



Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

# EXKURSIONS- FÜHRER

## Göttingen 2017

DBG • Band 118 • 2017 • ISSN – 0343-1071

*Schriftleitung:* N. Lamersdorf und Chr. Ahl, Göttingen

# DBG Mitteilungen Band 118

---

Schriftleitung

**Prof. Dr. Norbert Lamersdorf**

Abt. Ökopedologie der gemäßigten Zonen

Georg-August-Universität Göttingen

Büsgenweg 2

37077 Göttingen

[nlamers@gwdg.de](mailto:nlamers@gwdg.de)

**Dr. Christian Ahl**

DBG Geschäftsstelle

Am Bärenberg 70

37077 Göttingen

[dbg@dbges.de](mailto:dbg@dbges.de)

ISSN – 0343-1071





GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT  
GÖTTINGEN

## JAHRESTAGUNG DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT 2017



Frostkeile nördl. Vorharz



Aula der Universität



Tertiäre Seemuldenfüllung Schöningen

Exkursionsführer

**2. September – 6. September 2017**

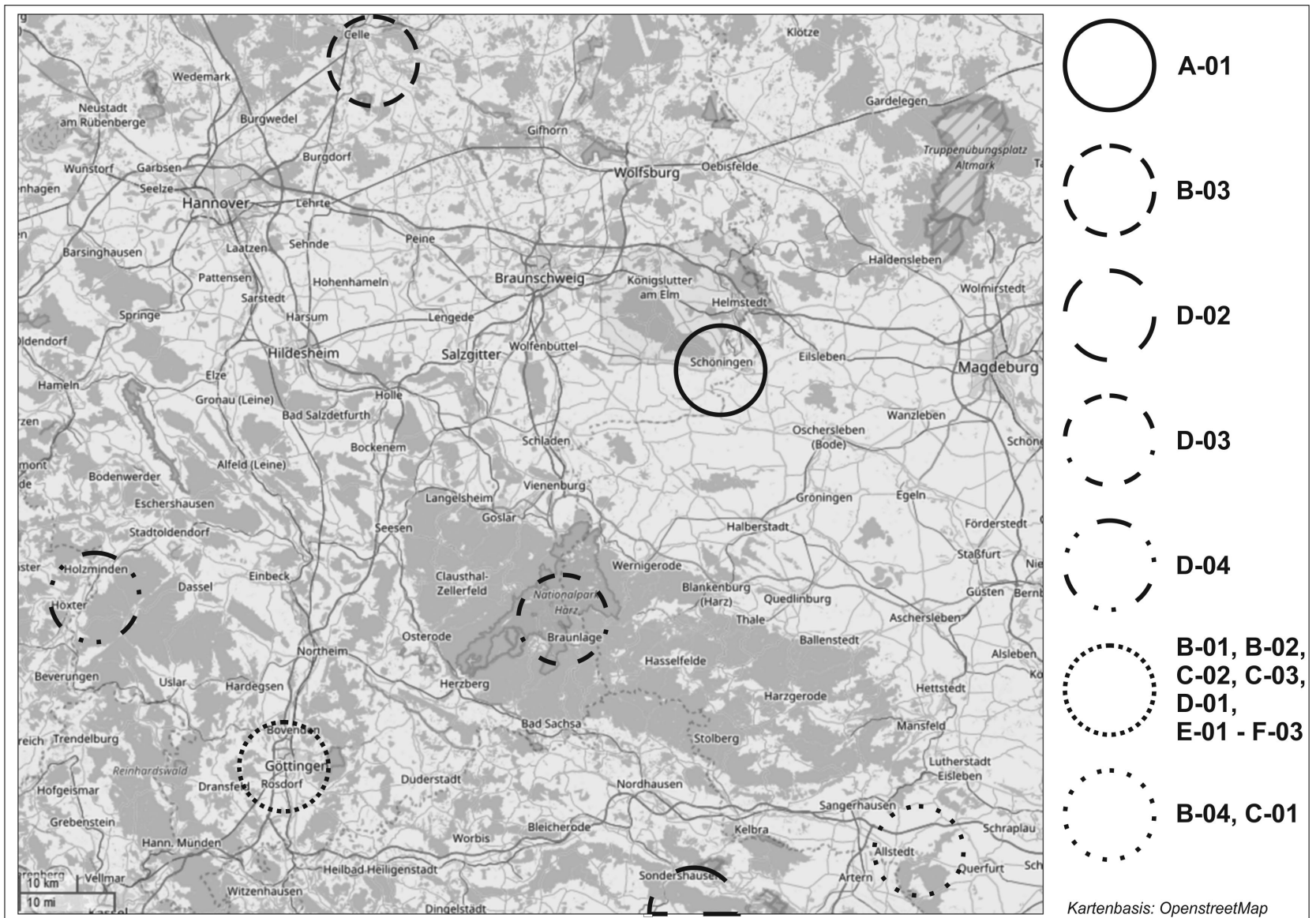
**Horizonte des Bodens**

**Göttingen**



Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

# Exkursionen DBG-Tagung 2017



Kartenbasis: OpenstreetMap

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Exkursionsbeschreibungen

### A) Mehrtagesexkursion

A-01: Von der Salzwiese zum Steppenrasen (C. Ahl, P. Gernandt, I. Schmoock) ..... 1

### B) Ganztagesexkursionen Samstag

B-01: Grünes Band Eichsfeld-Werratal (H. Geries, C. Rüppel) ..... 36

B-02: Effiziente Tier- und Pflanzenproduktion in Südniedersachsen (H.-J. Koch, K. Teiwes, J. Boess, C. von Breitenbuch, H. Hardege, B. Märländer) ..... 39

B-03: Standortpotenziale von Waldstandorten auf einer „phäno“-glazialen Serie im Altpleistozän (V. Stüber, K. Naeder, M. Jansen) ..... 48

B-04: Böden auf Kalk- und Gipsstein im Kyffhäuser (R. Jahn, K. Kaiser, R. Mikutta) ..... 89

### C) Ganztagesexkursionen Sonntag

C-01: Schwarze Böden in und um Halle (Saale) (R. Jahn, K. Kaiser, B. Glaser, K. Wiedner, G. Machulla) ..... 100

C-02: Wanderung durch die Bodenlandschaft des Göttinger Waldes – Deckschichten, Bodenentwicklung und -variabilität auf Gesteinen des Unteren Muschelkalks (E. Gehrt, J. Heisler, S. Evertsbusch, W. Knabe †, J. Dietel, M. Bock, J. Böhner, M. Levin) ..... 137

C-03: Holzernte und Bodenschutz (T. Gaertig, H.-C. Fründ, A. Averdiek, C. Ebeling) ..... 182

### D) Ganztagesexkursionen Donnerstag

D-01: Bodenschätzung in Südniedersachsen (E. Ahlers, H. Burghardt, C. Baethe, T. Klockemeyer, K. Krüger, S. Langner) ..... 190

D-02: Langfristige Kohlenstoff-Dynamik im Nationalpark Hainich (A. Knohl, H. Kreilein, L. Siebicke, M. Mund, M. Schrupf, I. Schöning, G. Gleixner, M. Großmann) ..... 206

D-03: Bergbau- und Umweltgeschichte des Oberharzes (M. Deicke, H. Ruppert) ..... 211

D-04: Waldböden im Solling: Umweltmonitoring, Melioration und forstliche Bewirtschaftungsoptionen (H. Meesenburg, H. Fortmann, J. Evers, M. Wagner, R.V. Nagel, N. König, U. Klinck, U. Talkner, S. Fleck, K.J. Meiwes) ..... 234

### E) Halbtagesexkursionen Samstag

E-01: Versuchsgüter Universität Göttingen (D. Augustin) ..... 248

E-02: Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen (W. Eschenbach) ..... 249

E-03: Stadtführung „Göttinger Unterwelt“ (K. Schmidt) ..... 252

### F) Halbtagesexkursionen Sonntag

F-01: Von hochauflösender Massenspektrometrie zu Mehrfachisotopenapplikationen – State-of-the-Art-Methodik in der Bodenbiogeochemie (M.A. Dippold, Y. Kuzyakov, M.A. Ahmed, A. Carminati, J. Dyckmans, C.C. Banfield, B. Kopka) ..... 253

F-02: Von der Uni in die Schule und in die Öffentlichkeit – Wissenstransfer mittels eines App-gestützten bodenkundlichen Lehrpfads (P. Gernandt) .....	258
F-03: Agroforst und Kurzumtriebsplantagen am Standort Reiffenhausen bei Göttingen (N. Lamersdorf) .....	263

# A-01: Von der Salzwiese zum Steppenrasen

Christian Ahl, Peter Gernandt, Ilka Schmoock

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abt. Agrarpedologie, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

---

## Einleitung

Die Braunschweiger Landschaft bildet einen Übergang zwischen der Norddeutschen Tiefebene und dem Harzer Mittelgebirge. Durch Bruchschollen- und Salztektunik ist in diesem Gebiet ein einzigartiger Lebensraum entstanden: In der glazial geprägten Südheide und der Braunschweig-Peiner Geestlandschaft liegen neben Sander- und Moränenflächen Dünen- und Seenlandschaften vor, die quartären Ausläufer der Südheide werden durch das Aller-Urstromtal durchschnitten. In dem tektonisch vorgeprägten Gebiet sind Niedermoor-Landschaften und Auenwälder zu finden. Die Höhenrücken (Schmal- und Breitsättel) sind heutzutage überwiegend Waldstandorte (Bernatzki et al. 2014).

## Erdmittelalter und Erdaltertum

Im Braunschweiger Land sind überwiegend Gesteine des Mesozoikums (251 bis 65 Mio. Jahre) und des Perms (Erdaltertum, 296 bis 251 Mio. Jahre) zu finden, die häufig von quartären Lockersedimenten überlagert werden. Die präpermischen Gesteine des Harzvorlandes aus dem Paläozoikum (542 bis 296 Mio. Jahre) liegen unter den bis zu mehrere Kilometer mächtigen mesozoischen Sedimenten. Das Deckgebirge des Mesozoikums weist unterschiedliche Mächtigkeiten auf und setzt sich aus Schichten der Trias (251 bis 200 Mio. Jahre), Jura (200 bis 140 Mio. Jahre) und der Kreide (142 bis 65 Mio. Jahre) zusammen. Während im östlichen Teil eine nach Nordwest-Südost ausgerichtete Streichrichtung (herzynisch) vorherrscht, dominiert im westlichen Teil ein Nord-Süd gerichtetes Streichen (rheinisch) (Bernatzki et al. 2014).

Das heterogene Relief in diesem Gebiet ist zum einen auf unterschiedliche Tiefenlagen des Grundgebirges und zum anderen auf Tiefenumbrüche zurückzuführen. Darüber hinaus spielt die Dynamik des Salzaufstiegs eine entscheidende Rolle. Auf diese Weise entstanden individuell geformte Salzstrukturen, wie z. B. das Kissen-Stadium des Buchenwaldgebiets Elm und verschiedene Diapir-Stadien. Durch Salzabwanderungen erschienen zwischen den Salzstöcken Muldenstrukturen, die durch kreidezeitliche Ablagerungen gekennzeichnet sind (Bernatzki et al. 2014).

In den sekundären Randsenken der Helmstedt-Oschersleben-Staßfurter Salzstruktur sind Tertiärsedimente (Eozän bis Oligozän 55 bis 24 Mio. Jahre) höherer Mächtigkeit anzutreffen. Durch den Salzaufstieg sind an den Rändern aufgewölbte Strukturen entstanden, sogenannte Randsenken. Das abwandernde Salz ermöglicht dort die Anhäufung mächtiger Sedimente. Es wird zwischen primären (Oberkeuper bis Kreidezeit) und sekundären Randsenken (Tertiärzeit) unterschieden. Nicht nur Salzstrukturen haben das heutige Relief geprägt. Die Landschaftsgestaltung wurde zum einen durch eine Periode tiefgreifender subtropischer Verwitterung und Erosion während des Tertiärs beeinflusst, zum anderen durch mächtige Gletscher im Quartär (Bernatzki et al. 2014).

## Erdneuzeit – das Quartär

Das nördliche Harzvorland bildet die Grenze zwischen der ehemaligen Vereisung im Norden und dem Periglazialraum Mitteleuropas (Weymann et al. 2005). Im Pleistozän hinterließen die Elster- und Saale-Kaltzeit Moränen, Gletscherschrammen und Findlinge. Es entstanden breite Urstromtäler, u. a. Allertal, Großes Bruch (ungeklärt, ob es ein Urstromtal ist). Entlang der Flüsse (Oker, Innerste, Ilse etc.) kam es zu

mächtigen Ablagerungen von Schmelzwasser-sedimenten (Flussschotter und Talsande) (Bernatzki et al. 2014).

Die ältesten Sedimente in der Landschaft sind Terrassenkiese, die den Oberterrassensystemen aus der Elster-Kaltzeit zugeordnet werden. Die darauf folgende Holstein-Warmzeit lässt sich hingegen pedologisch kaum nachweisen. Fuhne-Kaltzeit und Dömnitz-Warmzeit wurden durch Fließerdimente, Kaltzeitindikatoren und Böden belegt. Darüber liegt der Kies der saalekaltzeitlichen Mittelterrassen, der sich in mehrere

Aufschüttungsphasen untergliedern lässt und stellenweise von glazigenen und glazifluviatilen Sedimenten überdeckt wird. Durch die Entwässerung des Eises kam es zu einer bedeutenden Talung und glazifluviatilen Ablagerungen. Die Schmelze des Eises erfolgte in mehreren Toteisphasen. Während der letzten Eiszeit, in der sich Niederterrassen-Schotter in die bereits bestehenden Täler ablagerte, herrschten im nördlichen Harzvorland periglaziale Bedingungen (Weymann et al. 2005).

### **Exkursionspunkt 1: Wiedelah: Okertal: drenthezeitliche Flussablagerungen**

Die Oker ist ein 128,3 km langer Nebenfluss der Aller, entspringt als *Große Oker* beim Bruchberg im Nationalpark Harz (910 m ü. NN) und mündet bei Müden in die Aller (45 m ü. NN). Das gesamte Einzugsgebiet umfasst ca. 1.822 km<sup>2</sup> (NLWKN 2016a). Das Okertal bei Wiedelah ist ein Talabschnitt der Oker, der sich etwa vom Harlyberg bei Vienenburg im Süden bis nach Wolfenbüttel im Norden erstreckt. Die Talauflage fällt von etwa 125 m ü. NN bei Vienenburg bis auf knapp 80 m ü. NN bei Wolfenbüttel ab (Elbracht et al. 2010).

#### **Geologie**

Das Okertal, im Harzvorland gelegen, gehört zum Subherzynen Becken und wird eingerahmt von den variszischen Aufbrüchen des Harzes im Süden und dem Flechtinger Höhenzug im Nordosten (Ahl et al. 2013). Infolge der *Variszischen Faltung* vor etwa 310 Mio. Jahren im Oberkarbon wurden die Gesteine aus Mittel- bis Unterkarbon eng gefaltet, steil gestellt oder überkippt. Die Talflanken weisen derzeit eine Mächtigkeit von bis zu über 300 m auf und legen durch den tiefen Einschnitt in das Harzgebirge den Blick auf die anstehenden Gesteine frei (Franzke u. Joss 2008). Die ehemals als feine Ton-schlämme und Sandlagen, auch als Kalksteinlagen benannt, abgelagerten Sedimente sind zeitlich dem Devon und Karbon zuzuordnen. In der von Harz-Geröll eingekleideten Mulde herrscht eine mesozoische-känozoische Sedimentabfolge vor. Durch Schollenmosaik des

subsalinaren Untergrunds und mobiles Zechsteinsalz wurden die Kalk- und Buntsandsteinschichten des Mesozoikums und der Kreide steil aufgerichtet (Ahl et al. 2013).

Die **Mittel- und Niederterrassen**, die in hydraulischem Kontakt zu mesozoischem Festgestein und drenthezeitlichen Schichten stehen, sind auf Ablagerungen aus der Saale- bzw. Weichselzeit zurückzuführen. Auf den Terrassen liegen Lössablagerungen aus der Weichselzeit. Die Mittel-Terrassenkörper sind während Eem- und Weichseleiszeit nahezu vollständig abgeräumt worden, während sich in hohen Lagen der Drenthe-Mittelterrassen Eiskeilnetze der Weichselzeit ausgeprägt haben (Ahl et al. 2013).

#### **Stoff- und Wasserhaushalt im Okertal**

Die fluviatil entstandenen Flussablagerungen des Okertals besitzen eine Mächtigkeit von bis zu über 30 m und bestehen überwiegend aus schluffigem Sand und Kies. Die gut bis sehr gut durchlässigen Porengrundwasserleiter weisen einen überwiegend silikatischen Gesteinscharakter auf. Sie werden größtenteils von 1 bis 2 m mächtigen Auen- und Hochflutlehmen überdeckt, zum Teil bis 4 m. Durch diese Überdeckung sind tiefere Bereiche gut gegen Oberflächeneinflüsse geschützt. Allerdings besteht aufgrund intensiver Auskiesungen die Gefahr, dass die Schutzfunktion nicht mehr ausreichend vorhanden ist (Elbracht et al. 2010).



Das Gebiet ist Teil des Grundwasserwerkes *Börssum-Heiningen*, welches mit einer Fördermenge von 22 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr das größte Niedersachsens darstellt. Etwa 23 % des Grundwassers werden innerhalb des 90 km<sup>2</sup> großen Wasserschutzgebietes gebildet. Die jährliche Neubildungsrate beträgt 171 mm pro m<sup>2</sup>. Durch unterirdische Zuflüsse aus den Seitentälern strömen 45 % des Grundwassers. Aus Uferfiltration der Ilse stammen 9 %, aus dem Bereich der Oker 22 %. Die Grundwasserabstandsgeschwindigkeit beträgt im zentralen Okertal 18 m/d. Durch den Kiesabbau kommt es zur Abdichtung des unterströmigen Ufers. Das dadurch anströmende Wasser wird angestaut und der durchflusswirksame Querschnitt reduziert (Ahl et al. 2013).



