der AG Boden und Klima. Fachbeitrag für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz., 5 S. <https://www.bmlfuw.gv.at> (21. Oktober 2016).
- HÖPER, H., 2002: Mikrobielle Kenngrößen und Stickstoffmineralisation in Eschböden. 125 Jahre Moor- und Bodenforschung in Bremen (3).
- HÜLSBERGEN, K.-J., B. KÜSTERMANN, H. SCHMID, 2005: Humusmanagement im ökologischen Betrieb. Forschung für den ökologischen Landbau in Bayern. In: Schriftenreihe der, 55–69.
- JÄGER, H. (Hrsg.), 1965: Methodisches Handbuch für Heimatforschung in Niedersachsen, August Lax Verlag, 562 S.
- JÄGER, H., 1968: Wüstungsforschung und Geographie. Geographische Zeitschrift 56. (3), 165–180.
- KARNEHM-WOLF, S., o.J.: Leisenberger Kirchenruine. Galerie Göttinger Land. [http://www.goettingerland.de/lkgoe/dynamic/show\\_poi.php?id=673](http://www.goettingerland.de/lkgoe/dynamic/show_poi.php?id=673) (6. Juni 2017).
- KÄUBLER, R., 1966: Wölbäcker im Revier Schlagenthin bei Genthin. Hercynia N. F. (3), 333–339.
- KIETZER, B., 2007: Aufklärung der Bodenverlagerung durch Bearbeitungserosion. Dissertation. Berlin, Technische Universität, 147 S.
- KLAMM, M., 1993: Aufbau und Entstehung eisenzeitlicher Ackerfluren ("celtic fields"). In: B. MEYER (Hrsg.): Göttinger Bodenkundliche Berichte, 1–210.
- KLEEFELD, K.-D., P. BURGGRAFF, B. LANGE, 2007: Länderübergreifende Kulturlandschaftsanalyse Altes Land. Endbericht.
- KLUIVING, S. J., J. M. VAN MOURIK, C. BARABANTE, C. ZACCONE, 2013: Soils as a record of the past. Guest Editorial. Quaternary International (306), 1–2.
- KOLBE, H., I. PRUTZER, 2004: Überprüfung und Anpassung von Bilanzierungsmodellen für Humus an Hand von Langzeitversuchen des Ackerlandes. Abschlussbericht zum Projekt. Fachmaterial, 71 S.
- KOLLER, J., 2013: Mittelalterliche Warmperiode – ein Plädoyer für die Beibehaltung eines Terminus technicus in einem postnormal geführten, wissenschaftlichen Diskurs. <http://www.kaltesonne.de/mittelalterliche-warmperiode-ein-pladoyer-fur-die->

- beibehaltung-eines-terminus-technicus-in-einem-postnormal-geführten-wissenschaftlichen-diskurs/ (4. Mai 2017).
- KÖRSCHENS, M., A. WEIGEL, E. SCHULZ, 1998: Turnover of soil organic matter (SOM) and Long-Term Balances Tools for Evaluating Sustainable Productivity of Soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* (161), 409–424.
- KÖTHE, R., 2017: Dokumentation der digitalen Höhenmodelle, morphometrische Reliefparameter und der geomorphographischen Karte im NIBIS.
- KRENZLIN, A., 1961: Zur Genese der Gewannflur in Deutschland. Nach Untersuchungen im nördlichen Unterfranken. *Geografiska Annaler* 43 (1/2), 190–204.
- KÜHLHORN, E., 1964: Untersuchungen zur Topographie mittelalterlicher Dörfer in Südniedersachsen, 55 S.
- KÜSTER, H., 2007: Die Elbe: Landschaft und Geschichte. München, C. H. Beck oHG, 336 S.
- KÜSTER, H., 2010: Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa: Von der Eisenzeit bis zur Gegenwart, 4. Auflage. München, C. H. Beck oHG, 448 S.
- KÜSTERS, E., 1959: Das Schrifttum über Flurbereinigung. Stuttgart, Eugen Ulmer.
- KUZYAKOV, Y., 2005: Sources of CO<sub>2</sub> efflux from agricultural soils: Processes and quantification. In: *Biologische Senken für atmosphärischen Kohlenstoff in Deutschland*, 53–62.
- LAL, R., 2004: Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* (123), 1–22.
- LAL, R., J. P. BRUCE, 1999: The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environmental Science & Policy* (2), 177–185.
- LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE, 2017: Symbolschlüssel Geologie. Symbole für die Dokumentation geologischer Feld- und Aufschlussdaten. Digitale Erfassung des Symbolteils. Hannover.
- LAZAR, S., B. SCHIPPERS, C. KAUFMANN-BOLL, 2010: Archivböden. Empfehlungen zur Bewertung und zum Schutz von Böden mit besonderer Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), 73–154. [www.labo-deutschland.de](http://www.labo-deutschland.de) (16. Oktober 2016).
- LEVICK, P., 2011: Ridge and Furrow. *Archaeology of East Oxford*. <http://www.archeox.net/fact-sheets/ridge-and-furrow.html> (27. April 2017).
- LIDDIARD, R., 1999: The Distribution of Ridge and Furrow in East Anglia: Ploughing Practice and Subsequent Land Use. *The Agricultural History Review* 47 (1), 1–6.
- LINKE, M., 1968: Ein weiterer Beitrag zur Frage der Altersstellung der Binnendünen. *Hercynia N. F.* (5), 420–436.
- LINKE, M., 1979: Zur Verbreitung, Form und Entstehung altmärkischer Wölbäcker. *Hercynia N. F.* 16 (4). Leipzig, 431–439.
- LÜNING, J., A. JOCKENHÖVEL, H. BENDER, T. CAPELLE, 1997: Deutsche Agrargeschichte. Vor- und Frühgeschichte, Ulmer, 479 S.
- LÜST, C., L. GIANA, 2006: Merkmale von Böden unter rezenten Wäldern, die auf ehemals landwirtschaftlich genutzte Flächen stocken. *Oldenburg*, 27–34.

- MÄDER, P., 2015: Bodenfruchtbarkeit ist ein ökologischer Lebensprozess. <http://www.bodenfruchtbarkeit.org/321.html> (6. November 2016).
- MEIBEYER, W., 1969: Über den Profilaufbau des Pflughorizontes in Wölbäckern. *Zeitschrift für Agrargeschichte und Agrarsoziologie* 17, 161–170.
- MESCHEDE, M., 2015: *Geologie Deutschland. Ein prozessorientierter Ansatz*. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 249 S.
- MIEHLICH, G., 2009: Böden als Archive der Natur- und Kulturgeschichte. In: E. LEISS (Hrsg.): *Sprachphilosophie. Philosophy of Language*. Berlin, de Gruyter, 310 S.
- MIEHLICH, G., 2016: Böden als Archive der Natur- und Kulturgeschichte. Berlin. [www.BODENSCHUTZdigital.de](http://www.BODENSCHUTZdigital.de) (17. April 2017).
- MLUV, REFERAT BODEN UND UMWELT GEOLOGIE, 2011: Boden - Spiegel und Gedächtnis anthropogener Einwirkungen. *Steckbriefe Brandenburger Böden*, 19 S. (26. Oktober 2016).
- MÖLLER, A., A. KENNEPOHL, 2014: *GeoBerichte* 27. Abschätzung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und -Retentionen durch Landnutzungsänderungen anhand regionalisierter Kohlenstoffvorräte auf landwirtschaftlich genutzten Böden Niedersachsens. *Geoebrichte* 27, 79 S. [www.lbeg.niedersachsen.de](http://www.lbeg.niedersachsen.de) (7. Februar 2017).
- MORGAN, R., 2005: Soil Erosion & Conservation. *European Journal of Soil Science* 56 (5), 686.
- MÜCKENHAUSEN, E., 1977: *Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland*, 2. Auflage. Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH.
- MÜLLER, K., L. GIANI, L. MAKOWSKY, 2011: Plaggenesch, Boden des Jahres 2013. Regionale Beispiele aus dem Oldenburger und Osnabrücker Land. *DROSER*, 1–10.
- NAGEL, B., 2011: *Die Eigenarbeit der Zisterzienser. Von der religiösen Askese zur wirtschaftlichen Effizienz*. Marburg, Metropolis-Verlag, 132 S.
- NIEDERSÄCHS. BODENINFORMATIONSSYSTEM, 2017. <http://nibis.lbeg.de/> (23. April 2017).
- NIEDERSÄCHSISCHES VORSCHRIFTENINFORMATIONSSYSTEM, 1999: *Niedersächsisches Bodenschutzgesetz (NBodSchG) vom 19. Februar 1999*.
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE, 1978: *Niedersächsisches Denkmalschutzgesetz. NDSchG*, 11 S.
- NIEMEIER, G., 1967: Bodenkundliche Differenzierung in Flurwüstungen. *Erdkunde* 21 (4), 278–286.
- NOWELL, A., P. A. JUMARS, J. E. ECKMANN, 1981: Effects of biological activity on the entrainment of marine sediments. *Marine Geology* 42 (1-4), 133–153.
- NURBAUM, N., G. MÖHLICH, H. WOLTER-VON DEM KENESEBECK, 2017 (noch nicht erschienen): *Die Zisterzienser im Mittelalter*. Köln, Böhlau, 456 S.
- OECHTERING, E., P. LANTZSCH, S. LAZAR, B. SCHIPPERS, 2013: Leitfaden Archivböden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO). Erfassung und Bewertung von Archivböden (5. Sächsische Bodenschutztagung 19./20. Juni).
- OSTMANN, U., 2005: Berücksichtigung von Bodenfunktionen in der Landschaftsrahmenplanung. *Geofakten* 18, 1–8.
- PERINI, R., 1983: Der frühbronzezeitliche Pflug von Lavagnone. *Arch. Korrbibl.* 13, 187–195.