**Abb. 1:** Okertal Wiedelah, Blick gen Süden (C. Ahl)

Die Flüsse schnitten sich einst tief in die eiszeitlichen Talsande der Niederterrasse ein. Das Relief entlang der Oker wurde seit dem Mittelalter ackerbaulich intensiv genutzt, wodurch Schwemm-Sedimente (Schwemmsande und Löss) das Relief wieder auffüllten (Elbracht et al. 2010).

Darüber hinaus kam es durch die bergbauliche Nutzung des Harzes und die damit zusammenhängende Entwaldung zu einem Transport großer Mengen schwermetallischer Sedimente (Arsen, Blei, Cadmium) in die Auen von Innerste und Oker. Dieser Vorgang trug ebenfalls zu einem Reliefausgleich bei (Bernatzki et al. 2014). Innerstetal und Okertal umfassen eine Fläche von 5.000 ha und gehören heute zu den in Niedersachsen landwirtschaftlich genutzten Böden mit höchster Schwermetallbelastung. Während das Innerstetal vorwiegend Cadmium und Blei

aufweist, wurde im Okertal auch Kupfer gefunden (Krüger 2015).

Nicht nur die Belastung von Schwermetallen stellt in diesem Gebiet ein Problem dar. Über einen Untersuchungszeitraum von fast 50 Jahren konnte eine langfristige Abnahme der Grundwasserstände aufgrund erhöhter Wasserförderung und verminderter Infiltrationsraten der Fließgewässer, hervorgerufen durch den Tal-sperrbetrieb, festgestellt werden. Durch zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft ist ein starker Anstieg von Nitrat in Grund- und



Oberflächenwasser zu vermerken (Kaselow 1987). Die N-Bilanzen der bedürfen der Verbesserung (Ahl et al. 2013).

**Abb. 2:** Typ. Braunerde – Wiedelah

**Tab. 1:** N-Zufuhr-Abfuhr-Transfer-Koeffizienten der wichtigsten Hauptfrüchte aus der Flächenbilanz (1992–1994) (Mund 1995)

Frucht	W.- Weizen	W.- Gerste	W.- Roggen	Raps	Zucker- rübe
Trans- fer-%	69	68	71	49	57

**Tab. 2:** Nitratbelastung der einzelnen Flächennutzung im Okertal

Flächennutzung im Okertal	[mg Nitrat/l]
Durchschnitt	35
Sommer	25
Winter	50
Grünlandfläche	12
Zustrombereich, ackerbaulich genutzte Flächen (S.-A.)	27 bis 44
Ungenügende Anrechnung der Wirtschaftsdünger	>50
Fließgewässer u. Hausbrunnen	32
Brunnen in Göddeckenrode	82
Grundwasser der Mittelterrasse	91
Oker	25

### **Naturschutzgebiet Okertal (NSG BR 043)**

Das Naturschutzgebiet Okertal umfasst ca. 250 ha und liegt zwischen dem Ortsteil Wöltingerode (Stadt Vienenburg) und der Gemeinde Schladen (niedersächsischer Teil). Der 5 bis 10 m breite mäandrierende Flusslauf weist Schotterbänke, Flutmulden und Altwasser auf. Die begleitende Talvegetation besteht in diesem noch erhaltenen naturnahen Gebiet aus einem Mosaik von Auenwäldern, blütenreichen Schotterfluren und schwermetallbeeinflussten Flusschotter-Magerrasen. Die Kante der Mittelterrasse wird durch Trockenbüsche und Laubbaumarten, wie z. B. Haselnuss und Eberesche,

geprägt und bildet mit einer Länge von etwa 5 km die Grenze im Westen. Das Naturschutzgebiet ist Teil des FFH-Gebietes 123 „Harly, Ecker und Okertal“ und gehört zum Vogelschutzgebiet V58 „Okertal bei Vienenburg“. Die Landkreise Goslar und Wolfenbüttel sind als untere Naturschutzbehörden verantwortlich (NLWKN 2016a).

Das Bodenprofil Exkursionspunkt 1 liegt am Ostrand des Okertals. Unter der Frostschuttdecke der drenthezeitlichen Kiese befinden sich Ablagerungen der Eem-Warmzeit (zur Diskussion?).



## Exkursionspunkt 1: Typische Braunerde – Terrassenkiese im Okertal

**Tab. 3:** Okertal – Korngrößenanalyse

Tiefe cm	gS 2000-630 µm %	mS 630-200 µm %	fS 200-63 µm %	gU1 63-36 µm %	gU2 36-20 µm %	mU 20-6 µm %	T < 2 µm %	S Σ %	U Σ %	T Σ %
15-35	34,0	11,2	7,4	6,0	8,7	22,3	10,3	52,6	37,1	10,3
35-70	31,1	13,2	8,6	5,9	8,9	22,9	9,3	52,9	37,7	9,3
70-115	28,1	14,2	9,8	6,6	9,3	22,8	9,3	52,0	38,7	9,3
115-160	3,6	5,0	5,4	5,7	7,2	21,5	51,6	14,0	34,4	51,6

**Tab. 4:** Okertal – C<sub>org</sub>, Humus, C/N, pH

Tiefe cm	C <sub>org</sub> %	Humus %	C/N	pH CaCl <sub>2</sub>
15-35	1,97	3,4	28,7	3,6
35-70	0,75	1,3	21,7	3,8
70-115	0,98	1,7	18,2	3,9
115-160	0,81	1,4	10,4	3,9

**Tab. 5:** Okertal – Elementanalyse

Tiefe cm	Al [mg/g]	Ca [mg/g]	Cd [mg/g]	Co [mg/g]	Cr [mg/g]	Cu [mg/g]	Fe [mg/g]	K [mg/g]
15-35	30,6	1,4	0,00	0,00	0,05	0,02	22,6	7,4
35-70	29,9	1,7	0,00	0,01	0,05	0,02	24,9	8,1
70-115	31,6	1,6	0,00	0,01	0,06	0,02	26	8,7
115-160	72,5	2,2	0,00	0,02	0,07	0,04	37,5	14,1

**Tab. 6:** Okertal – Elementanalyse

Tiefe cm	Mg [mg/g]	Mn [mg/g]	Na [mg/g]	Ni [mg/g]	P [mg/g]	Pb [mg/g]	S [mg/g]	Zn [mg/g]
15-35	3,2	0,2	0,4	0,02	0,3	0,06	0,2	0,11
35-70	3,5	0,3	0,5	0,02	0,2	0,02	0,1	0,12
70-115	3,6	0,3	0,4	0,02	0,2	0,03	0,1	0,11
115-160	6,8	1,1	0,7	0,06	0,1	0,05	0,1	0,19

## Exkursionspunkt 2: Veltheim – Steinmühle: Travertin der Eemwarmzeit

Am Nordhang des Großen Fallsteins befindet sich im Nordharzvorland ein eemzeitliches (125.000 bis 115.000) Travertinvorkommen („Steinmühle“). Der Abbau des Travertins galt zuletzt der Gewinnung von Steinen für Bauten auf dem Reichsparteitaggelände in Nürnberg. Der Betrieb des Steinbruchs wurde vermutlich in der Zeit des Zweiten Weltkrieges aufgegeben (Wenzel 1993).

### Geologie

Der Weiler „Steinmühle“ befindet sich zwischen Osterode und Veltheim im Kreis Halberstadt. Bereits seit der Jahrhundertwende wurden im Steinbruch geologische und malakozoologische (= Weichtierkunde) Untersuchungen durchgeführt. Im Jahr 1929 wurde durch die Sprengung einer großen Travertinplatte ein frühgeschichtlicher Schlagplatz freigelegt. Durch Funde von Travertingeröllen im saalezeitlichen Schotter wurde der Travertin zunächst der Holstein – Warmzeit zugeordnet (Wiegiers 1924, 202 aus Wenzel 1993). Erstmals konnte Wohlstadt (1920) eine Datierung in die Eem-Warmzeit infolge zahlreicher Molluskenfunde festlegen. Später ordnete auch Wolstedt (1935) die Funde aufgrund terrassenstratigrafischer Argumente der letzten Warmzeit zu, welche noch heute die gültige Zuordnung darstellt. Diese Beobachtungen gehen auf den Schmalenberg bei Osterode zurück, wo Travertin den Schotter des Ilse-Urstromtales überlagert (Schröder 1919, (Wolstedt 1935 aus Wenzel 1993). Aufgrund der Höhenlage von 100 bis 110 m über Meereshöhe werden die Schotter einer saalezeitlichen Mittelterrasse zugeordnet. Reste solcher Schotter wurden in gleicher Höhenlage zwischen dem Schmalenberg und der Steinmühle gefunden (Wenzel 1993).

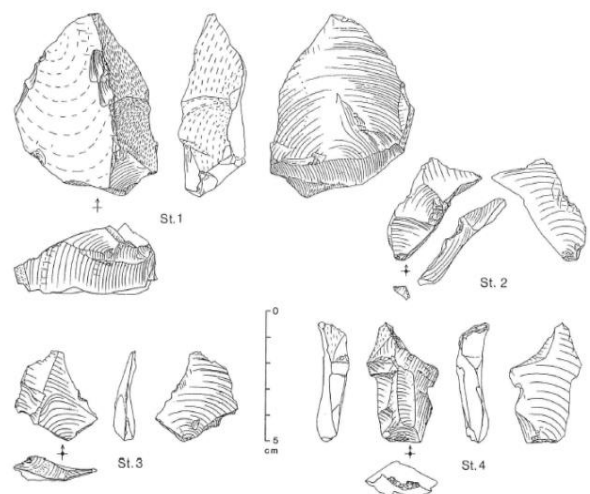
Der Aufbau des Travertins besteht aus Muschelkalk, tonigen Grenzschichten von Muschelkalk zu Keuper und Keuperton sowie Kiesen und Schotter, welche aus den Gesteinen des Harzes und des Harzvorlandes sowie aus nordischen Geschieben stammen. Durch den Keuperton kam es zu einer Stauung des Wassers, welches durch Klüfte und Verwerfungen des Muschelkalkes auftrat. Infolgedessen fiel

der Travertin an einer Überfall- oder Barrierequelle aus (Hemprich 1932 aus Wenzel 1993).

Im Südosten des Steinbruchs beobachtete Schroeder (1919, 35) eine Überlagerung von Löss durch Hangschutt. Er beschreibt das Profil wie folgt:

1. 1,25 m Löss mit zahlreichen wenig ecken- und katengerundeten, bis 0,2 m Seitenlänge besitzenden Muschelkalkstücken
2. 0,70 m Gelber Löss
3. 1,00 m grauer, sehr poröser, mürber und großlöchriger Süßwasserkalk
4. fester, dickbankiger Kalk mit einzelnen Muschelkalkgeröllen

In der ehemaligen Senke, dem jetzigen Steinbach, war die Mächtigkeit des Travertins am größten. Im westlichen Teil des Steinbruchs konnte Schröder (1919) sandig-lehmiges Ausfüllungsmaterial beobachten, worin zahlreiche Reste von Wirbeltieren, wie z. B. Waldnashorn, Wisent und Reh, gefunden wurden. Hemprich (1932) entdeckte darüber hinaus einen Klingenskratzer, der ebenfalls in der Kluft verborgen lag. Es wurden zum Teil auch „schwarze Brandstellen“ mit einigen Spuren von Holzkohle entdeckt. Alle Funde wiesen auf den Aufenthalt des Menschen in diesem Gebiet hin (Wenzel 1993).



**Abb. 3:** Steinartefakte – Abschläge. Nordischer Geschiebefeuersstein (Wenzel 1993)

## Schlagplatz

Im Jahr 1992 konnte durch die Sprengung ein Schlagplatz mit etwa 50 Abschlägen freigelegt werden, darunter auch ein Klopstein aus Granit. Ein Schlagplatz beschreibt ein kleines Areal mit flächenhafter Anhäufung lithischen Materials, auf dem die Bearbeitung von Feuerstein und Travertin durch die steinzeitliche Bevölkerung stattfand. Meist sind an den Plätzen noch zahlreiche Abschläge (Abfallprodukte) und Rohlinge oder auch Klingen zu finden, da damaliges Werkzeug an diesen Stellen hergestellt oder vorgearbeitet wurde. Im Fall, dass Rohmaterial dorthin mitgebracht worden ist, wurde es an

den Schlagplätzen lediglich weiterverarbeitet (Herrmann 1989).

Die an der Steinmühle gefundenen Artefakte wurden durch den ehemaligen Museumsleiter in Halberstadt, A. Hemprich, geborgen. Die Abschläge sind präpariert und weisen kaum natürliche Flächen auf. Dies deutet darauf hin, dass der Feuerstein in Form vorpräparierter Kerne zur Quelle gebracht wurde. In der unmittelbaren Umgebung der Steinmühle lassen sich auf den Äckern nur kleine Feuersteine finden, was für einen Transport der Materialien über eine größere Entfernung spricht (Wenzel, 1993).

## Exkursionspunkt 3: Winnigstedt: Wartheablagerungen mit Jungwürm-Löss



Abb. 4: Grandkuhlenberg (P. Gernandt)

Der etwa 1,5 km lange Kiesrücken bei Winnigstedt erhebt sich etwa 12 km östlich von Hornburg und liegt im Straßendreieck zwischen Roklum, Winnigstedt und Mattierzoll. Mit Genehmigung kann man den Grandkuhlenberg, der in einer kleinen Kiesgrube offengelegt ist, betreten (Krüger 2006).

## Geologie

Hauptbestandteile des Rückens sind Kreidekalksteine, die im Nordwesten zwischen Asse und Okertal anstehen, und skandinavische Gesteine aus Gletschervorstößen. Es handelt sich dabei um Nahgeschiebe (Krüger 2006).

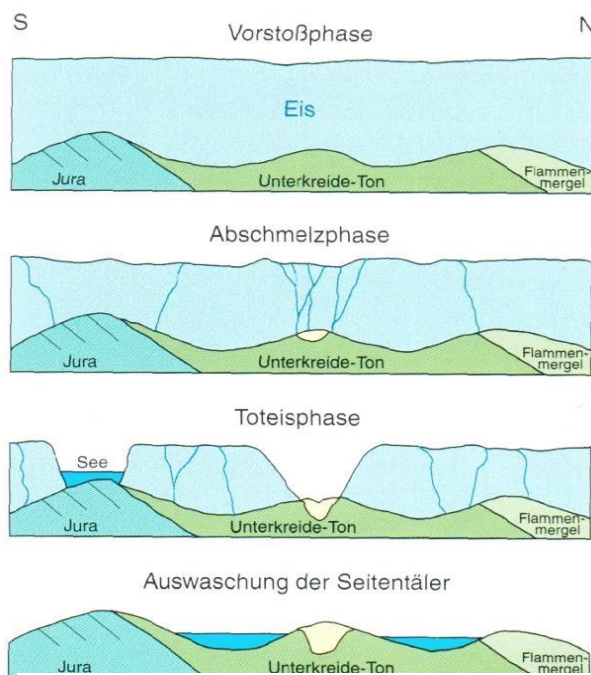


Abb. 5: Entstehung des Kiesrückens im Grandkuhlenberg (Theune 1976 aus Krüger 2006)

Während des Abschmelzens der nordischen Eismassen bildeten sich große Risse und Spalten, und das Eis zerfiel in Toteisblöcke. In den Zwischenräumen entstanden Abflüsse und Seen, die das Schmelzwasser führen. In einer langgezogenen Gletscherspalte wurde der Kies abgelagert. Auf beiden Seiten des Grandkuhlenbergs wurden infolge fluviatiler Sedimentabtragung die Seitentäler ausgewaschen, sodass der Kiesrücken weiter herauspräpariert

wurde. Dieser blieb auch nach dem vollständigen Abschmelzen erhalten (Feldmann 2003). Am häufigsten sind auf dem Kiesrücken die grünlich bis grau gefärbten Mergelsteine im Kies zu finden. In der näheren Umgebung lassen sich außerdem weiße Kalkmergelsteine und

versteinerte Belemniten entdecken; weitere Gerölle: Feuersteine, Granite aus Skandinavien, skandinavische Vulkanite, Toneisensteine und die aus dem Harz und dem Harzvorland stammenden Rogensteine (Feldmann 2003).

#### Exkursionspunkt 4: Großer Berg – eine jungsteinzeitliche Erdwerkslandschaft



**Abb. 6:** Erdwerk von Wittmar (A. Grüttermann, Braunschweig 2011)

In Mitteleuropa sind seit der ältesten Bandkeramik (5.700 v. Chr.) Grabenwerke bekannt. Unter dem Begriff „Erdwerk“ sind Umfassungsanlagen mit Grabensystem unterschiedlicher Form und Größe zu verstehen. Oftmals können außerdem Palisaden, Wälle und der Grabenaushub nachgewiesen werden. Heutzutage sind ehemalige Gräben und Wälle nur noch sehr selten erhalten und lediglich aus der Luft zu erkennen, da in diesen Bereichen durch die Verfüllung der Gräben andere Wachstumsbedingungen für Pflanzen herrschen (Geschwinde u. Raetzl-Fabian 2009).

#### Entdeckung der Erdwerke

Bereits vor 1900 gab es infolge von Ausgrabungen die Entdeckung großer Grabenzüge aus der Jungsteinzeit. Die bis dahin als siedlungsleer erschienene Epoche gehörte, wie sich später herausstellte, zu den aktivsten Zeitabschnitten des Neolithikums im Braunschweiger Land (Bernatzki et al. 2014).