- PFEFFER, I., 2011: Digitale Geländemodelle – eine Methode zur Lokalisierung von archäologischen Fundstellen, 212–216.
- PFISTER, U., B. STOLLBERG-RILINGER, 2003: Bevölkerungsentwicklung. Subsistenzwirtschaft und Marktwirtschaft. <https://www.uni-muenster.de/FNZ-Online/wirtschaft/grundstrukturen/unterpunkte/bevoelkerung.htm> (4. Mai 2017).
- POSCHOLD, P., 2014: Geschichte der Kulturlandschaft. Entstehungsursachen und Steuerungsfaktoren der Entwicklung der Kulturlandschaft, Ulmer, 244 S.
- POTT, R., 1999: Nordwestdeutsches Tiefland. Zwischen Ems und Weser. Kulturlandschaften. Exkursionsführer. Stuttgart, Eugen Ulmer, 256 S.
- RAAB, A., T. RAAB, M. TAKLA, A. NICOLAY, E. BÖNISCH, H. RÖSLER, 2011: Böden als Archive der Landschaftsgeschichte im Vorfeld des Tagebaus Jänschwalde. Exkursion G7, 85–96.
- RIEK, W., 2015: Zustand und Entwicklung brandenburgischen Waldböden. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen. Trockenrohddichte nach Tiefenstufen. [http://www.forstliche-umweltkontrolle-bb.de/info/monitoring/2.3.5a\\_TRD\\_BZE.pdf](http://www.forstliche-umweltkontrolle-bb.de/info/monitoring/2.3.5a_TRD_BZE.pdf) (6. Juni 2017).
- RINGLEB, A., 1960: Dörfer im oberen Weserbergland. Ein Beitrag zu der Frage nach den Urhöfen und Altfluren einer bäuerlichen Siedlung. In: W. MÜLLER-WILLE, E. BERTELSMEIER (Hrsg.): Landeskundliche Karten und Hefte.
- ROGASIK, J., U. FUNDER, M. KÖRSCHENS, H. ROGASIK, SCHNUG, E., 2005, 2005: Zentrale Stellung des Humus für die Bodenfruchtbarkeit. In: Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit: Stand des Wissens und zukünftige Herausforderungen, 51–64.
- ROGASIK, J., M. KÖRSCHENS, H. ROGASIK, E. SCHNUG, 2008: C-Sequestrierungspotentiale agrarisch genutzter Böden in Deutschland. In: UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Humusversorgung von Böden in Deutschland. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, 202 S., 144–152.
- RÖSENER, W., 1985: Bauern im Mittelalter, C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 335 S.
- RÖSENER, W., 2014: Agrarinnovationen in Mittelalter und Neuzeit. In: M. JAKUBOWSKI-TIESSEN (Hrsg.): Von Amtsgärten und Vogelkojen. Beiträge zum Göttinger Umwelthistorischen Kolloquium 2011 - 2012, Universitätsverlag Göttingen, 133–146.
- ROTTLÄNDER, E., P. REINHARD, M. RENTSCHLER, 1997: Veränderung von Böden durch anthropogene Einflüsse. Ein interdisziplinäres Studienbuch, Springer-Verlag, 144–159.
- SAILE, T., C. LORZ, 2009: Anthropogene Schwarzerdegenese in Mitteleuropa? Ein Beitrag zur aktuellen Diskussion. *Prähistorische Zeitschrift* 78 (2), 121–139.
- SAUER, K., 2010: Der Dampfpflug...und was ich über ihn weiß, Regia, 192 S.
- SCHMIDT, M., J. O. SKJEMSTAD, E. GEHRT, I. KÖGEL-KNABNER, 1999: Charred organic carbon in German chernozemic soils. *European Journal of Soil Science* 50 (2), 351–365.
- SCHONLAU, H.-J., 1966: Schwarzerden und daraus herzuleitende Bodenformen im Hildesheimer Raum. Diplomarbeit. Göttingen, Universität Göttingen.
- SCHRÖDER-LEMBKE, G., 1978: Studien zur Agrargeschichte. In: W. ABEL, G. FRANZ (Hrsg.): Quellen und Forschungen zur Agrargeschichte. Stuttgart, New York, Gustav Fischer Verlag, Band 31.