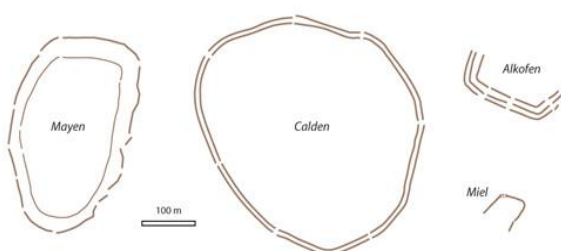
Eine große Anlage südlich von Wittmar wurde 1994 als erstes Erdwerk durch den Luftbildarchäologen Otto Braasch erkannt. Im Jahr 1989 kam es zu den ersten systematischen Befliegungen, die zur Entdeckung einer in Mitteleuropa einzigartigen „Erdwerkslandschaft“ zwischen Aller und Harz führten. Während der ersten drei Jahre wurden bereits neun Erdwerke in Niedersachsen gefunden (Geschwinde u. Raetzl-Fabian 2009). Die Bezirksarchäologie führte daraufhin zwischen 1996 und 2008 das Projekt **ErdWerke im BraunSchweiger Land (EWBSL)** ein, um für die wichtigsten Anlagen eine Datierung zu erstellen. Bis zum Jahr 2009 wurden insgesamt 33 weitere Erdwerke entdeckt, die meisten davon durch den Archäologen Andreas Grüttermann. Das niedersächsische Nordharzvorland bildete die Forschungslandschaft des Projektes. Es handelt sich dabei nicht um einen geschlossenen Kultur- und Landschaftsraum. Das Nordharzvorland ist seit jeher ein Grenzübergang zwischen drei Großlandschaften gewesen. Bestehend aus norddeutscher Tiefebene, Mittelelbe-Saalgebiet und Mittelgebirge liegt innerhalb dieser Ausdehnung eine naturräumliche Heterogenität vor. Von der Geest-Niederung über das Aller-Flachland bis hin zum Bergvorland und Mittelgebirge zeigen sich bewaldete und offene Flächen im Wechsel. Das Nordharzvorland stellt somit einen Übergangsbereich von der Börde bis hin zu der glazial geprägten Tiefebene dar. Die Erdwerke im Landkreis Helmstedt bei Jerxheim und bei Hoiersdorf bildeten einen guten Querschnitt für die Anlagen in der Umgebung (Geschwinde u. Raetzl-Fabian 2009).



## Datierung

In Mitteleuropa wurden Erdwerke während des Neolithikums ab der Linienbandkeramik, ca. 5300 v. Chr. bis etwa 3000 v. Chr., erbaut. Die Untersuchungen im Rahmen des EWBSL-Projektes führten zu dem Ergebnis, dass alle Erdwerke im Braunschweiger Land in einer vergleichbar kurzen Zeitperiode zwischen 4200 und 3500 v. Chr. errichtet worden sein müssen. Die Daten wurden mithilfe der Radiocarbonmethode ( $^{14}\text{C}$ -Datierung) erhoben (Bernatzki et al. 2014).

## Form und Größe



**Abb. 7:** Grundrisse jungneolithischer Erdwerke zwischen 4200 und 3400 v. Chr. (Fabian 2009)

Der Großteil der bandkeramischen Grabenwerke ist oval geformt, amorphe Formen treten selten auf. Die Größe beträgt durchschnittlich zwischen 100 m und 320 m im Durchmesser. In Abbildung 7 sind Grundrisse jungneolithischer Erdwerke dargestellt. Um für die Praxis vergleichsweise einfache Definitionskriterien zu schaffen, wurden acht Klassen zur Charakterisierung gebildet. Dabei spielt sowohl die Gesamtfläche als auch die Gesamtgrabenlänge (Summe aller Gräben einer Anlage) eine Rolle (Fabian 2008–2016).

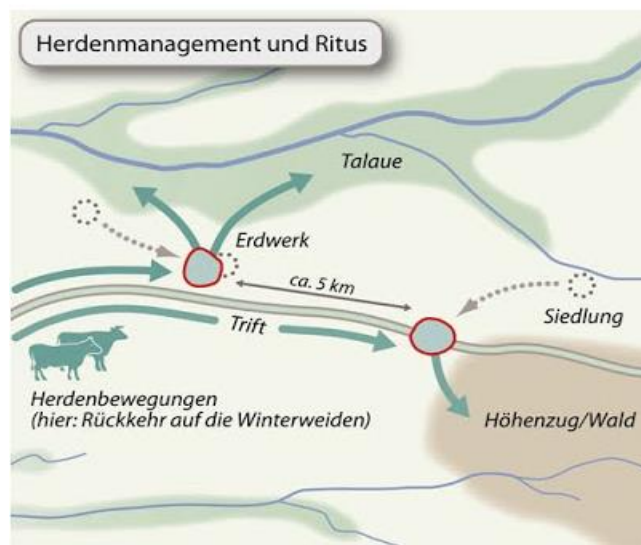
**Tab. 7:** Definition der Klassen zur Charakterisierung von Erdwerken, nach EWBSL (o.J.)

	Gesamtgrabenlänge [m]		Gesamtfläche [ha]
A	4.000-7.000	a	20-90
B	1.500-3.999	b	10-19,9
C	500-1.499	c	2,0-9,9
D	bis 499	d	bis 1,9

Ein Großteil der im Braunschweiger Land entdeckten Erdwerke gehört zum monumentalen

Bautyp. Der Begriff „monumentales Erdwerk“ wurde 1999 durch Raetzl-Fabian eingeführt und im Rahmen des EWBSL-Projektes präzisiert. Darunter fallen alle Erdwerke, die eine Gesamtgrabenlänge von mindestens 1.500 m und eine Gesamtfläche von 10 ha aufweisen. Das entspricht nach Tabelle 9 der Klasse Bb. Allerdings werden auch Erdwerke als monumental angesprochen, die entweder über 1.500 m Grabenlänge oder eine Fläche von über 10 ha besitzen (Klasse Cb bzw. Bc) (Fabian 2008–2016).

## Funktion der Gräben



**Abb. 8:** Braunschweiger Modell (Fabian 2009)

Archäologen fanden heraus, dass es unbesiedelte und besiedelte Erdwerke mit unterschiedlicher Größe gab. Die große architektonische Heterogenität und die weite Verbreitung der Anlagen erschwerten die Interpretation zusätzlich. Vermutlich dienten diese als Befestigung in Krisenzeiten, was die Datierung zum Ende der Bandkeramik untermauert. Offen bleibt jedoch die Frage, ob es sich um einen gängigen Siedlungstyp oder einen Zentralstandort handelte (Meyer u. Raetzl-Fabian 2006). Zur Deutung der Erdwerke wurden daher verschiedene Modelle entwickelt.

Das **Caldener Modell** (1996/2000) beschränkt sich auf monumentale Erdwerke und geht davon aus, dass diese aufgrund ihrer eher geringen Größe nicht zu Verteidigungszwecken errichtet worden sind. Unterstützt wird diese These von der häufig ungünstig gewählten Lage im

Gelände. Des Weiteren sind die Innenflächen meist fundleer, und die Gräben weisen eine schnelle Verfüllung nach dem Aushub auf. Häufig können menschliche Skelettteile gefunden werden, was für eine Art sekundärer Bestattungsplatz spricht. Durch weitere Funde von rituellen Überresten in der Grabenverfüllung ist von einem mehrstufigen Totenritual auszugehen. Eine besonders auffällige Fassade und die Orientierung an Fernwegen lassen auf eine Art Kommunikationsort mit der Außensphäre schließen. Nach dem Caldener Modell stellen Erdwerke einen Zentralort verstreut siedelnder Gemeinschaften dar, der im Wesentlichen rituelle Funktionen besitzt, aber auch gleichzeitig eine Abgrenzung zu anderen Gruppen darstellt (Fabian 2008–2016).

Im Rahmen des EWBSL-Projektes wurde später ein neues Denkmodell zur Interpretation der Gräben entwickelt.

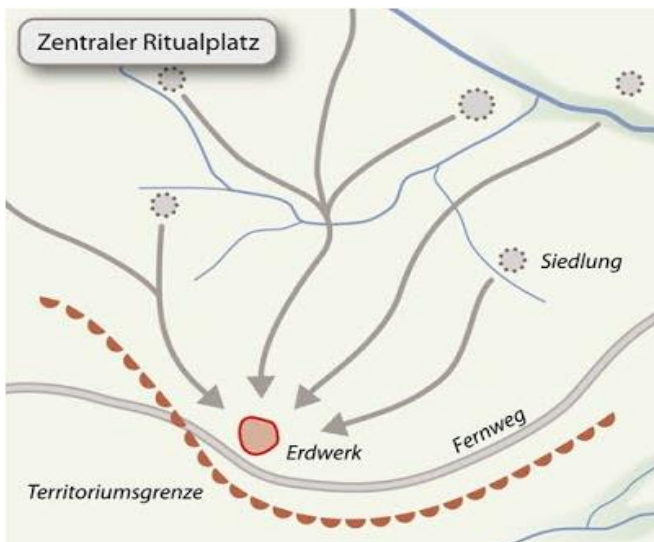


Abb. 9: Caldener Modell (Fabian 2009)

Im sogenannten **Braunschweiger Modell** haben die monumentalen Erdwerke zum einen ebenfalls eine Funktion als Ritualort, werden zum anderen aber auch für landwirtschaftliche Zwecke genutzt. Die zweiteilige Wirtschaftsform war die der Michelsberger Gruppen, einer jungsteinzeitlichen Kultur in Mitteleuropa, die aus Ackerbau betreibenden, sesshaften Bauern und wandernden Hirten mit extensiver Rinderzucht bestand. In diesem Fall dienten die Erdwerke vermutlich als Einhegungen beim Umtrieb von sommerlichen Fernweiden zu regionalen Winterweiden. Der überdimensionierte umschlossene Raum könnte ein Hinweis auf eine solche Nutzung sein. Außerdem wurde für den

Zeitraum zwischen 4000 und 3800 v. Chr. in den Pollendiagrammen des Gebietes eine massive Zunahme an Weideanzeigern beobachtet (Bernatzki et al. 2014). Darüber hinaus konnte durch die Erdwerke ein Netz uralter Verkehrswege entdeckt werden, auf denen hohe Anteile an Rinderknochen gefunden wurden. Möglicherweise wurden die Anlagen entlang dieser Viehtriften regelmäßig bzw. saisonal genutzt. Diese routenstabilen Fernwegesysteme blieben in ihren Grundzügen noch bis in das Mittelalter hinein erhalten.

Allerdings sprechen die aufwendige Architektur und Belege für rituelle Aktivitäten gegen diese Interpretation als Viehkral, weswegen von einer funktionalen Einheit mit dualistischem Charakter auszugehen ist. Während einerseits Bestattungen und Rituale stattfanden, diente der Innenraum andererseits zum Herdenmanagement, wie dem Auf- und Abtrieb zu fern gelegenen Weiden und zum Schutz vor Raubtieren (Bernatzki et al. 2014, Fabian 2008–2016).

Nach dem Braunschweiger Modell kommt dem Erdwerk eine zusammenführende Rolle zu, die Bauern und Hirten in der Gesamtgemeinschaft wieder an einem Ort vereinte. Trotz zahlreicher Untersuchungen sind immer noch einige Fragen offen, die besonders den Siedlungsraum betreffen. Die Bedeutung der Erdwerke kann daher nur modellhaft erklärt werden. Das aufgesuchte vermutliche Erdwerk befindet sich auf dem „Großen Berg“ zwischen Barnstorf und Watenstedt und zeigt einen mit Löss vermischten Verwitterungsschutt des unteren Buntsandsteins (s. u.).



Abb. 10: Grabenwerk (C. Ahl)

## Exkursionspunkt 4: Großer Berg – Erdwerk

Tab. 8: Erdwerk – Korngrößenanalyse

Tiefe	gS	mS	fS	gU1	gU2	mU	T	S	U	T
	2000-630	630-200	200-63	63-36	36-20	20-6	< 2	Σ	Σ	Σ
	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	%	%	%
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0-2	0,5	2,7	11,9	12,2	17,3	36,6	18,7	15,1	66,2	18,7
5-10	0,9	2,9	15,0	12,2	17,3	27,9	23,7	18,9	57,4	23,7
20-25	1,1	2,4	10,4	13,2	20,5	30,9	21,6	13,8	64,6	21,6
40-45	0,4	2,0	7,1	13,0	24,0	33,0	20,4	9,6	70,0	20,4
60-90	0,4	2,2	7,9	14,4	22,5	38,1	14,4	10,5	75,1	14,4

Tab. 9: Erdwerk – CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub>, Humus, C/N, pH

Tiefe	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub>	Humus	C/N	pH CaCl <sub>2</sub>
cm	%	%	%		
0-2	6,0	3,2	5,6	15,4	7,1
5-10	9,2	1,62	2,8	20,5	7,4
20-25	7,2	0,69	1,2	22,4	7,5
40-45	4,0	0,63	1,1	20,9	7,5
60--90	4,0	0,52	0,9	20,4	7,5

## Exkursionspunkt 5: Watenstedt: „Hünenburg“ mit bronzezeitlicher Grabung

Im Landkreis Helmstedt liegt ein jungbronze- und früheisenzeitlicher Herrschaftssitz (1200 bis 650 v. Chr), die sogenannte „Hünenburg“ bei Watenstedt, die sich aus Außensiedlung, Gräberfeldern und Befestigung zusammensetzt. Die ur- und frühgeschichtliche Ringwallanlage auf dem westlichen Ausläufer des Heesebergs wurde bereits früh als historisch bedeutend eingeordnet. Zwischen 1891 und 1894 kam es durch den Großbauern August Vasel zu den ersten gezielt größeren Ausgrabungen. Umfangreiche Bronzeschatzfunde wurden daraufhin in den Jahren 1901 bis 1907 südlich von Watenstedt gefunden, darunter waren zwei reich verzierte bronzene Gefäße (Bernatzki et al. 2014). Seit 15 Jahren gräbt das Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Universität Göttingen die bronzezeitliche Siedlung durch Dr. Immo Heske aus. Im Jahr 1998 fand bereits eine erste Grabungskampagne des Landesmuseums Braunschweig/Wolfenbüttel statt (Uhlmann o. J.). Erstmalige Untersuchungen an der Außensiedlung lieferten zahlreiche Ergebnisse über wirt-

schaftliche Grundlagen und die inneren Strukturen der Siedlung. Die Funde zeigten, dass es sich um zwei Phasen der Befestigung gehandelt haben muss. Die erste Phase fand vermutlich während der Bronzezeit statt (1000 v. Chr.), die zweite 800 n. Chr. zur Zeit der Sachsenkriege (Bernatzki et al. 2014). In der verfallenen Befestigungsanlage konnte ein germanisches Gehöft nachgewiesen werden, welches vermutlich im 2. bzw. 3. Jahrhundert angelegt wurde. Im 6. Jahrhundert wurde die Hünenburg durch die Altsachsen zu Fürstenberg zum Herrschaftsmittelpunkt. Durch die Ausgrabungen konnte ein Ausbau der Burg nachgewiesen werden: Zunächst wurde die Hünenburg unter dem sächsischen Fürsten Theodor/Dietrich im Zuge des nun entstandenen Herzogtums Ostfalen ausgebaut, später fungierte sie als Zwingfestung der fränkischen Eroberer zwischen 772 und 785 n. Chr (Uhlmann o. J.) Trotz der zahlreichen Funde sind auch heute noch viele Fragen bezüglich der Siedlungslandschaft offen. Die Luft-

bildaufnahme zeigt die Hünenburg mit den Grabungsflächen in der Außensiedlung im Jahr 2015.

### **Befestigungsanlagen der Bronzezeit**

In der Region ist den Menschen die Hünenburg als Ruine einer uralten Befestigung bekannt. Um die noch heute gut erhaltenen Wälle gibt es viele Sagen und Geschichten. Der Name „Hünenburg“ lässt dabei auf eine im Volksmund überlieferte Entstehungsgeschichte deuten. Der Bau der Burg wird demnach dem Wirken urzeitlicher Hünen zugeordnet. Im 18. Jahrhundert war die Anlage mit einem Innenraum von 220 zu 160 m recht exakt eingetragen. Der Wall wurde damals zu einem bisher unbekanntem Zeitpunkt zur Ostseite hin geöffnet, sodass den Pferdegespannen ein leichter Zugang zur Innenfläche ermöglicht wurde (Bernatzki et al. 2014).



**Abb. 11:** Hünenburg (C. Ahl 2015)

### **Landwirtschaft in der Bronzezeit**

Neben Salzgewinnung, Metallhandwerk und dem Zugang zu verschiedenen Rohstoffen spielt auch die Landwirtschaft eine bedeutende Rolle in der damals größten Siedlung Mitteleuropas. Archäozoologische Untersuchungen ergaben, dass der Haustierbestand weitestgehend dem Gebiet des Mittelgebirges entsprach. Etwa 52 % des Bestandes waren Rinder. Mit einem Anteil von 28 % nahmen Schafe und Ziegen einen besonders großen Anteil für diese Region ein. Die restlichen 20 % teilen sich auf in 18 % Schweine und 2 % Pferde. Die Bewei-

dung wurde den naturräumlichen Gegebenheiten angepasst. Auf den ausgedehnten Trockenrasen weideten die Schafe und Ziegen, während die Rinder in das *Große Bruch* getrieben wurden (Heske 2014).

### **Ernährung in der Bronzezeit**

Für die Schlachtung der Tiere gab es speziell ausgebildete Personen, die mittelalterliche Techniken verwendeten. Analysen von Tierknochen haben gezeigt, dass der Großteil der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigem Fleisch versorgt wurde. Da durch direktes Feuer hervorgebrachte Spuren nicht gefunden wurden, ist davon auszugehen, dass die Zubereitung hauptsächlich in Töpfen stattfand. Die daraus resultierende Freisetzung der Fette sicherte eine gehaltvolle Nahrung. Die Jagd auf Wildtiere spielte mit einem Anteil an der Ernährung von 2 % eine untergeordnete Rolle (Heske 2014).