- SEEDORF, H. H., H.-H. MEYER (Hrsg.), 1992: Landeskunde Niedersachsen. Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung. Neumünster, Wachholtz, 517 S.
- SEEDORF, H. H., H.-H. MEYER (Hrsg.), 1996: Landeskunde Niedersachsen. Niedersachsen als Wirtschaftsraum und Kulturraum. Neumünster, Wachholtz, 896 S.
- SPANISCHBERGER, A., N. MITTERBÖCK, 2015: Boden und Klima. Einflussfaktoren, Daten, Maßnahmen und Anpassungsmöglichkeiten, 72 S. [bmlfuw.gv.at](http://bmlfuw.gv.at) (31. Oktober 2016).
- SPANNHOF, C., 2016: Aule Hüöwe ligget unnern Esk. Siedlungsgeschichte. <http://www.wn.de/Muensterland/Kreis-Steinfurt/Westerkappeln/2232050-Siedlungsgeschichte-Aule-Hueoewe-ligget-unnern-Esk> (8. März 2017).
- STAHR, A., 2014: Typische Böden der Nördlichen Kalkalpen (stark schematisch). <http://www.ahabc.de/boeden-der-noerdlichen-kalkalpen/> (17. April 2017).
- STEINIGER, M., 2013: Bedeutung landwirtschaftlicher Dränsysteme für den Wasser- und Stoffhaushalt. In: LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE SACHSEN (Hrsg.): Dränsysteme in Sachsen. Schriftenreihe. Heft 28/2013.
- THOME, K. N., 1998: Einführung in das Quartär. Das Eiszeitalter der Gletscher. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 289 S.
- UERPMMANN, H.-P., 2007: Von Wildbeutern zu Ackerbauern. Die Neolithische Revolution der menschlichen Subsistenz. Mitteilungen der Gesellschaft für Urgeschichte 16, 55–74.
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.), 2008: Humusversorgung von Böden in Deutschland. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, 202 S.
- UMWELTBUNDESAMT, 2016: Grünlandumbruch. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/landforstwirtschaft/landwirtschaft/gruenlandumbruch#textpart-1> (13. April 2017).
- UNIVERSITÄT MÜNSTER, 2017: Wärmehaushalt des Bodens. Bodeneigenschaften. Projekt Hypersoil. <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/05/05> (3. Mai 2017).
- VOGT, J., 1953: Zur Frage der jungen Gewinnfluren. Erdkunde 7 (4), 309–311.
- VOLKER, A., 2005: Die Geest. Eine Eizeitlandschaft zwischen den Meeren. Poster.
- WALDMANN, F., 2011: Böden als Archive der Naturgeschichte in der Region Südlicher Oberrhein, 11 S.
- WEIGEL, H.-J., U. DÄMMGEN, 2005a: Biologische Senken für atmosphärischen Kohlenstoff in Deutschland. Tagungsband. Braunschweig.
- WEIGEL, H.-J., U. DÄMMGEN, 2005b: Biologische Senken für atmosphärischen Kohlenstoff in Deutschland - Tagungsband. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 280.
- WELL, R., 1989: Eine Wölbacker-Flur auf Parabraunerde-Pseudogley aus Löss im Rheinhäuser Forst bei Göttingen. Vermessung, historische Einordnung, Horizont- und Schichtgliederung, C- und Nährelementanalyse. Diplomarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.
- WENZEL, S., 2013: Mittelalterliche bis neuzeitliche Wölbäcker bei Kottenheim. Neue Erkenntnisse zur Kulturgeschichte der Osteifel Jahrgang 108, Heft 2, 30–32.

- WIEGAND, C., 2005: Spurensuche in Niedersachsen. Historische Kulturlandschaften entdecken, 2. Auflage, Schlütersche, 253 S.
- WIESMEIER, M., P. SPÖRLEIN, U. GEUß, E. HANGEN, S. HAUG, A. REISCHL, B. SCHILLING, M. V. LÜTZOW, I. KÖGEL-KNABNER, 2012: Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. *Global Change Biology* (18), 2233–2245.
- WINIWARTER, V., 2006: Prähistorischer Umgang mit den Böden. In: H.-P. BLUME, P. FELIX-HENNINGSSEN, W. R. FISCHER (Hrsg.): *Handbuch der Bodenkunde*. Loseblattwerk in 3 Ordnern. Heidelberg, München, Berlin, 1-6.

## 9 Anhang

### 9 Anhang

#### Anhang 1: Labordaten – Profile (LBEG, Hannover)

Profil	1	Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	4639	30	64,3	24,6	11,1	SI3		7,0	84	1,48
Koordinaten	N 32604059	45	62,3	25,6	12,1	SI4	1,9	7,3	79	0,45
Neigung [%]	1,1	75	62,1	25,1	12,8	SI4		7,2	78	0,34
		100	57,9	19,9	22,2	Ls4	10,3	7,0	143	0,21
Profil	2	Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	4640	30	70,6	21,3	8,1	SI3		6,8	68	1,53
Koordinaten	N 32604096	40	70,4	20,1	9,5	SI3		6,4	56	0,58
Neigung [%]	0,3	55	69,2	20,5	10,3	SI3	1,5	6,3	59	0,50
		65	61,5	18,2	20,3	Ls4		6,6	99	0,29
Profil	3	Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	4641	30	71,6	21,1	7,3	SI2	3,6	6,1	66	1,24
Koordinaten	N 32604097	45	77,9	16,6	5,5	SI2	8,7	6,4	40	0,48
Neigung [%]	0,3	75	66,6	18,7	14,7	SI4	2,7	6,3	69	0,22
Profil	4	Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	4642	30	72,1	19,7	8,2	SI3	2,1	6,4	67	1,44
Koordinaten	N 32604098	35	69,6	21,3	9,1	SI3	2,0	6,2	54	0,50
Neigung [%]	0,3	40	69,6	21,5	8,9	SI3		6,3	56	0,57
		46	68,1	22,1	9,8	SI3		6,2	59	0,46
		53	68,6	20,2	11,2	SI3	3,0	6,5	60	0,38
		60	62,9	18,8	18,3	Ls4	3,4	6,4	86	0,26
		61	61,6	17,7	20,7	Ls4		6,3	103	0,21
Profil	5	Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	4715	30	59,7	35,1	5,2	Su3	2,0	5,7	68	1,62
Koordinaten	N 32597069	45	59,4	35,8	4,8	Su3	5,8	6,2	22	0,55
Neigung [%]	0,7	55	71,6	25,7	2,7	Su3	5,3	6,3	41	0,33
		60	40,6	54,5	4,9	Us	-	6,5	30	0,17
		70	30,7	57,8	11,5	Uls	-	6,5	60	0,19
		80	82,5	4,1	13,4	St2	8,9	6,5	74	0,19
		100	96,2	-	-	Ss	2,7	6,3	36	0,14

## 9 Anhang

Profil 6			Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	4716		30	60,9	33,2	5,9	Su3	1,4	6,6	75	1,60
Koordinaten	N 32597069	E 5795370	50	58,6	36,5	4,9	Su3	-	6,6	45	0,50
Neigung [%]	0,7		80	64,3	30,8	4,9	Su3	3,1	6,7	33	0,29
Profil 7			Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	4717		8	62,0	32,8	5,2	Su3	5,7	3,5	74	1,69
Koordinaten	N 32597109	E 5795340	15	62,0	32,8	5,2	Su3	5,7	3,5	74	1,69
Neigung [%]	0,7		40	62,5	31,7	5,8	Su3	1,8	3,7	64	1,29
			55	84,6	12,2	3,2	Su2	7,8	3,9	27	0,43
			65	99,1	-	-	Ss	0,8	3,9	21	0,10
Profil 8			Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	4718		8	59,6	35,6	4,8	Su3	2,1	3,8	53	1,20
Koordinaten	N 32597109	E 5795330	20	59,6	35,6	4,8	Su3	2,1	3,8	53	1,20
Neigung [%]	0,7		40	73,4	23,0	3,6	Su2	1,0	3,9	29	0,43
			50	95,1	-	-	Ss	-	3,9	18	0,15
Profil 9			Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	7862		30	62,8	26,4	10,8	Sl3	6,0	7,2	-	1,50
Koordinaten	N 32609836	E 5805621	37	62,0	25,2	12,8	Sl4	3,6	7,2	-	0,74
Neigung [%]	0,8		45	62,0	25,2	12,8	Sl4	3,6	7,2	-	0,74
			80	56,9	23,3	19,8	Ls4	6,8	7,5	-	0,31
			85	58,3	23,6	18,1	Ls4	3,5	7,4	-	0,21
			100	58,3	23,6	18,1	Ls4	3,5	7,4	-	0,21
Profil 10			Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	37520		30	74,5	19,5	6,0	Sl2	2,0	5,3	127	4,08
Koordinaten	N 32471391	E 5875980	38	74,7	19,5	5,8	Sl2	3,9	5,3	60	1,12
Neigung [%]	0,5		50	74,1	19,6	6,3	Sl2	3,8	4,9	46	0,76
			70	72,6	21,1	6,3	Sl2	2,4	4,6	34	0,38
			80	68,1	18,6	13,3	Sl4	0,0	4,2	49	0,29
			110	64,4	19,2	16,4	Sl4	0,2	4,1	60	0,21
			140	66,2	16,1	17,7	Ls4	0,0	4,0	75	0,12

## 9 Anhang

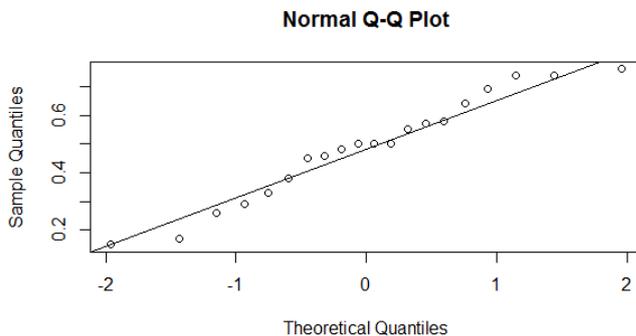
Profil 11			Tiefe	$\Sigma S$ (Gew.%)	$\Sigma U$ (Gew.%)	$\Sigma T$ (Gew.%)	Bodenart	Skelett (Gew.%)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAKpot (mmolc/kg)	Humus (Gew.%)
Nr.	37537		25	77,8	15,3	6,9	Sl2	2,0	4,7	47	1,55
Koordinaten	N	E	35	84,3	11,7	4,0	Su2	1,4	4,9	35	0,69
	32620146	5874278									
Neigung [%]	2,8		65	80,5	16,2	3,3	Su2	2,2	5,0	30	0,64
			85	85,8	12,6	1,6	Su2	0,7	4,6	16	0,19
			105	88,0	9,1	2,9	Ss	1,8	4,4	23	0,21
			130	89,7	8,2	2,1	Ss	-	4,4	16	0,10
			160	97,4	0,3	2,3	Ss	-	4,5	10	0,07