### **Opfergaben der Bronzezeit**

Die Vorstellungswelt der Menschen führte dazu, dass es zu mehreren Opfergaben im Jahresverlauf kam. Der Glaube an die „Taten der Götter“ lässt sich heute in mehreren Ausgrabungsflächen wiederfinden. Besonders junge Stiere wurden mit Blick nach Westen geopfert. Die Opfergaben fanden vermutlich immer zu bestimmten Jahreszeiten statt. Durch die Pferdehaltung war weiträumige Mobilität gesichert. Wissenschaftliche Analysen der Pferde Zähne ergaben, dass die Menschen weite Reisen mit den Tieren bestritten. Die Rolle als Fernhändler passt gut mit den bisher gefunden Importfunden an der Hünenburg zusammen (Heske 2014).

### **Landschaftsgeschichte**

Die Funktion befestigter Höhensiedlungen lässt sich nur durch überregionale Zusammenhänge erklären. Die Zentralorte waren nicht nur von wirtschaftlicher und machtpolitischer, sondern auch von kultisch-religiöser Bedeutung. Die auf den Befestigungen ansässige Herrschaft gestaltete den Siedlungsverband. Nördlich des Harzes ergab sich ein Spannungsfeld zwischen Nordischer Bronzezeit und Lausitzer Kultur, die



die Herausbildung einer eigenständigen Kultur in diesem Raum wesentlich beeinflusste. In der jüngeren Bronze- und frühen Eisenzeit entwickelte sich ein beständiger Kommunikationsraum. Die Höhensiedlungen befanden sich größtenteils auf Bergspornen, sodass ein Teil der Außenseiten bereits auf natürliche Weise geschützt war. Aufgrund der Ausgrabungen

konnte belegt werden, dass die Plateaus auf den hangseitigen Abschnitten durch Wall-Graben-Fortifikationen bewehrt waren (Uhlmann o. J.).

Führung durch Dr. Immo Heske und Besichtigung der aktuellen Grabung.

## Exkursionspunkt 6: Jerxheim: Salzwiese



Abb. 12: Übersichtskarte: Lage des NSG Sekkertrift (Wikipedia)

### „Sekkertrift“

Das Naturschutzgebiet (NSG) „Salzwiese Sekkertrift“ liegt in der Gemeinde Jerxheim im Landkreis Helmstedt. Das etwa 17 ha große Gebiet ist an der Grenze zum Niedermoor des „Großen Bruchs“ Bestandteil des FHH-Gebietes „Heeseberg“ und steht seit Juli 2014 unter Naturschutz. Die in einer Senke entstandene Binnenland-Salzstelle liegt zwischen dem Sülteberg und der Molochshöhe und wird von Ackerflächen umschlossen. Durch die Senke zieht sich ein salzreicher Graben, der im östlichen Teil des NSG in die Seebeek mündet. Bei dem Gebiet handelt es sich um einen stärker kontinental geprägten Teil des ostbraunschweigischen Hügellandes. In etwa zweihundert Metern Tiefe steht ein Salzhut aus Zechsteinsalz an, aus dem salzhaltige Grundwässer hervorgehen und zum Teil in offenen Lachen den Boden bedecken (NLWKN 2016b).



Abb. 13: Salzwiese (C. Ahl)

### Ökologische Bedeutung

Binnenland-Salzstellen kommen in Niedersachsen nur noch sehr kleinflächig in wenigen Beständen vor. Die Sekkertrift in Jerxheim gehört zusammen mit der Salzwiese Barnstorf zu den wichtigsten primären Binnenland-Salzstellen Niedersachsens (NLWKN 2011). Schutzzweck sind daher Erhalt, Entwicklung und zum Teil die Wiederherstellung der Gebiete. Gefährdet sind diese vor allem durch Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft bzw. aus der Luft und durch eine Absenkung des Grundwasserspiegels (FEMO 2008). Im Allgemeinen stellen Salzwiesen wichtige Kontaktbiotope dar und sind bereits selbst Komplexe verschiedener Biotoptypen. Charakteristische Pflanzenarten sind u.a. Gewöhnlicher Kurzährenqueller (*Salicornia europaea*), Strand-Aster (*Tripolium pannonicum*), Salzbinse (*Juncus gerardii*), Gezählter Steinklee (*Melilotus dentatus*), Gewöhnlicher Salzschwaden (*Puccinellia distans*) und Strand-Dreizack (*Triglochin maritima*). Die Binnenland-Salzstelle

in Jerxheim zeigt eine besonders ausgeprägte Zonierung salztoleranter Pflanzengesellschaften, einen intakten Wasserhaushalt, vegetationsfreie Senken und Brackwassertümpel (NLWKN 2016b). Trotz der kleinstrukturierten Flächen kommen in Salzwiesen häufig spezialisierte Laufkäferarten vor, wie z. B. *Acupalpus elegans*, *Anisodactylus poeciloides*, *Bembidion aspericolle*, *Dicheirotichus obsoletus*, *Pogonus*

*iridipennis*, *Bembidion tenellum*. Primäre Salzstellen wurden zum Teil beweidet oder gemäht. Eine extensive Nutzung kann Halophytenbestände nachhaltig fördern und sichern. Eine Beweidung mit Rindern wäre beispielsweise zwischen den Monaten Mai und November denkbar, um die Ausbreitung von Quecke und Schilf zu mindern (NLWKN 2011).

## Exkursionspunkt 6: Salzwiese Seckertrift

Tab. 10: Salzwiese – Korngrößenanalyse

Tiefe	gS 2000-630 µm %	mS 630-200 µm %	fS 200-63 µm %	gU1 63-36 µm %	gU2 36-20 µm %	mU 20-6 µm %	T < 2 µm %	S Σ %	U Σ %	T Σ %
5-10	0,6	1,2	2,5	5,6	17,5	43,1	29,6	4,2	66,2	29,6
15-25	1,2	0,9	2,0	5,4	17,3	44,2	29,0	4,1	67,0	29,0

Tab. 11: Salzwiese – CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub>, Humus, C/N, pH

Tiefe cm	CaCO <sub>3</sub> %	C <sub>org</sub> %	Humus %	C/N	pH CaCl <sub>2</sub>
5-10	27,2	5,7	4,2	26,4	7,3
15-25	25,2	5,8	4,7	27,3	7,6

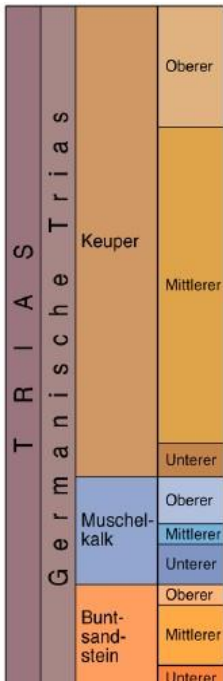
Tab. 12: Salzwiese – Elementanalyse

Tiefe [cm]	Al [mg/g]	Ca [mg/g]	Cd [mg/g]	Co [mg/g]	Cr [mg/g]	Cu [mg/g]	Fe [mg/g]	K [mg/g]
5-10	25,38	108,08	0,00	0,01	0,04	0,04	19,52	7,42
15-25	24,93	109,34	0,00	0,01	0,04	0,02	19,00	7,30

Tab. 13: Salzwiese – Elementanalyse

Tiefe [cm]	Mg [mg/g]	Mn [mg/g]	Na [mg/g]	Ni [mg/g]	P [mg/g]	Pb [mg/g]	S [mg/g]	Zn [mg/g]
5-10	4,35	0,51	5,09	0,02	0,91	0,04	3,95	0,06
15-25	4,29	0,50	5,02	0,02	0,86	0,03	3,86	0,06

## Exkursionspunkt 7: Jerxheim: Heeseberg mit Rogensteinzone und Stromatolithen (s. u.)



**Abb. 14:** Trias  
(<http://www.stratigraphie.de/>)

Der Buntsandstein wurde lange Zeit für eine „lebensfeindliche Wüste“ gehalten. Neben der namensgebenden Dominanz buntgefärbter Gesteine ist die vergleichsweise Armut an Fossilien typisch für den geologischen Zeitabschnitt, der 251 bis 240 Mio. Jahre zurückliegt. Zu Beginn des Buntsandsteins, der Grenze zwischen Perm und Trias, herrschte eine große Armut der Flora und Fauna. Zum Ende des Perms zog sich das Zechsteinmeer aus Mitteleuropa zurück, und die Verbindungen zu den Weltozeanen waren unterbrochen. Nur noch selten gelangen marine Wässer in

das epikontale „Germanische Becken“ (Röhling u. Heunisch 2010). Auch Norddeutschland gehörte zu diesem Sedimentationsgebiet, welches sich im Perm und in der Trias von West-England bis Ost-Polen erstreckte (Wachendorf 2010).

### Klimabedingungen

Der Buntsandstein stellt den ältesten Teil der „germanischen Trias“ dar, über den Kalk-, Dolomit- und Mergelgesteine des Muschelkalks folgen. Während der Buntsandsteinzeit herrschte ein kontinentales, semiarides bzw. arides Klima. Sand-, Ton- und Schluffsteine wurden abgelagert (Röhling u. Heunisch 2010). Aufgrund der wüstenähnlichen klimatischen Bedingungen zu dieser Zeit waren Wasseransammlungen im Becken bereits verdunstet, und der Lebensraum war stark übersalzen (Wachendorf 2010). Nur im Oberen Buntsandstein bestand für einen längeren Zeitraum nochmals eine Verbindung zum Meer. Über das Tethysmeer gelangten marine Wässer in mehreren Schüben in das von der Nordsee umschlungene Becken in Polen, Norddeutschland und den Niederlanden. Infolge damaliger Eindampfung lassen sich heute bis zu 170 m mächtige Anhydrit- und Steinsalzlagen

im Zechstein wiederfinden, die bis südlich des Thüringer Waldes reichen (Röhling u. Heunisch 2010).



**Abb. 15:** Germanisches Becken  
(<http://www.geodsz.com/>)

Generell traten die Niederschläge während des Buntsandsteins nur zyklisch auf, sodass es zeitweise zu großen Wasserfluten kam, die enorme Schuttmengen mit sich brachten. Durch erosive Prozesse wurde das Gebirge am Beckenrand zunehmend abgetragen. Mit fortschreitender Auffüllung des Beckens veränderte sich das Relief im Laufe der Zeit, sodass ein flaches Gebiet mit weitflächigen und sich vernetzenden Flusssystemen entstand (Röhling u. Heunisch 2010).

Vom Perm bis einschließlich Trias kam es zu einer nahezu kontinuierlichen Absenkung des Germanischen Beckens. Im Unteren Buntsandstein wurde diese durch Ablagerungen klastischer Sedimente kompensiert. Die Zufuhr der Sedimente wurde durch die unterschiedlichen Hebungsintensitäten des Vorlandes, aus dem das Material stammte, gesteuert. Abhängig von der Entfernung zum Liefergebiet nahmen die Korngrößen in Richtung Becken-Mitte ab (Paul 1982).

Während im südlichen Teil des Beckens Sande und Kiese abgelagert wurden, entstand im Norden ein mächtiger Endsee, der große Teile von



Norddeutschland, Holland und Polen einnahm. Im zentralen Becken liegt vor allem Material aus Ton- und Schluff vor. Durch die zyklischen Niederschlagsereignisse kommt es zu engen Wechsellagerungen und Schichtfolgen. In regenärmeren Zeiten verdunsten die teilweise mineralstoffreichen Wässer, was im Unteren und Mittleren Buntsandstein zur Ausbildung charakteristischer Gesteine führte. Diese sind im gesamten *Germanischen Becken* zu finden: Ooidführende Sandsteine, Kalkoolithe bzw. Rogensteine. Als Rogenstein wird ein Kalksandstein bezeichnet, der neben Quarz aus Ooiden (Kalkkugelchen) besteht. Der Name ist mit dem Erscheinungsbild zu begründen, welches Fischrogen sehr ähnlich ist. Die Entstehung ist auf die Ausfällung von Kalk in stark übersättigten Gewässern zurückzuführen. Einzelne Ooide haben einen Durchmesser von unter einem Zentimeter, können allerdings auch aggregieren und verwachsen. Unter idealen Voraussetzungen (bspw. bei wenig Wasserbewegung) können sich Stromatolithe bilden (Röhling u. Heunisch 2010).



**Abb. 16:** Rogensteine (P. Gernandt)

Stromatolithe sind feinlaminierte organosedimentäre Strukturen, die infolge mikrobieller Lebensaktivitäten entstehen. Es handelt sich dabei vor allem um mikrobielle Matten bildende Cyanobakterien im Zusammenspiel mit anderen phototrophen Bakteriengesellschaften. Die auf den Biofilmen siedelnden phototrophen Mikroorganismen assimilieren  $\text{CO}_2$ , das Kalk-Kohlen-Säure-Gleichgewicht begünstigt das Auskristallisieren des Kalkes, Sauerstoff wird gebildet, die



**Abb. 17:** Stromatolith (C. Ahl)

Erdatmosphäre reicherte sich mit  $\text{O}_2$  an (Spektrum 2016).

### Leben während des Buntsandsteins

Infolge intensiven Vulkanismus kam es vor etwa 251 Mio. Jahren zu einem der größten Aussterbeereignisse der Erdgeschichte. An der Grenze zwischen Perm und Trias wurde der Superkontinent Pangäa erschüttert (Emissionen großer Mengen an  $\text{SO}_2$  und  $\text{CO}_2$  => Monsum => saurer Regen). Diese widrigen Bedingungen ließen nur wenige Pflanzen- und Tierarten überleben. Einige Pionierpflanzen, wie z. B. Bärlappgewächse, zeigten sich auf den übersalzenden Böden als sehr konkurrenzstark. Im limnischen Bereich traten massenhaft *Zygnemataceen* (Grünalgen) auf, die instabile und saure Milieus im Süßwasser tolerieren. Das gehäufte Auftreten an der Perm/Trias-Grenze verdeutlicht die damaligen Umweltbedingungen (Röhling u. Heunisch 2010).

Auch wenn die Gesteine der Trias, abgesehen von den Meeresablagerungen des Muschelkalks, eher fossilarm erscheinen, liegen auch einige Fundstellen mit reicher Flora und Fauna vor. Vermutlich war das Überleben einiger Arten durch Rückzugsgebiete gesichert worden, die zwischen den fluviatil geprägten Randgebieten lagen. Des Weiteren trugen die marin bzw. limnisch geprägten Beckenbereiche ebenfalls zum Erhalt einiger Arten bei. Allmählich konnten vor allem die Landpflanzen ihren Lebensraum zurückgewinnen. Zehn Millionen Jahre später, zum Ende des Buntsandsteines, erreichte die

biotische Diversität im Muschelkalk ein ebenso hohes Niveau wie vor dem Ende des Perms (Röhling u. Heunisch 2010).

### Steinbruch am Heeseberg

Die 10 m hohe und etwa 60 m lange Wand vermittelt einen Einblick in die Rogensteinzone des Unteren Buntsandsteins. Die hier zu findenden Ablagerungen sind etwa 240 Mio. Jahre alt. Am Steinbruch sind Rogensteine und Stromatolithe in die Buntsandstein-Ablagerung eingebettet. Die Wellenrippelmarken und Trockenrisse sind Folgen der Ablagerungsbedingungen des flachen, austrocknenden Gewässers. Kalkowsky erklärte 1908 den Heeseberg zur sogenannten **Typuslokalität**, da hier erstmals der Name Stromatolith Verwendung fand und der Heeseberg eine Vergleichsstation für Stromatolith-Formen darstellt (Wachendorf 2010).

### Geologie

Heeseberg und Asse liegen auf einer durchgehenden Hebungslinie, wobei einzelne Abschnitte stärker herausgehoben sind als andere. Der Rücken wird fortlaufend durch schmale Täler

### Exkursionspunkt 8 und 9: Großes Bruch

#### Tiefumbruch- und Niedermoorprofil

Das *Große Bruch* ist ein 1 bis 4 km breites Niederungsgebiet und erstreckt sich von Hornburg im Westen mit einer Länge von etwa 40 km bis Oschersleben im Osten, im Süden wird das Gebiet durch Fallstein und Huy begrenzt, im Norden durch Elm und Hohes Holz. Nördlich von Pabstorf verläuft das Niederungsgebiet der Aue, an die Landkreise Wolfenbüttel und Helmstedt grenzend, bis nach Hötensleben (Vereinigung „Stiftung Umwelt- und Naturschutz Großes Bruch“ e.V. 1996). Das Große Bruch bildet die südliche Grenze des Ostbraunschweigischen Hügellandes und wurde 994 erstmals urkundlich erwähnt: „*palus quae ex Oscherslevo tenditur usque Hornaburke*“ (Müller 1952, aus Geschwinde u. Raetzl-Fabian 2009). Es stellt

durchbrochen. Die Schichten sind steil an Verwerfungen aufgerichtet, sodass die ganze Linie als Schmalsattel vorliegt. Die Schichten des Buntsandsteins stehen dachförmig gegeneinander, wobei die härteste Schicht durch den Rogenstein gebildet wird. Die Schichten aus Zechstein (oberes Perm), Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper sind durch tektonische Kräfte so zerbrochen bzw. schräg gestellt worden, dass der Untere Buntsandstein mit den Stromatolithen ansteht (George et al. 2012).

### Verwendung

Oolitische Rogensteine eignen sich besonders gut als Naturbausteine. Bereits in der frühen Eisenzeit wurden daraus Steinkistengräber der Hausurnenkultur gefertigt. Die umlagernden roten Sandsteine weisen zwar eine weniger gute Qualität als Baumaterial auf, wurden aber dennoch für Fußbodenplatten und Stallungen verwendet. Die bis zu 1,5 m mächtigen Stromatolithe eignen sich aufgrund ihrer auffälligen Erscheinung besonders gut zur Herstellung von Zier- und Kultgegenständen (Bernatzki et al. 2014).

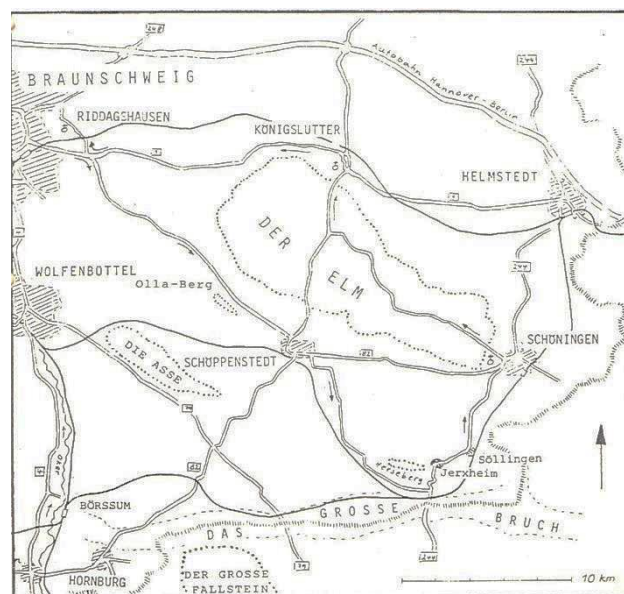


Abb. 18: Übersichtskarte (Altemüller u. Söchtig 1982)

gleichzeitig eine politische Grenze seit dem 10. Jahrhundert dar. Die Überquerung des Großen Bruchs konnte bis in die Neuzeit zwischen den Orten Oschersleben und Hornburg nur auf einigen Bohlenpfaden geschehen. Jahrzehntlang war es innerdeutsches Grenzgebiet, welches nicht betreten werden durfte. Dies führte dazu, dass archäologische Untersuchungen erst vor Kurzem beginnen konnten (Geschwinde u. Raetzl-Fabian 2009).

## Geologie

Das *Große Bruch* durchschneidet die Remlingen-Pabstorfer Mulde schräg zu ihrem tektonischen Bau (Altemüller u. Söchtig 1982). Der präquartäre Untergrund des Landschaftsschutzgebietes gehört in nördlicher Richtung zur Ohrlebener Rät/Lias-Mulde. Im Westen quert es den Heeseberger Sattel, die Gesteinsaufwölbung des Mittleren Keupers und ist durch herzynisch streichende Schmal- und Breitsättel (Elm, Asse) gekennzeichnet (Maehnert 2010). Die heutige Landschaftsform wird durch die Heraushebung im Jungtertiär geprägt (Behrend 1989).

Die Achse aus Asse (227 m ü. NN) und Großer Berg (145 m ü. NN) wird im Südosten durch die Schichtkammerlandschaft des Heeseberges (200 m ü. NN) abgeschlossen. In der Spaltenmitte der steilen Aufrichtung triassischer Gesteine drangen Zechsteinsalze empor. Regelmäßige Buntsandstein (s)-Muschelkalk (m)-Keuper (k)-Abfolgen sind im Nordflügel der Spalte zu finden, im Südwesten fehlt teilweise der Buntsandstein. Die Höhen des Nordflügels bestehen aus einem 50 m mächtigen Band des Rogensteins, der zum Unteren Buntsandstein gehört. Das nordische Inlandeis wurde von den Gletschern zweimal bis zum Harzrand geführt, wo Moränenschutt und Terrassen neue Deckschichten bildeten. Als breites Urstromtal entstand das *Große Bruch* zwischen dem heutigen Oschersleben und Hornburg. Die Elbe war beim Vorrücken des Drenthe-Eises bis an den Harz gewandert. Die dadurch entstandene Vertiefung fungierte als Abflussbahn des Großen Bruches, wobei die Präformation be-

reits präglazial mit der Ausräumung von weichen Tonen und Mergel begann (Behrend 1989).

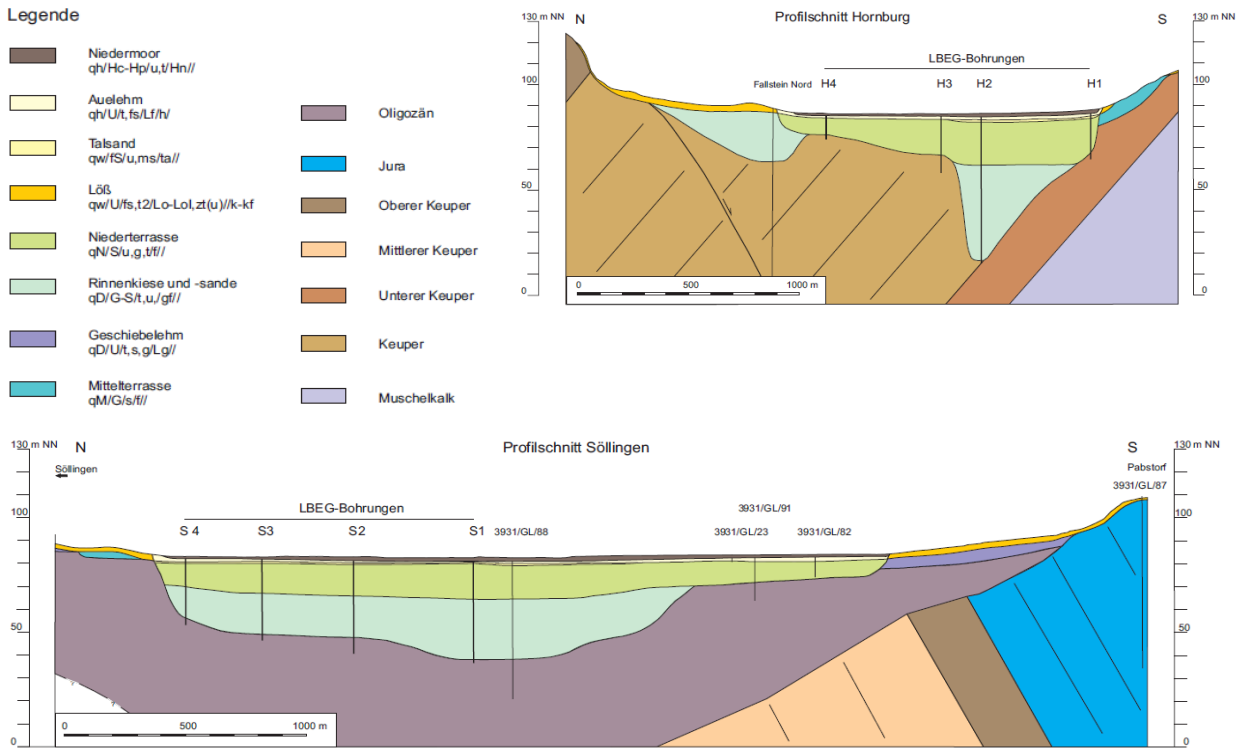
Die durch Bohrungen nachgewiesenen fluviatilen Sedimente sind der Saale- bzw. Elster-Kaltzeit zuzuordnen. Während elsterkaltzeitliche Geschiebemergel und Schmelzwassersande nur auf einen Ortsteil begrenzt sind, ist die Verbreitung saalekaltzeitlicher Schmelzwassersedimente weiträumig. Infolge unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeiten sind diese durch schnelle Korngrößenwechsel und wenige Meter Mächtigkeit gekennzeichnet (Maehnert 2010).

Die Gletscher der letzten Eiszeit (Weichsel) haben das Gebiet nicht erreicht, aus dem kalt-trockenen Klima im Periglazialraum gingen bis zu zwei Meter mächtige Löss-Schichten hervor, die die bis zu 40 m mächtige Verfüllung des ehemaligen Flusstales mit Sanden, tonigem und kiesigem Material überdecken (Altemüller u. Söchtig 1982). Aufgrund des geringen Gefälles setzte im Präboreal des Holozäns die Moorbildung ein (Ahl et al. 2013). Die bis zu 1,50 m mächtigen Torfe sind mit mineralischem, kalkhaltigem Material durchsetzt (Behrend 1989). Heute stehen holozäne Niedermoortorfe, Kalkmudden und Wiesenkalk sowie lössbürtige Abschlämmsen an. Untersuchungen von Sporen und Pollen deuten auf eine ehemalige offene Wasserfläche hin (Maehnert 2010). Die Bodengesellschaften außerhalb des Großen Bruchs werden durch Anmoore, Schwarzerden und degradierte Schwarzerden geprägt (Behrend 1989).

## Bohrkampagne (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)

Im Jahr 2012 begann die Bohrkampagne des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie mit insgesamt 16 Drillbohrungen bis zu einer Tiefe von 71 m. Die Befunde ergaben folgende Aussagen zu der Schichtenfolge der Talfüllung: An der Rinnenbasis befinden sich tonig-schluffige Umlagerungssedimente mit Komponenten der Sand- bis Grobkies-Fraktion. Die groben Bestandteile sind sowohl nordischer Herkunft als auch zu einem großen Anteil lokale mesozoische Komponenten (zahlreiche Umlagerungen aus tonig-mergeligen Keuper-Fragmenten). Darüber lagern kalkhaltige Tone und Schluffe.





**Abb 19:** Ergebnisse der Bohrkampagne (R. Koch, LBEG 2015)

Im gesamten Rinnenbereich folgen darüber stark kalkhaltige Sande und Kiese, die vermutlich glazifluviale Ablagerungen der Drenthe-Kaltzeit sind. Im Hangenden ist ein Abschnitt zu finden, in dem sandige Kiese, gut sortierte Sande, Schluffe, Tone und umgelagerte Torfe in unterschiedlicher Mächtigkeit vorkommen können. Dieser Abschnitt wird bisher fluviatilen, periglazialen Bedingungen während der Weichsel-Kaltzeit zugeordnet, konnte aber stratigrafisch noch nicht sicher eingeordnet werden. Die darüber folgenden weichselzeitlichen hellgrauen, kalkhaltigen Sande werden von gelbgrauen, kalkhaltigen Schluffen mit erkennbaren Schilfresten überlagert. Das Material wird als holozäner bis spätglazialer Beckenschluff oder Auelehm beschrieben. Schwarze Niedermoor-torfe mit zahlreichen Molluskenschalen sind die jüngsten Ablagerungen in diesem Gebiet (Koch 2015).

In 9 Bohrungen konnte das Rinnenunterlager stratigrafisch identifiziert werden. Im Profil in Hornburg besteht die Unterlage aus Unter- und Mittelkeuper, bei Mattierzoll und Beierstedt aus Oberkeuper und Unterjura und bei Söllingen aus Rupelium (Unter-Oligozän). Bei den Bohrungen des Profils Jerxheim konnte die Stratigrafie nicht bestimmt werden. Auch die Entstehung der Rinne ist bis heute nicht zweifelsfrei

geklärt. Eine Verbindung zu den Salzstrukturen im Untergrund scheint unwahrscheinlich. Daher wird von einer rein erosiven Entstehung des Großen Bruchs ausgegangen (Koch 2015).

### Klima

Im Gegensatz zu den atlantischen Klimaten des aus Westen angrenzenden Niedersachsens weist die Region um das *Große Bruch* (wie das gesamte Gebiet der Exkursion) deutlich kontinentalere Züge auf (Niehoff 1996). Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 8,8 °C und der mittlere Jahresniederschlag 555 mm.

### Inkulturnahme des Großen Bruches

Bereits im zwölften Jahrhundert kam es zu Dammbauten bei Hamerslebens unter Bischof Rudolf I. von Halberstadt (Behrend 1989). Einige Jahre darauf wurden Holländer angesiedelt. Im Jahr 1535 wurde das Gebiet schließlich vermessen. Dies führte nach einer Übereinkunft zwischen Braunschweig und Halberstadt zur Anlage von Entwässerungsgräben (Altemüller u. Söchtig 1982).

Im Jahr 1540 wurden unter Herzog Heinrich dem Jüngeren und Bischof Albrecht V. im Bruch zwei große Gräben gezogen: der „Faule Graben“ und der „Schiffgraben“. In der darauf folgenden Zeit verfielen zunächst die Pläne wieder, bis es im Jahr 1830 durch einen systematischen Ausbau der Gräben zur gezielten Wasserregulierung kam. Inzwischen fiel das Bistum Halberstadt an die Kurmark Brandenburg bzw. an das spätere Preußen. Unter Friedrich dem Großen sollte das Gebiet urbar gemacht werden (Cornelius 2007).

Es lagen allerdings vertragliche Schwierigkeiten zwischen Braunschweig und Preußen vor, sodass die Vorhaben auf preußischer Seite im Jahr 1920 schließlich vollkommen stillstanden, auf Braunschweiger Seite gar nicht begonnen wurden. Erst nach Ende des Zweiten Weltkrieges wurde das *Große Bruch* auf niedersächsischer Seite drainiert, erst zur reinen Wiesen- und Weidennutzung, dann aber aus wirtschaftlichen Gründen zum Ackerbau (Behrend 1989).

### Siedlungsgeschichte

Durch die Entdeckung einer Bandkeramischen Siedlung (ca. 5500 v. Chr.) konnte die Präsenz des Menschen im frühen Neolithikum im Großen Bruch nachgewiesen werden. In der Nähe von Dedeleben wurde außerdem eine Siedlung der jüngeren Trichterbecherkultur entdeckt (4200 bis 2800 v. Chr.) (Schneider 1986 aus Meier 2015). Knoth (1995) ordnet erstmals landwirtschaftliche Aktivitäten an diesem Standort in die Spätbronzezeit (ca. 1300 bis 800 v. Chr.) ein. Die Nutzung als Ackerstandort führte zu einer verstärkten Bodenerosion.

Der anthropogene Einfluss in diesem Gebiet konnte außerdem durch sogenannte **Bohlenwege** belegt werden, die als technische Meisterleistung zur Zeit des 2. Jahrtausends v. Chr. galten. Mit Beginn des Atlantikums vor etwa 8.000 Jahren kam es zur Ausbreitung von Mooren, und wesentliche Teile der Landschaft gingen für den Menschen verloren. Im nordwestdeutschen Flachland entstand eine vielfach gekammerte Landschaft, die eine Kommunikation zwischen verschiedenen Gruppen erschwerte.

Infolgedessen begannen die Menschen Sumpfgebiete mithilfe von hölzernen Kunststraßen zu überwinden. Die Bohlenwege entstanden zunächst als Fernwege zur Hünenburg und wur-



**Abb. 20:** Holz-Bohle mit Beilhieben (Braunschweiger Landesmuseum aus FEMO 2008)

den später im Mittelalter zu befestigten Verkehrswegen. In den 1950er-Jahren entdeckten zunächst Landwirte die aufrecht stehenden Hölzer, die später als Bohlenwege identifiziert wurden. Im Jahr 2004 konnten die aufwendigen Baukonstruktionen durch Ausgrabungen weiter erforscht werden. Vermutlich wurde im 9. bis 7. Jh. v. Chr. ein riesiges Fernwegenetz in diesem Gebiet angelegt (FEMO 2008).

### Landschaftsaspekte

Mit dem Ausbau der Zonengrenze wurde die landwirtschaftliche Intensivierung des Großen Bruchs im damaligen Regierungsbezirk Magdeburg zunächst etwas zurückgestellt (Cornelius 2007). Durch den grenznahen Raum und die eingeschränkte Zugänglichkeit des Gebietes entstand zwischen Bachlauf und ehemaliger Grenzanlage ein naturnaher Bereich (Maehnert 2010). Dieser ist Teil vom knapp 1.400 km langen Geländestreifen, dem „Grünen Band Deutschland“ (Cornelius 2007).

Neben einem Altbaumbestand, der teilweise Bruchwaldcharakter aufweist, wird das Gebiet durch Feuchtwiesenstreifen geprägt. Etwa 100 ha sind durch die Stiftung „Umwelt- und Naturschutz Großes Bruch e.V.“ gepachtet und werden extensiv bewirtschaftet (Maehnert 2010).



Trotz der vorgenommenen Meliorationen konnten Kohldistelwiesen, Kalkbinsenwiesen und Seggenröhrichte erhalten werden. Auf diese Weise sind noch heute seltene Feuchtwiesenbrüter, wie z. B. Kiebitz (*Vanellus vanellus*) und Großer Brachvogel (*Numenius arquata*), zu finden (Bundesamt für Naturschutz 2012). Einige Flächen wurden daraufhin im Zuge der Trockenlegung umgebrochen und als Ackerstandort genutzt (z. B. Nähe Jerxheim). Schon damals lebten Landwirte von den Ressourcen des Großen Bruchs. So wurden nach dem Frühjahrshochwasser die Grünflächen als Weide für das Vieh genutzt, und im Sommer wurde an einigen Stellen Heu gemacht. Das Röhricht wurde in den

Wintermonaten geschnitten und als Brennmaterial genutzt (Cornelius 2007). Heute dient das langgestreckte Landschaftsschutzgebiet hauptsächlich als Grünlandstandort und wird häufig als Intensivweide genutzt (Maehnert 2010).

Das zusammenhängende Niedermoorgebiet wird inzwischen durch ein verzweigtes Netz von Entwässerungsgräben durchzogen, welche zwischen 1956 und 1965 im Landkreis Helmstedt erbaut worden sind (Cornelius 2007). Sie leiten das Wasser zu den Hauptvorflutern (Schiffgraben, Großer Graben und Fauler Graben) (Maehnert 2010).