**R-Skript zur Bewertung der Kohlenstoffgehalte von Wölbackerböden**

```
> v_L<-(Tab_1$LBEG)
> v_L
[1] 0.45 0.58 0.50 0.29 0.48 0.50 0.57 0.46 0.38 0.26 0.55 0.33 0.17
0.50 1.29 0.15
[17] 0.74 0.74 0.76 0.69 0.64
> v_R<-(Tab_1$Ref)
> v_R
[1] 1.57 0.54 0.30 0.21 1.24 NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA
[17] NA NA NA NA NA
> summary(v_L)
Min. 1st Qund Median Mean 3rd Qund Max.
0.1500 0.3800 0.5000 0.5252 0.6400 1.2900
> summary(v_R)
Min. 1st Qund Median Mean 3rd Qund Max. NA's
0.210 0.300 0.540 0.772 1.240 1.570 16
```

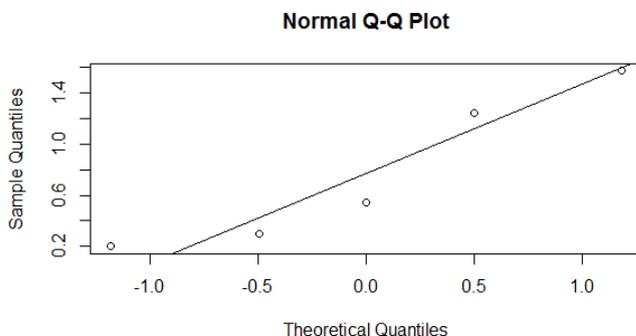
**Prüfen auf Normalverteilung**

```
> skewness(v_L)
[1] 1.141513
> kurtosis(v_L)
[1] 5.374274
> skewness(v_R)
[1] 0.3989773
> kurtosis(v_R)
[1] 1.444665
> boxplot(Tab_1$LBEG, Tab_1$Ref, ylab="Humusgehalt [%] 30-60 cm",
main="Humusgehalte von Wölbackerböden unter landw. Nutzung", na-
mes=c("LBEG, n=21", "Referenz, n=5"))
> qqnorm(v_L); qqline(v_L)
```



**Anhang 2: QQ-Plot LBEG-Profil**

```
> qqnorm(v_R); qqline(v_R)
```



**Anhang 3: QQ-Plot Referenzflächen**

```
> shapiro.test(v_L)
Shapiro-wilk normality test
data: v_L
W = 0.95764, p-value = 0.4978
> shapiro.test(v_R)
```

```
Shapiro-wilk normality test
data: v_R
W = 0.8829, p-value = 0.3226
```

**Ergebnis: Beide Datensätze sind normalverteilt**

**Prüfen auf Varianzhomogenität**

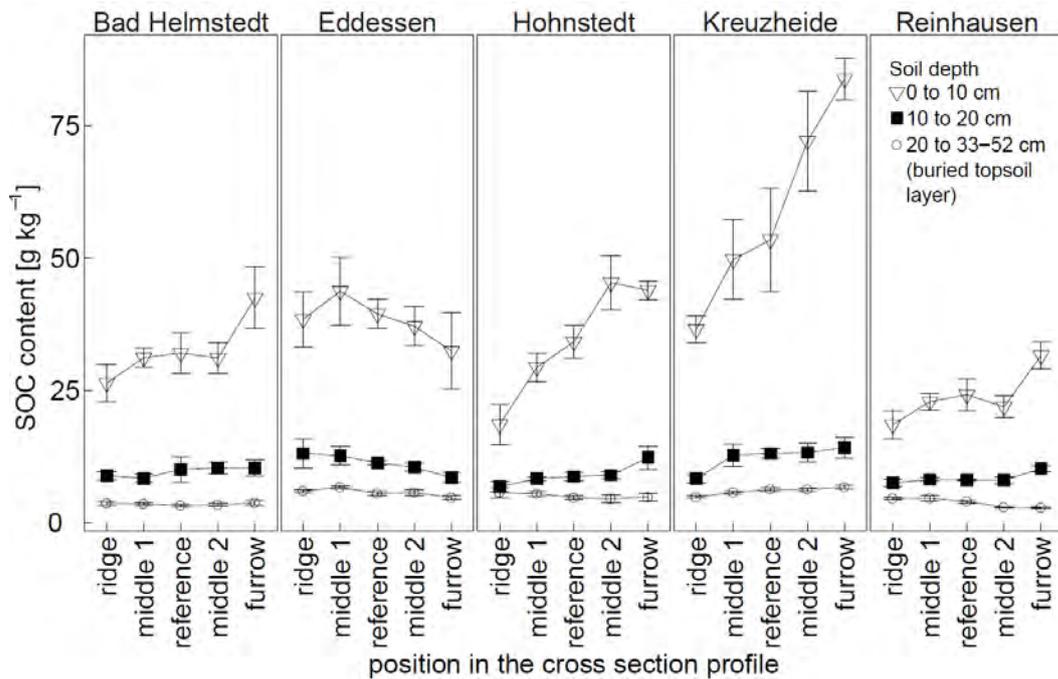
```
> var.test(v_L, v_R)
F test to compare two variances
data: v_L and v_R
F = 0.17178, num df = 20, denom df = 4, p-value = 0.005658
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
0.02006783 0.60375245
sample estimates:
ratio of variances
0.1717795
```

**Ergebnis: Varianzhomogenität liegt nicht vor**

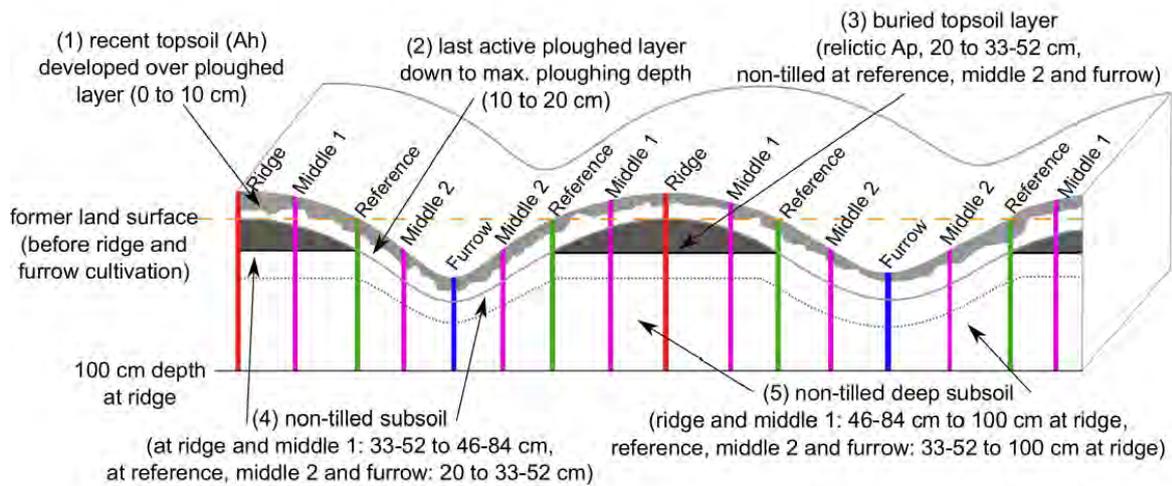
**Welch-Test auf Signifikanz**

```
> t.test(v_L, v_R, var.equal = F)
welch Two Sample t-test
data: v_L and v_R
t = -1.0472, df = 4.1847, p-value = 0.3517
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-1.0276633 0.4576633
sample estimates:
mean of x mean of y
0.487 0.772
```

## 9 Anhang



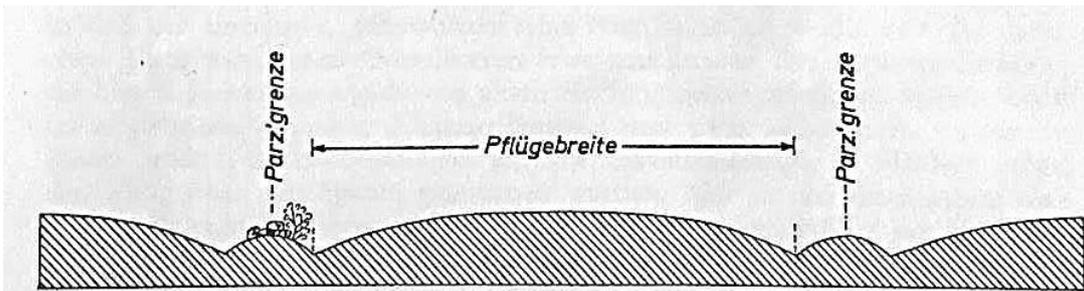
Anhang 4: Organische Bodensubstanz in Wölbackerprofilen unter Wald (ALÁCNTARA et al., 2017).



Anhang 5: Referenz- und Beprobungspunkte in der Fläche (ALÁCNTARA et al., 2017).



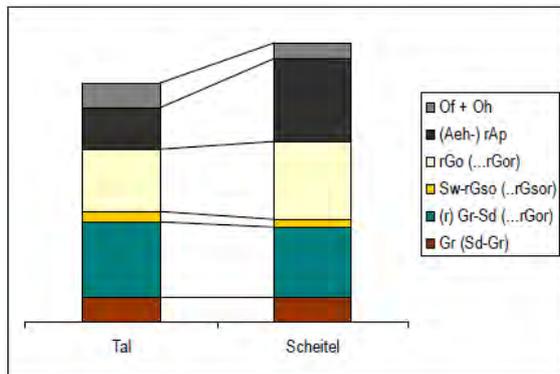
Anhang 6: Wölbäcker mit Vegetation im Bereich der Rücken (SANCHA, o. J.).