### Exkursionspunkt 8 und 9: Tiefumbruch- und Niedermoorprofil

Im Niedermoor des Großen Bruchs werden folgende Bodentypen angetroffen:

1. **Erdniedermoor:** seit 1956 aus Wiesenkultur durch tiefgreifende Entwässerung in Ackerkultur mit starker Torfzehrung bis zu 2 cm/Jahr (Eggelsmann u. Bartels 1975)
2. **Treposol auf Niedermoor:** Tiefenumbruch bis 150 cm im Jahr 1986 (Scheffer et al. 2001)
3. **Mulmniedermoor:** extensiv seit ca. 1950, mit KUP seit 2009 (Voigt et al. 2014)

**Tab 14:** Nährstoffgehalte in der Krume (0–30 cm, alle Angaben in kg/ha) (Meier 2015)

Fläche	Bodentyp	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
120 cm Tiefpflug	Treposol	8284	2379	25998	214099	2099	80670	1317
150 cm Tiefpflug	Treposol	5551	3053	28404	311145	3321	98349	4025
Schwarzkultur	Erdniedermoor	27824	2761	7413	239162	567	29566	1041
Weide	Mulm	16524	2540	5967	160191	543	17396	1744
Pappel	Mulm	11633	1618	2902	208136	410	11941	1387
Pappelsetzlinge	Mulm	17522	2780	16651	75367	1064	79691	505

**Tab. 15:** Profil des lössunterlagerten Niedermoors im Ausgangszustand 1986 (Scheffer et al. 2001)

Tiefe (cm)	Substrat	Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	CaCO <sub>3</sub> %	Ges.-C %	Ges.-N %
0-15	Torf	0,46	7,0	22,4	26,1	1,81
15-30	Torf	0,46	7,0	24,7	25,8	1,82
30-40	Mudde	0,46	7,3	66,8	10,8	0,78
40-55	Torf	0,21	7,0	2,3	39,3	2,82
55-70	Torf	0,24	4,5	0	39,0	3,04
75-90	Löss	1,26	5,5	0	2,15	0,13
> 90	Löss	1,37	7,5	28,3	1,06	0,05

**Tab. 16:** Bodenkenndaten (0–30 cm) nach Tiefpflügen 1986 und 1999 (Scheffer et al. 2001)

Varianten	Carbonat %	Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> )	C %	N %
1986				
Kontrolle	19,6	0,64	18,3	1,52
120 cm tiefgepflügt	7,6	1,47	0,95	0,07
150 cm tiefgepflügt	15,2	1,69	0,66	0,07
1999				
Kontrolle	21,7	0,58	18,6	1,64
120 cm tiefgepflügt	16,2	1,35	1,33	0,12
150 cm tiefgepflügt	11,0	1,55	1,20	0,11

## Exkursionspunkt 10: Söllingen/Jerxheim: Typische Schwarzerde

Beschreibung vom 12. Oktober 1955  
aus Mückenhausen (1977)

### Bodenprofil Tschernosem (Schwarzerde)

Ort: 1 km südöstlich Söllingen, Kr. Helmstedt.  
Lage: etwa 105 m über NN; sehr flache Kuppe.  
Jahresniederschlag: 480–600 mm.  
Jahrestemperatur: 8,5–9,0 °C.  
Kulturart: Acker mit der Fruchtfolge Zuckerrüben-Hafer-Weizen/Wintergerste.  
Bodenzahl: etwa 94. L 1 Lö 94/98.  
Ausgangsgestein: weichselzeitlicher Löss.

#### 1. Bezeichnung

Der Name „Schwarzerde“ bedeutet „Schwarze Erde“, hergeleitet von der braunschwarzen Far-

be, die dieser Boden im feuchten Zustand besitzt (im trockenen Zustand braun- bis grauschwarz). Die schon lange eingeführte, international gebrauchte Bezeichnung ist der volkstümliche russische Name „Tschernosem“ oder „Tschernosiom“.

#### 2. Entstehung

Die Schwarzerde ist der Bodentyp des semihumiden Klimas, wie es heute noch in Südrussland herrscht. Es ist ein Steppenklima, das Gräser und Kräuter üppig gedeihen lässt; der Wald kommt aber nicht auf oder nur an für ihn günstigen Stellen (Waldsteppe). Kalkhaltige Lockergesteine, insbesondere der Löss, sind für die Schwarzerdebildung besonders prädestiniert. Die Schwarzerde Mitteldeutschlands, die bis in

den Raum südlich Braunschweig hineinreicht, und auch die des übrigen Deutschlands entstanden in der postglazialen Wärmezeit, die etwa vor 7000 Jahren ihren Höhepunkt hatte, unter einer Steppenvegetation (oder Waldsteppe).

Das Klima wurde nach dieser warmen Klimaperiode, abgesehen von Schwankungen, insgesamt kühler und feuchter. Der Wald rückte infolge dieser Klimaänderung in der Steppe vor. Ferner nahm der Mensch schon vor einigen Tausend Jahren die Schwarzerde in Kultur. Diese Umstände führten zu einer Auswaschung des Kalkes, zu einer Reduzierung der organischen Substanz und zur Verbraunung zunächst der Ackerkrume und später noch tiefer greifend. Diesen Vorgang nennt man Degradation, die bei dem Profil nur schwach ist und sich in dem schwarzbraunen Ap-Horizont und dem etwas plattigen Ap-Ah-Horizont kundtut. Sofern die Degradation vor allem die Ackerkrume erfasst hat, spricht man auch von Krumendegradation.

### 3. Eigenschaften

*Physikalische Eigenschaften:* Die typische Schwarzerde besitzt beste physikalische Eigenschaften, d.h. Schwammgefüge, idealen Luft- und Wasserhaushalt und tiefe Durchwurzelbarkeit. Das Profil hat zwar diese Eigenschaften auch noch weitgehend, aber die Degradation hat das Gefüge im Ap- und Ap-xAh-Horizont verschlechtert, vor allem ist der Ap-Axh plattig und etwas dicht. Früher ist der Boden bis 45 cm tief gepflügt worden, heute nur bis 30 cm. Die nun nicht mehr bearbeitete Krumenschicht von 30–45 cm stört die physikalischen Eigenschaften des ganzen Profils und lässt den vorzüglichen A-Horizont (45–70 cm) nicht zur vollen Wirkung kommen.

*Chemische Eigenschaften:* Neutrale Reaktion, geringe hydrolytische Azidität, reichlich austauschbare Ca-Ionen, von Natur aus zwar mä-

ßige Reserven an K und P, aber wegen der tiefen Durchwurzelung gut ausnutzbar. Bei dem Profil sind der höhere K- und P-Gehalt im Ap auf die Düngung zurückzuführen. Reiche Reserve an Humusstickstoff.

*Biologische Eigenschaften:* Starke, bis tief ins Profil hineingehende biologische Aktivität, denn der tiefe A-Horizont ist nicht zuletzt auch infolge der starken Durcharbeitung durch Bodentiere entstanden, was an vielen Wurmgingen bis in den C-Horizont zu erkennen ist. Die verschlechterten physikalischen Eigenschaften im Ap- und Ap-Axh-Horizont des Profils haben auch die biologische Aktivität etwas vermindert.

### 4. Verbesserung

Eine gute Schwarzerde braucht nicht verbessert zu werden. Bei dem Profil sollte man versuchen, das Gefüge des Ah-Horizontes besser zu gestalten.

### 5. Nutzung

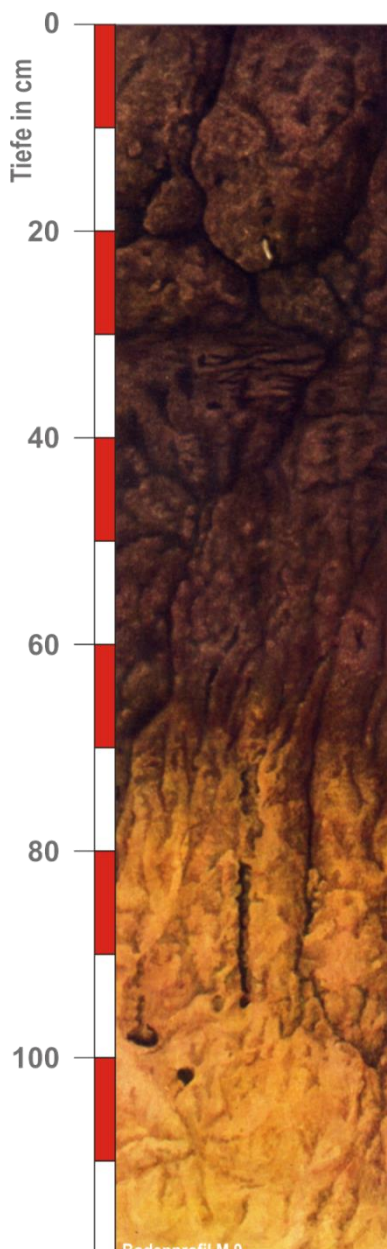
Landwirtschaftlich: Alle anspruchsvollen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen sind möglich, auch der Feldgemüsebau. In dem relativ niederschlagsarmen Schwarzerdegebiet können allerdings regenarme Jahre die Erträge von der klimatischen Seite begrenzen.

Forstwirtschaftlich: Zwar für anspruchsvolle Hölzer geeignet, wird aber wegen der hohen natürlichen Fruchtbarkeit der Landwirtschaft vorbehalten.

### 6. Verbreitung

Südlich Braunschweig, bei Hildesheim, kleine Flächen in der Pfalz. Die größten Schwarzerdeflächen Deutschlands liegen in der Magdeburger Börde und bei Erfurt. Sie haben seit Jahrhunderten eine große wirtschaftliche Bedeutung.

## Profilaubau



*Ap* 0–30 cm: schwarzbrauner, humoser feinsandiger Lehm (Lösslehm, Bröckel- bis Krümelgefüge)

*Ap-Ah* 30–45 cm: braunschwarzer, humoser feinsandiger Lehm, plattiges Gefüge, etwas dicht, wenige Wurzel- und Wurmgänge

*Axh* 45–70 cm: braunschwarzer, humoser Lehm (Lösslehm), Krümel- bis Schwammgefüge, Prismen nur angedeutet, viele Wurzel- und Wurmgänge

*A-C* 70–95 cm: kaffeebrauner, schwach humoser Lehm (Lösslehm), nach unten heller werdend und weniger humos, viele Wurzel- und Wurmgänge, Humus von Tieren unregelmäßig eingearbeitet, daher oft braunschwarz und gelbbraun gefleckt

*C* 95–120 cm: gelbbrauner Löss, kalkhaltig, oben noch Wurzel- und Wurmgänge mit schwarzbraunem, humosem Material, kein deutliches Gefüge

*IIC >* in 95–140 cm Tiefe folgen Geschiebe des unterlagernden Geschiebelehmes (Saale-Drenthe)

Abb. 21: Tschernosem (Mückenhausen1977)

## Exkursionspunkt 10: Söllingen/Jerxheim Typische Schwarzerde

**Tab. 17:** Jerxheim – Korngrößenanalyse

Tiefe	gS	mS	fS	gU1	gU2	mU	T	S	U	T
cm	2.000-630 µm %	630-200 µm %	200-63 µm %	63-36 µm %	36-20 µm %	20-6 µm %	< 2 µm %	Σ %	Σ %	Σ %
0-15	0,3	1,2	2,3	14,2	26,5	42,3	13,1	3,8	83,0	13,1
15-30	0,4	1,1	2,2	13,3	27,7	43,7	11,4	3,8	84,8	11,4
30-45	0,1	1,2	1,8	15,2	26,0	42,8	12,8	3,1	84,0	12,8
45-60	0,1	0,7	1,5	12,9	29,9	41,9	13,1	2,3	84,6	13,1
70-95	0,3	0,8	1,8	13,1	29,2	41,5	13,2	2,9	83,8	13,2
95-100	0,4	1,9	4,2	23,0	30,2	28,4	11,9	6,5	81,6	11,9

**Tab. 18:** Jerxheim – CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub>, Humus, C/N, pH (1Behandlung: 10 g + 25 ml)

Tiefe	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub>	Humus	C/N	pH <sup>1</sup> CaCl <sub>2</sub>
cm	%	%	%		
0-15	2,8	2,0	3,5	12,1	7,4
15-30	3,6	1,9	3,4	13,2	7,5
30-45	-	2,2	3,8	14,3	7,5
45-60	-	1,8	3,1	15,4	7,6
70-95	3,2	1,9	3,3	14,3	7,5
95-100	14,8	0,5	0,9	80,1	7,3

## Exkursionspunkt 11: Schöninger Tagebau (Altsteinzeit)

Die Stadt Schöningen wurde erstmals im Jahr 748 im Rahmen der Kriegszüge des Frankenkönigs Pippin schriftlich erwähnt. Schon früh war diese Region Gegenstand der Forschung und von großer Bedeutung für die Archäologie. Die Lage des Schöninger Tagebaus ist eng an die Geologie dieser Region gebunden (Bernatzki et al. 2014).

### Geologie

Die hier liegenden Kohleflöze sind durch Sandschichten aus Meeres- und Flussablagerungen getrennt. Während der Elster-Eiszeit wurde dieses Gebiet vollständig von mächtigen Gletschern bedeckt. Nach dem Rückzug der Glet-



**Abb. 22:** Schöninger Tagebau 1 (C. Ahl)

scher entstand in der verbliebenden Senke ein 1 bis 2,5 km langer und 200 bis 400 m breiter See. Gespeist von Bächen, die vom Elm herunterflossen, kam es zum Transport der Sedimente. Aufgrund des schwankenden Wasserpiegels entwickelte sich ein Wechsel von organischem Schlamm aus der Uferzone und grauen Kalkmudden des Seebeckens. Die insgesamt fünf verschiedenen Abfolgen, die in diesem Gebiet festgestellt worden sind, lassen auf ständig verändernde Klimabedingungen schließen. Während der Saale-Eiszeit kam es zu einer wiederholten Vergletscherung des Gebiets. Die archäologisch relevanten Schichten werden daher der dazwischen liegenden Warmzeit, der Holstein-Warmzeit, zugeordnet. Aufgrund besonderer Ausprägungen wird diese in Schöningen auch als Reinsdorf-Warmzeit bezeichnet (Bernatzki et al. 2014).

### Braunkohle-Tagebau

Die Braunkohle wurde erstmals im Zuge von Grabungen der ehemaligen Universität Helmstedt entdeckt. Der Erfolg des Bergbaus stärkte die gesamte Region im Landkreis Helmstedt. Dennoch kam es mit zunehmender Nutzung der Braunkohle, damals ausschließlich für Industrie und Hausbrand, zu Landnutzungskonflikten (Gramann 2003).



**Abb. 23:** Schöninger Tagebau 2 (C. Ahl)

Bereits im Jahr 1795 wurden die ersten Schürfrechte im Helmstedter Revier verliehen. Im Jahr 1873 wurde die Braunschweigische-Kohlenbergwerke-Aktiengesellschaft (BKB AG) gegründet (Helmstedter Revier GmbH o. J.). Die langjährige Nutzung hat das Gebiet mit einer

Fläche von etwa 2.700 ha als Industriestandort geprägt. Im Jahr 1979 kam es zum Aufschluss des letzten Tagebaus – dem Tagebau Schöningen.

Die 600 ha große Fläche besteht aus drei Abaufeldern: Nordfeld, Südfeld und dem „Restkohlefeiler Werkstätten“. Der Tagebau stellt eine bedeutende archäologische Fundstelle der Region dar (Helmstedter Revier GmbH o. J.).

### Kohlekenndaten

Heizwert (kJ/kg)	10.400
Wassergehalt %	40
Aschegehalt %	12,5
Schwefelgehalt %	2,25
Alkali-Oxidgehalt %	4,05

### Betrieb

Beginn der Kohleförderung: ~ 1875

Ende: 01.09.2016, 10:30 h

323 Mio. m<sup>3</sup> Abraum und 60 Mio. t Kohle

Versorgung Kraftwerk Buschhaus

### Lagerstätte

Tertiärmulde mit zwei Braunkohleflözgruppen

70 km lang, 4–7 km breit

Salzstock trennt in Ost- und Westmulde

Alter der Kohle: 50 Mio. Jahre

### Aufschluss Schöningen

Die aufgeschlossenen Abbauwände des Schöninger Tagebaus bieten einen detaillierten Blick in die erdgeschichtliche Abfolge der über 30 m mächtigen glazialen Deckschichten. Schöningen gilt nördlich der Alpen als vollständig erarbeitetes, einzigartiges Klimaarchiv der letzten 500.000 Jahre (Behre 2012).

Mächtige Ablagerungen des Tertiärs bildeten sich in den Randsenken: meist eozäne und oligozäne Ablagerungen, teils fluviatile und limnische oder telmatische Bildungen – die Braunkohleflöze. Durch Tagebauaufschlüsse und Bohrungen, wie z. B. die Ascherslebener Depression (Mania 1967b, 1999, Wagenbreth 1970 aus Terberger u. Winghart 2015), das Gebiet von Egel (Wagenbreth 1966, 1970 aus Terberger u. Winghart 2015) oder der Tagebau in Schöningen, lässt sich erkennen, dass halokinetische Vorgänge besonders im Tertiär abliefern und mit großer Wahrscheinlichkeit noch im



Quartär nachwirkten (Terberger u. Winghart 2015).

Die an den Hangenden auftretenden Quartär-Abfolgen sind seit 1983 Gegenstand archäologischer Untersuchungen. Die über 5 m mächtige eem- und frühweichselzeitliche Abfolge war im Baufeld des Schöninger Tagebaus zwischen 1985 und 1987 gut aufgeschlossen. Die mächtigen Sedimente des Interglazials (Eem) im Nordteil des Tagebaus sind humusreiche Ablagerungen, die eine ca. 200 m breite, saalezeitlich angelegte Rinne ausfüllen, die vermutlich durch die Schmelzwasser des stagnierenden Inlandeises (Drenthe-I) entstanden ist. Ablagerungen mit dem Ursprung in Muschelkalkhängen des Elms sind weit verbreitet, saalezeitliche Fließerden sind teils neu umgelagert. Der sich am Hangenden befindende bis zu 3 m mächtige Schwemmlöss zeigt eine gelb-braune Farbe und ist dem Warthe-Stadial zuzuordnen. In der aufgeschlossenen Travertinbank wurden stellenweise linsenförmig angereicherter Feinsand und Schluff gefunden, an anderen Stellen Torfsetzen. Es ist davon auszugehen, dass einzelne Travertinbänke autochthon entstanden sind, während andere als resedimentiertes Umlagerungsprodukt der näheren Umgebung zu deuten sind. Der Kalkgehalt ist auf die Karbonate des Elms zurückzuführen (Urban et al. 1991).