Anhang 7: Wölbäcker mit "Zwischenrücken" in den Beetfurchen (MEIBEYER, 1969).



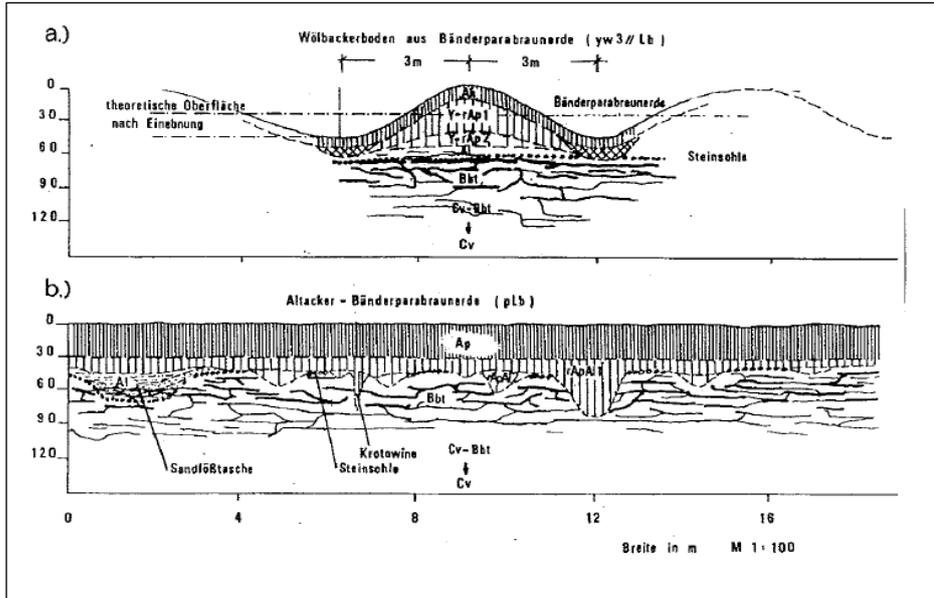
Anhang 8: Wölbäcker-Profil in Gr. Thiershausen (BORK, 2001b).



Mächtigkeit und Kohlenstoffgehalte

Lage	Hor.	Tiefe(cm)	pH (CaCl2)	% GV	%Ct
NaN10 (Tal)	Oh	5-15	2,8	59,2	27,6
	rAp1	15-25	2,9	5,7	3,0
NaN16 (Rücken)	Oh	0-10	2,8	64,8	34,8
	rAp1	10-25	3,2	6,7	3,2
	rAp1	40-50	3,6	7,2	3,4
	rAp2	50-80	3,8	2,9	1,5

Anhang 9: Profilbeschreibung (Furche und Rücken) in der Natteheide (HIEROLD, 2012).



Anhang 10: Bodenveränderungen durch mittelalterliche bis neuzeitliche Beetkulturen (GEHRT, 1998b).

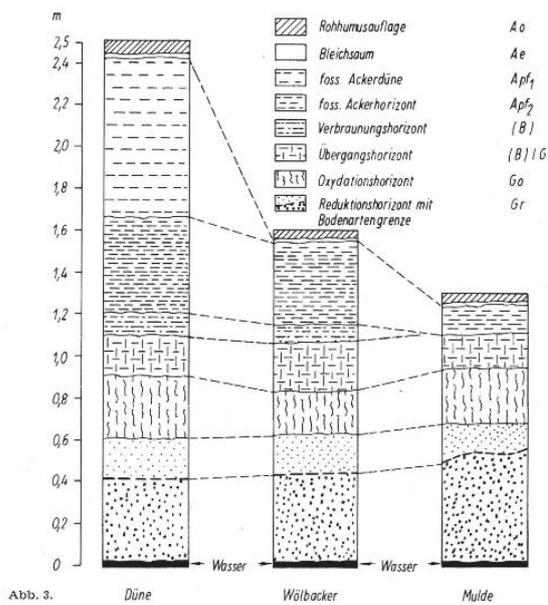


Abb. 3.

Anhang 11: Ehemaliger Wölbacker mit darüber liegender Düne, Wölbackerprofil und Mulde in Schlagenthin (LINKE, 1968).

## Eidesstattliche Erklärung

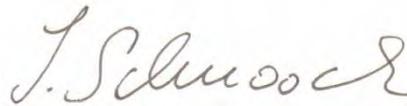
---

### Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht. Die Richtlinien zur Sicherung der guten wissenschaftlichen Praxis an der Universität Göttingen wurden von mir beachtet.

Göttingen, den 12.06.2017

Ilka Schmoock



---