### Archäologische Bedeutung

Schöningen gilt durch den guten Erhalt organischer Materialien in den quartären Schichten als wichtigstes archäologisches Archiv weltweit. Alle Funde aus der älteren Steinzeit waren stets im feuchten Milieu des Sees gelagert. Außerdem überdeckten und umschlossen die Sedimente die Materialien vollkommen. Unter diesen anaeroben Bedingungen kam es zu einer Konservierung der Substanzen. So lassen sich in den etwa 300.000 Jahre alten Schichten des ehemaligen Sees u. a. noch Knochen der warmzeitlichen Fauna wiederfinden. In den oberen Schichten dominieren die Funde der gemäßigten Fauna. Daraus lässt sich auf die damaligen Klimabedingungen schließen.

Im Jahr 2011 konnten in einem neuen Grabungsareal u.a. Wasserbüffel und Säbelzahnkatzen nachgewiesen werden. Damit liegen in Schöningen die jüngsten gesicherten Belege für die Säbelzahnkatze in Mitteleuropa, bei zeitgleicher Anwesenheit des Menschen, vor (Bernatzki et al. 2014).



**Abb. 24:** Zähne einer Säbelzahnkatze (Volker Minikus, Univ. Tübingen)

Die Erschließung des Tagebaus führte durch die starken Eingriffe in die Landschaft ebenfalls zur Zerstörung geschichtlicher Zeugnisse. Aus diesem Grund wurde im Jahr 1982 durch Herrn Dr. Hartmut Thieme vom Niedersächsischen Landesamt für Denkmalpflege das Projekt „Archäologische Schwerpunktuntersuchungen im Helmstedter Braunkohlerevier“ (ASHB) gegründet. Dies sicherte die über 30 Jahre andauernden Ausgrabungen. In einer Tiefe von 10 bis 15 m wurden die Hinterlassenschaften des *Homo Heidelbergensis* (in Deutschland ab 500.000) gefunden. 1994 kam es zur Entdeckung der Fundstelle Schöningen 13 II, wo sich ca. 1.500 Steinartefakte befanden (Bernatzki et al. 2014).

Die unzähligen Knochen, in denen die Steinartefakte lagen, sind zu 95 % Pferden zuzuordnen. Dieser Fund allein war bereits ein großer Erfolg. Durch acht perfekt erhaltene Holzspeere und einen Wurfstock wurde diese Fundstelle schließlich zur Weltsensation. Mithilfe chronologischer Datierungsmethoden wie der Uran/Thorium- und der Thermo-Lumineszenz-Datierung

konnte das Alter der Funde ziemlich genau bestimmt werden: 320.000 bis 300.000 Jahre (Bernatzki et al. 2014).

Die **Schöninger Speere** gelten heute als die ältesten Fernwaffen der Welt. Zur Herstellung wurden kleine Fichtenstämme verwendet und so bearbeitet, dass die Spitze seitlich des weichen Markkanals lag. Nach Thieme (2007) weisen die Speere eine Länge zwischen 1,80 m und 2,50 m auf und wiegen etwa 500 g. Somit haben sie eine enorme Ähnlichkeit mit heutigen Wettkampfspeeren. Dies lässt darauf schließen, dass damalige Menschen hinsichtlich Körpergröße und Motorik dem Menschen von heute bereits sehr ähnlich waren (Bernatzki et al. 2014). Durch Nachbildungen der Speere konnte eine Wurfdistanz von über 65 m und eine Treffsicherheit von etwa 20 bis 30 m nachgewiesen werden (Thieme 2007).

Die Speere bildeten den Grundstock für das Museum 'paläon', eröffnet im Jahr 2013 in der ältesten Stadt des Braunschweiger Landes, Schöningen.

Wie die Speere als Distanzwaffen während der Jagdaktivitäten gebraucht wurden, ist noch unklar. Sicher ist jedoch, dass die Frühmenschen diese auch zur Verteidigung gegen Raubtiere

und im Kampf genutzt haben. Zu den Fernwaffen gehörte auch ein beidseitig zugespitzter Wurfstock – ein ca. 78 cm langes Fichtenholz. Anders als die Speere wird das Wurfholz so geworfen, dass es das Tier erschlägt oder weitestgehend verletzt. Funde aus der Bronzezeit und dem Neolithikum in Europa lassen darauf schließen, dass diese Technik sehr weit verbreitet und effektiv zu sein schien (Bernatzki et al. 2014). Das 1994 entdeckte, am Seeufer gelegene Jagdlager mit unzähligen Pferdeknöcheln zeigt, dass die steinzeitlichen Jäger schon damals mithilfe der Wurfspeere schnell fliehende Herden erlegen konnten. Diese organisierte Jagdmethode lässt auf die kognitiven Fähigkeiten der Heidelbergmenschen schließen, die bis dahin unterschätzt wurden. Der Frühmensch war damals hoch technisiert, führte strategische Jagden durch und verfügte über ein komplexes Sozialgefüge (Behre 2012).

Führung durch die Grabung durch Dr. Jordi Sevangeli (Universität Tübingen).



## Exkursionspunkt 12: Neuwegersleben: Typische Schwarzerde der Magdeburger Börde

Neuwegersleben ist ein Ortsteil der Samtgemeinde ‚Am Großen Bruch‘ im Landkreis Börde



**Abb. 25:** Lage von Neuwegersleben (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, [www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de))

und liegt im Bundesland Sachsen-Anhalt. Der Ort Wegersleben wurde erstmals im 10. Jahrhundert erwähnt. Im Jahr 1112 wurde der Name zu *Wageresleve* und später zu *Wegersleve* (Wagher = Personennamen, -leben = Hinterlassenschaft, Erbe) (Winkler 2009).

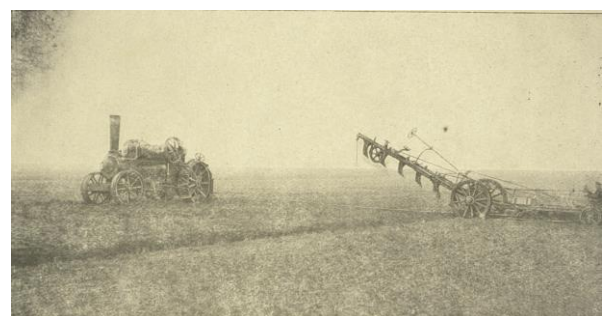
### Geologie

Das im nördlichen Harzvorland gelegene Neuwegersleben befindet sich westlich der Stadt Oschersleben. Morphologisch markant ist der Schlotenberg mit einer Tertiärauftragung von bis +108 m ü. NN. Das Gebiet liegt im Bereich des Oschersleben-Egeln-Staßfurter-Salzsattels, dessen Senkungsgebiete mit Lockergesteinen verfüllt sind, deren Mächtigkeit durchschnittlich 15–20 m beträgt. Die bis zu 20 m mächtigen frühsaalekaltzeitlichen Mittel- und Hauptterrassenschotter entstammen größtenteils der Bode. Darüber sind saalekaltzeitliche Geschiebemergel und glazifluviale Bildungen unter Lössbedeckung verbreitet. Im Randbereich kommt es zur Verzahnung mit Sanden und Schluffen. Im Bereich von Auslaugungszonen sind bis zu 5 m mächtige Ablagerungen aus Schwemmlöss und Auenlehm zu finden (vgl. Gumpert 1973).

### Die Magdeburger Börde

Neuwegersleben gehört zur Magdeburger Börde und liegt an der westlichen Grenze. Das etwa 1250 km<sup>2</sup> große Gebiet der Magdeburger Börde besteht aus mehreren Teillandschaften und umfasst verschiedene Naturräume. Die Bördelandschaft enthält alle Lössstandorte westlich der Stadt. Nordwestlich von Magdeburg liegt das Ohretal als Fortsetzung des Magdeburger Urstromtales. Auf der Ostseite befindet sich das Elbtal (zwischen Dornburg und Hohenwarthe) mit ehemaligen Elbläufen, Auenwaldresten und dünenbesetzten Talsanden. Der westliche Fläming (Sachsen-Anhalt) besteht aus lehmig-sandigen Ackerstandorten im Süden und sandigen Endmoränen und Sanderflächen im Norden (Gumpert 1973). Die Magdeburger Börde gehört zu den fruchtbarsten Schwarzerdegebieten Mitteleuropas. Darüber hinaus herrschen vorteilhafte klimatische, hydrologische und geografische Bedingungen (Börde Museum Burg Ummendorf).

Diese günstigen Umweltbedingungen führten bereits früh zu einer ackerbaulichen Nutzung der Region. Durch tiefgründige Bodenbearbeitung, die *Magdeburger Spatenkultur*, konnten landwirtschaftliche Erfolge erzielt werden. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts zählt der Anbau von Zuckerrüben als bedeutender Wirtschaftsfaktor der Region. Durch die Industrialisierung kam es in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zur Entwicklung und Anwendung von Wanzlebener Pflügen (Tiefpflugkultur) und Dampfplugmaschinen. Mithilfe neuer technischer Möglichkeiten wurde die Vorreiterrolle der Region weiter verstärkt (Börde Museum Burg Ummendorf).



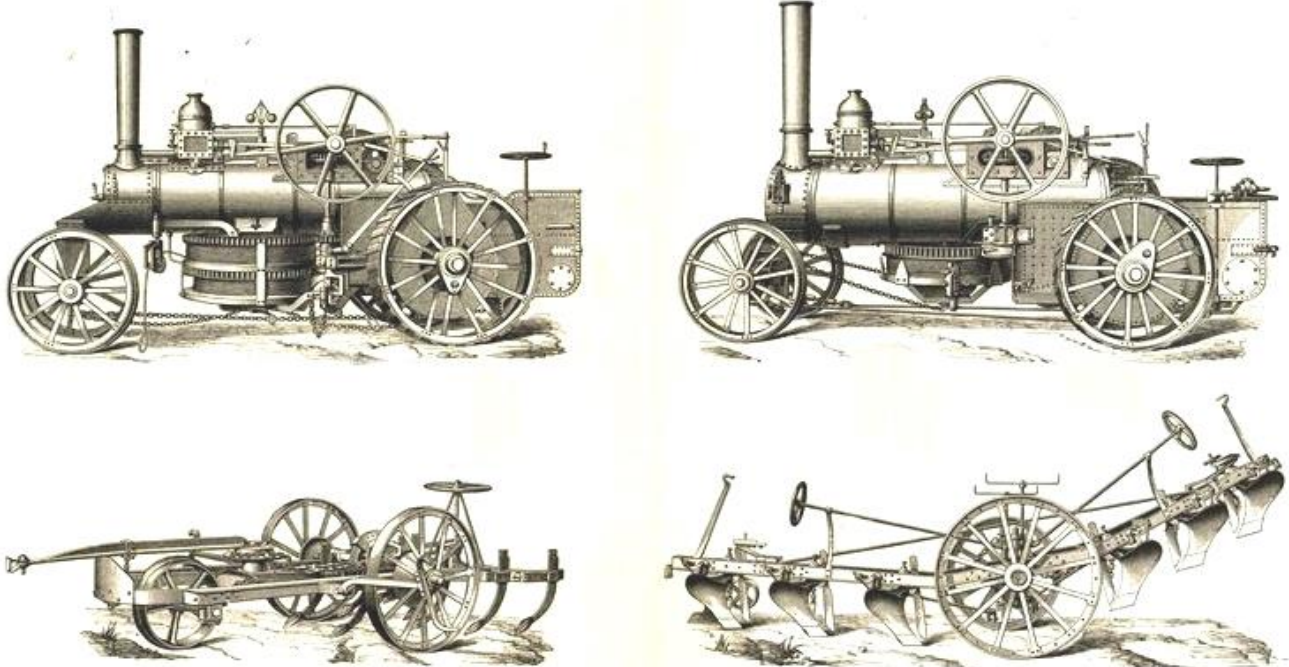
**Abb. 26:** Wolffscher Dampfplugapparat

Bei der Verwendung eines Dampfpfluges ziehen zwei Dampfpfluglokomotiven mit je einer Seiltrommel (450 bis 700 m langes Stahlseil) selbsttätig auf die einander gegenüberliegenden Enden des Feldes. Das Gerät wird dabei abwechselnd hin und her gezogen. Durch die waagegerechte Lage der Seiltrommel lassen sich auch ungünstig geformte Äcker gut bearbeiten (Heucke 1919 aus Sauer 2010). Im Jahr 1863 wurden die ersten Dampfpflüge in der Nähe von Wanzleben eingesetzt, ein Jahr darauf in Königsborn bei Magdeburg. Erstmals konnte die Bodenbearbeitung mithilfe von Maschinen stattfinden.

Im Zweiten Weltkrieg fehlten Kraftstoff und Ersatzteile für die sogenannten Trag-Traktoren, sodass der Dampfpflug vermehrt zum Einsatz kam. Durch die Technisierung konnte eine Qualitäts- und Ertragssteigerung gesichert werden. Im Durchschnitt, über 6 Jahre betrachtet, konnten folgende Werte bei der Ertragssteigerung erzielt werden: Weizen 20 %, Gerste 34 %, Hafer 1,1 %, Rüben 26,6 % (Sauer 2010). Darüber

hinaus konnte die Druckbelastung des Bodens durch den Einsatz der Maschine vermindert werden, da der Tritt von vier Ochsen weit mehr ausmachte (ca. 400.000 Fußtritte/ha). Allerdings gab es vermehrt Schwierigkeiten mit der Verankerung der Umlenkungen. Im Laufe der Zeit wurde ein Zweimaschinensystem durch die englische Firma „Fowler“ entwickelt (Sauer 2010).

Zunächst kauften nur große Güter einen Dampfpflug. Im Raum der Magdeburger Börde sah man dann zum Ende des 19. Jahrhunderts viele Maschinen im Einsatz. Insgesamt waren es zu diesem Zeitpunkt 3.000 Stück in Deutschland. Durch die hohen Unterhaltungskosten und die einseitige Verwendung gab es vermehrt Lohnunternehmen, die benachbarte Höfe bewirtschafteten. Der Landwirt A. Heucke aus Hausneindorf bei Halberstadt gründete mit dem Kauf seines Dampfpfluges im Jahr 1870 das erste Lohnpflugunternehmen in Deutschland (Sauer 2010).



**Abb. 27:** Dampfpflüge: oben links: Lokomotive des Einmaschinensystems, rechts: Lokomotive des Zweimaschinensystems, unten links: Wendekultivator, unten rechts: Balancierpflug (verändert nach Meyers Konv.Lexikon, retrobibliothek.de)

## Exkursionspunkt 12: Typische Schwarzerde bei Neuwegersleben

**Tab. 19:** Neuwegersleben – Korngrößenanalyse

	gS	mS	fS	gU1	gU2	mU	T	S	U	T
Tiefe	2000-630	630-200	200-63	63-36	36-20	20-6	< 2	Σ	Σ	Σ
cm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	%	%	%
0-15	0,3	2,2	1,8	13,1	26,5	30,6	25,5	4,3	70,2	25,5
15-30	0,7	2	1,7	12,7	31,2	29,4	22,4	4,3	73,3	22,4
30-45	0,3	1,7	1,6	15,3	29,1	29,7	22,4	3,5	74,1	22,4
45-60	0,6	1,2	1,2	14,1	29,4	30,2	23,1	3,1	73,8	23,1
>70	0,1	0,6	1,4	14,3	35,7	29,3	18,6	2,2	79,3	18,6
260	12,2	22,3	41,2	4,1	3,4	5,8	11,8	75,6	13,3	11,1
300-400	34,97	52,7	6	0,8	0,7	2	2,8	93,7	3,5	2,8
> 400	68,3	25,1	1,8	0,2	0,5	1,4	2,7	95,2	2,1	2,7
> 800	16,5	50	18,4	2,2	2,1	3,7	7,2	84,8	8,0	7,2
> 1500	49,3	32,0	6,2	1,1	1,8	4,8	4,8	87,5	7,7	4,8

**Tab. 20:** Neuwegersleben – CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub>, Humus, pH

Tiefe	Bezeichnung	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub>	Humus	pH
cm		%	%	%	%
0-15	Ah 1		2,2	3,7	6,75
15-30	Ah 2		1,93	3,33	6,92
30-45	Ah 3		1,84	3,17	7,08
45-60	Ah 4		1,59	2,74	7,09
> 70	Löss C	18,90	2,82	0,95	8,22
260	Sand/Kies		0,13	0,22	8,39
300-400	Sand/Kies		0,08	0,14	7,85
> 400	Sand/Kies		0,05	0,09	7,54
> 800	Grundmo- räne		0,18	0,31	7,98
> 1500	ältere Saale		0,13	0,22	7,28

## **Exkursionspunkt 13: Eickendorf: Bodenschätzungsmuseum**

### **Entwicklungsgeschichte der Bodenbewertung**

Bodenbewertungen waren bereits im Altertum bei verschiedenen Kulturen bekannt. Bis Anfang des 16. Jahrhunderts herrschte in Deutschland die Abgabe des Zehnten, was zu einigen gesellschaftlichen Problemen führte. Da die wirkliche Größe des Besitztums nur schwer nachvollziehbar war, blieben große Flächen teils unbesteuert. Da diese überwiegend dem Adel gehörten, fiel die Belastung der kleinen Leute deutlich höher aus. Schließlich entschloss man sich, den gesamten Landbesitz zu klassifizieren und die Ertragsunterschiede zu ermitteln. Der daraufhin eingeführte preußische Generalhufenschuß bedeutete eine von Bodenqualität abhängige Steuerabgabe. Großer Nachteil der später folgenden Bonitierungen innerhalb Deutschlands war die begrenzte Gültigkeit, die vom Gebiet abhängig war (Petzold 2010).

Schließlich ergab sich mit der Gründung des Deutschen Reiches im Jahr 1871 und dem später folgenden Aufbau der Reichsfinanzverwaltung die Notwendigkeit einer einheitlichen Bewertungsgrundlage. Das im Jahr 1925 beschlossene Reichsbewertungsgesetz forderte eine Bewertung landwirtschaftlicher Flächen, die allerdings auf unterschiedliche Landesbonituren zurückging. Im selben Jahr bildete sich ein Reichsbewertungsbeirat, um Bemessungsgrundlagen für die Bodenbonitierung/Bodenschätzung und die Einheitsbewertung für Immobilien zu schaffen. Am 16. Oktober 1934 wurde das Bodenschätzungsgesetz schließlich durch das Finanzministerium als Grundlage für steuerliche Berechnungen erlassen (Petzold 2010).

Am 01.01.1925 war der erste reichseinheitliche Schätzrahmen ausgearbeitet und unterschied in (Petzold 2010):

- 29 Bodenklassen
- 8 Bodengruppen je nach Tongehalt und Krumentiefe
- Reinertragsverhältniszahlen zwischen 6 und 100.

### **Vergleichsstandort Eickendorf**

Die Auswahl des Vergleichsstandortes für die Bodenschätzung fiel auf Eickendorf, welches zu den sieben Bördedörfern gehört, die das Schwarzerdegebiet mit dem Reichsmustergrundstück umschließen (Ahl et al. 2013).

Die Gegend mit den besten Böden wurde ausgewählt, da die Landwirte der Magdeburger Börde als vermögend galten. Sie wurden auch Zuckerbarone genannt. Der Hof der Witwe Haberhauffe erfüllte alle nötigen Rahmenbedingungen. Neben einer guten Infrastruktur mit befestigten Straßen und einer Bahnstrecke mit Bahnhof lagen die bewirtschafteten Ackerflächen im Umkreis von 1 km. Im Jahr 1935 ging der Hof der Witwe daher in die Geschichte der Bewertung und Bodenschätzung ein. Fortan wurde jeder andere Ackerboden mit den Musterstücken aus Eickendorf gemessen. Aufgrund des vorhandenen Löss-Bodens wurde diesem der Bodenwert 100 zugesprochen. Der Klimazuschlag von vier Punkten führte zu einer Ackerzahl von 104 Punkten (Werner o. J.)

Die Einstufung erfolgte im Jahr 1934 und ergab außerdem folgende Daten (Ahl et al. 2013):

**Tab. 21:** Daten für den Vergleichsstandort Eickendorf

Ackerland Nr. 3107 03	18.05.1934
OFD Magdeburg	Finanzamt Staßfurt
Flur 1	Flurstück(e): 1
Höhe: 72 m ü. NN	Jahreswärme 9,0 °C
Jahresniederschlag: 480 mm	Größe: 10.250 m <sup>2</sup>
Messtischblatt:	4036
Hochwert:	5757965
Rechtswert:	4478545
Bodenbeschreibung: 1 h4 L mi 3.0 2 h4 L mi 5.0-6.0 3 ka3, L	Bodenart: L Zustandsstufe: 1 Entstehung: L“
Bodenzahl: 100	Besonderheiten / Abrechnungen, Klima (%): 4
<b>Ackerzahl</b>	<b>104</b>

Anfang des Jahres 1934 wurde bereits auf das Bodenschätzungsgesetz hingearbeitet, welches im Oktober desselben Jahres in Kraft trat. Hierzu wurden die bodenkundlichen, -systematischen sowie betriebswirtschaftlichen Erkenntnisse aus den 20er-Jahren verwendet.

Man unterschied damals zwischen unreifen und vollreifen Böden. Darüber hinaus sollten gealterte Böden, die eine negative Entwicklung zeigen, ebenfalls betrachtet werden. Die Schätzungsrahmen für Acker- und Grünlandstandorte bauten sich wie folgt auf (Petzold 2010):

**Tab. 22:** Schätzungsrahmen

	Ackerland	Grünland
Bodenarten	9	5
Entstehungen	5	entfällt
Zustands-/Bodenstufen	7	3
Klimastufen	entfällt	4
Wasserstufen	entfällt	5
Wertzahlenklassen	7 bis 100	7 bis 88



**Abb. 28:** Plakette der DBG in Eickendorf (C. Ahl)



## Literatur

- ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl.. Hannover: 1–438
- Ahl C, Gernandt P, Dobers ES (2013): Landschaft und Landwirtschaft. Exkursion im Rahmen des Moduls: B.Agr.0316 Geoökologie und abiotischer Ressourcenschutz. Sommersemester 2013
- Altemüller H-J, Söchtig H (1982): Exkursionsführer, Technische Universität Braunschweig – Bodenkundliche Exkursion – 22. Mai 1982. Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde. Bundesanstalt für Landwirtschaft (FAL). Braunschweig-Völkenrode. 20 S.
- Behre K-E (2012): Die chronologische Einordnung der paläolithischen Fundstellen von Schöningen. Forschungen zur Urgeschichte aus dem Tagebau von Schöningen. Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums: 191 f.
- Behrend F (Hrsg.) (1989): Exkursion Boden- und Landeskultur 17. Jerxheim. 3 S.
- Bernatzki M, Geschwinde M, Grefen-Peters S, Heske I, Serlangeli J, Steinmetz WD, Zellmer H (2014): Fenster in die Archäologie. 300.000 Jahre Geschichte im Braunschweiger Land rund um den Elm. 2. Aufl. Appelhans Verlag: 9–128
- Börde Museum Burg Ummendorf (o. J.): Magdeburger Börde. <http://www.boerde-museum-burg-ummen-dorf.de/> (22. August 2016)
- Bundesamt für Naturschutz (2012): Biotopschutz und Landschaftsschutz. Schutzwürdige Landschaften. Landschaftssteckbrief Großes Bruch. [www.bfn.de](http://www.bfn.de) (22. August 2016)
- Cornelius R (2007): Das Große Bruch und der Heeseberg - Bastionen der Natur in der Agrarsteppe: 243–245. [http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/gruenes\\_band/20070910\\_gruenesband\\_heeseberg.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/gruenes_band/20070910_gruenesband_heeseberg.pdf) (28. August 2016)
- Eggelsmann R, Bartels R (1975): Oxidativer Torfverzehr im Niedermoor in Abhängigkeit von Entwässerung, Nutzung und Düngung. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (22): 215–221
- Elbracht J, Meyer R, Reutter E (2010): Hydrogeologische Räume und Teilräume in Niedersachsen: 3–177
- Fabian D (2008–2016): EWBSL-Projekt. <https://sites.google.com/site/erdwerksforschung/ewbsl-projekt> (4. September 2016)
- Feldmann L (2003): Spalten im Gletschereis: Der Grandkuhlenberg bei Winnigstedt. Informationsblatt: 1–2
- FEMO (Hrsg.) (2008): Von der Salzwiese zum Steppenrasen. Erlebnispfad Heeseberg - Großes Bruch - Hünenburg. Königslutter, Druckerei Bührig: 6–45
- Franzke HJ, Joss I (2008): Granitfelsen und Romerhaller Wasserfall im Okertal. Informationsblatt 9: 1–2
- George K, Hochsprung U, Nielbock R, Röhling HG, Wilde V, Zellmer H (2012): Der Globale GeoPark Harz, Braunschweiger Land, Ostfalen. Geologische Vielfalt vom Erdaltertum bis zum Eiszeitalter. Exkursionsführer u. Veröff. Dt. Ges. Geowiss: 40–81
- Geschwinde M, Raetzl-Fabian D (2009): EWBSL. Eine Fallstudie zur den jungneolithischen Erdwerken am Nordrand des Mittelgebirges. Beiträge zur Archäologie in Niedersachsen. Rahden/Westf., Marie Leidorf GmbH
- Gramann F (2003): Braunkohle-Tagebaue Helmstedt und Schöningen: 1–2
- Gumpert L (1973): Physische Geographie von Magdeburg und Umgebung Band 7. Helmstedt: 2 f.
- Helmstedter Revier GmbH (o. J.): Schöninger Tagebau. <http://www.helmstedterrevier.de/index.php/tagebauschoeningen.html> (4. September 2016)
- Hemprich A (1932): Der vorgeschichtliche Mensch, die vorgeschichtliche Besiedlung und Kulturentwicklung im Harzgau. Die ältere und mittlere Steinzeit. Halberstadt: 11–12
- Herrmann J (1989): Archäologie in der DDR (Berlin, Jena, Leipzig): 34–40
- Heske I (2010): Bronzezeitlicher Herrschaftssitz mit Außensiedlung (4). Göttingen: 8–13
- Heske I (2014): Informationen zur Ausgrabung 2/2014, 12. Aufl.
- Heucke A (Hrsg.) (1919): Firmenkatalog. 8 S.
- Kaselow M (1987): Langfristige historische Entwicklung einiger Parameter des Stoff- und Wasserhaushaltes im oberen Okertal (Niedersachsen). Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 138: 527–533
- Knoth W (1995): Sachsen-Anhalt. Berlin Stuttgart, Gebrüder Bornträger: 148–169
- Koch R (Hrsg.) (2015): Ergebnisse von geologischen Kartierbohrungen des LBEG im Großen Bruch (nördliches Harzvorland)
- Krüger E (2015): Anbauempfehlungen für schwermetallbelastete Böden zur Gewährleistung der Lebensmittel- und Futtermittelqualität. Oldenburg. <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/196/article/16643.html> (18. August 2016)
- Krüger FJ (2006): Wanderungen in die Erdgeschichte (19) Braunschweiger Land. München, Dr. Friedrich Pfeil
- Maehnert (2010): Großes Bruch/Aueniederung Harz. Im Amtsblatt für den Bördekreis 2, 6: 1–5
- Meier S (2015): Auswirkungen unterschiedlicher Landnutzungsformen im Niedermoor 'Großes Bruch' auf bodenphysikalische und bodenchemische Parameter. Bachelorarbeit: 3–43 (unveröffentlicht)
- Meyer M, Raetzl-Fabian D (2006): Neolithische Grabenwerke in Mitteleuropa – Ein Überblick: 10–38. [http://www.jungsteinsite.uni-kiel.de/pdf/2006\\_meyer\\_raetzl\\_low.pdf](http://www.jungsteinsite.uni-kiel.de/pdf/2006_meyer_raetzl_low.pdf) (20. August 2016)
- Mückenhausen E (1977): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland, 2. Aufl.. Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH: 194 f.

- Niehoff N (1996): Ökologische Bewertung von Fließgewässerlandschaften. Das Einzugsgebiet der Oker. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 193–205
- NLWKN (2011): Vollzugshinweise zum Schutz der FFH-Lebensraumtypen sowie weiterer Biotoptypen mit landesweiter Bedeutung in Niedersachsen. FFH-Lebensraumtypen und Biotoptypen mit Priorität für Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen. Salzwiesen im Binnenland. – Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz. Hannover
- NLWKN (2016a): Naturschutzgebiet „Okertal südlich Vienenburg“. [http://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/schutzgebiete/einzelnen\\_naturschutzgebiete/43586.html](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/schutzgebiete/einzelnen_naturschutzgebiete/43586.html) (3. September 2016)
- NLWKN (2016b): Naturschutzgebiet „Salzwiese Seckerttrift“; Okertal bei Wiedelah. [http://www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation\\_id=8062&article\\_id=43570&psmand=26](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=8062&article_id=43570&psmand=26); [http://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/schutzgebiete/einzelnen\\_naturschutzgebiete/43586.html](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/schutzgebiete/einzelnen_naturschutzgebiete/43586.html)
- Paul J (1982): Der Untere Buntsandstein des Germanischen Beckens 71 (3): 795
- Petzold C (2010): 75 Jahre Bodenschätzung in Deutschland 1934 bis 2009 113: 1–6
- Röhling HG, Heunisch C (2010): Eine lebensfeindliche Wüste oder doch mehr? Der Buntsandstein. Biologie unserer Zeit. 4. Aufl. Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: 268–276
- Sauer K (2010): Der Dampfpflug ... und was ich über ihn weiß. Die Technik des Dampfpfluges, Einblicke über den Betrieb mit Dampfpflügen. Berichte aus dem Betriebsgeschehen des Dampfpflugsbetriebes Sauer in Eilsleben. Regia Verlag: 7–28
- Scheffer B, Bartels R, Schäfer F (2001): Tiefpflugdeckkultur aus Lössunterlagertem Niedermoor. 2. Stickstoffumsetzung. Landnutzung und Landentwicklung 42: 219–223
- Schneider J (1986): Bodendenkmalpflege am Großen Bruch im Nordharzvorland. Siedlungsgeschichte und archäologische Quellenkritik 69
- Schröder H (1919): Süßwasserkalke, Hercynschotter und Glazialboldungen am Huy und Fallstein, 40. Aufl.: 1–45
- Spektrum (2016): Stromatolith. Heidelberg, Akademischer Verlag <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/stromatolith/15889>
- Terberger T, Winghart S (2015): Die Geologie der paläolithischen Fundstellen von Schöningen Band 2. Mainz, Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums: 4–24
- Thieme H (2007): Die Schöninger Speere. Mensch und Jagd vor 400.000 Jahren, Theiss Verlag, 248 S.
- Uhlmann G (o. J.): Unabhängige, interdisziplinäre Patriarchatsforschung. Faszination Archäologie. <http://www.gabriele-uhlmann.de/heeseberg.htm> (3. September 2016)
- Urban B, Elsner H, Hölzer A, Mania D, Albrecht B (1991): Eine eem- und frühweichselzeitliche Abfolge im Tagebau Schöningen. Landkreis Helmstedt 41, Nr. 1, A 07. Hannover: 85–99
- Vereinigung "Stiftung Umwelt- und Naturschutz Großes Bruch" e.V. (Hrsg.) (1996): Naturschutz und Landwirtschaft in einem Niedermoorgebiet. Ergebnisse, Erharungen, Ausblicke. Magdeburg, Rank Xerox Druck: 4–5
- Voigt S, Hecklau F, Erhardt I (2014): Wissenschaftliche Begleitung von Kurzumtriebsplantagen (KUP)
- Wachendorf H (2010): Rogensteine und Algenriffe im Steinbruch im Heeseberg bei Jerxheim (29): 1–2
- Wenzel S (1993): Zum Schlagplatz im letztinterglazialen Travertin von Steinmühle bei Veltheim, Kreis Halberstadt. Archäologisches Korrespondenzblatt 23. Wiesbaden, Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums: 3–8
- Werner J (o. J.) : Museum für Bodenschätzung. Eickendorf (Börde). <http://www.bodenschaetzung-eickendorf.de/> (4. September 2016)
- Weymann H-J, Feldmann L, Bombien H (2005): Das Pleistozän des nördlichen Harzvorlands – eine Zusammenfassung. Hannover: 43–63
- Winkler G (2009): Die Ortsnamen auf -leben - Versuch einer Typologie und Analyse. Namenkundliche Informationen 95/96: 209–232
- Wohlstadt R (1920): Die Molluskenfauna der diluvialen Travertine von Bilzingsleben bei Kindelbrück und Osterode bei Hornburg. Nachrichtenblatt der deutschen malakozoologischen Gesellschaft 52: 178–183
- Wolstedt P (1935): Die Beziehung zwischen den nordischen Vereisungen und den paäolithischen Stationen von Nord- und Mitteldeutschland 27: 275–287

## B-01: Grünes Band Eichsfeld-Werratal

Hartmut Gerries, Christiane Rüppel

Gerries Ingenieure GmbH, Kirchberg 12, 37130 Gleichen, goettingen@gerries.de, www.gerries.de

---

Die Exkursion entlang der ehemaligen deutsch-deutschen Grenze gibt einen Einblick in eine einzigartige Landschaft mit Biotopverbänden, die in 40 Jahren im „Todesstreifen“ entstanden sind.

Das als Grünes Band bezeichnete Gebiet enthält und verbindet sehr wertvolle, z. T. international oder bundesweit bedeutende Schutzgebiete sowie natürliche, naturnahe und extensiv genutzte Biotope auf ca. 1.400 km Länge und in insgesamt 9 Bundesländern (*Leitbild für die Biotoppflege im Grünen Band – verabschiedet im Rahmen der Fachtagung „Management des Grünen Bandes“, Eisenach, 23.-25. November 2011. BfN, BUND*).



Die Exkursion findet an der Grenze zu drei Bundesländern statt: Hessen, Niedersachsen und Thüringen. Für diesen Bereich wurde vom BfN das Förderprojekt Naturschutzgroßprojekt „Grünes Band Eichsfeld-Werratal“ bewilligt. Das Fördergebiet umfasst eine Gesamtgröße von rund 9.200 ha. Der größte Flächenanteil mit 65 % liegt in Thüringen, auf Hessen entfallen 16 % und auf Niedersachsen 19 %. In der ersten Projektphase bis 2013 entwickelte sich starker Widerstand aus der Land- und Forstwirtschaft gegen das Naturschutzgroßprojekt. Daraufhin wurde das ursprüngliche Projektgebiet deutlich reduziert. Zur Akzeptanzbewertung wurden in Thüringen und Niedersachsen 2015/2016 Machbarkeitsstudien durchgeführt.

Grundsätzlich ist die Land- und Forstwirtschaft nicht gegen sinnvolle Extensivierungsmaßnahmen oder Biotopentwicklungsmaßnahmen eingestellt.

Der große Konflikt besteht in der Sorge, dass Flächen durch Ankauf entzogen werden und die Entwicklung der Land- und Forstwirtschaft beeinträchtigt wird.

Im Rahmen der Exkursion werden wir die Naturräume des Berg- und Hügelland des Weser-Leineberglandes, des Werraberglandes und des Nordthüringer Buntsandsteinlandes mit ihren typischen Bodengesellschaften kennenlernen.

Wir fahren in die Gipskarstlandschaft des Südharz und besuchen die Rhumequelle als ergiebigste Karstquelle Mitteleuropas mit 2.000 l/sec.

Zu den jeweiligen Stationen werden auch Konflikte erläutert, die sich durch Nutzungskonkurrenz Land- und Forstwirtschaft/Naturschutz entwickelt haben. Auch gesellschaftlich relevante Fragen sollen angesprochen werden: Wie gehen wir mit unserer jüngsten Geschichte um? Zuwachsen lassen und vergessen oder erhalten und pflegen?

Die Mittagspause findet auf dem Gut Herbigshagen, dem Naturerlebniszentrum der Heinz Sielmann Stiftung, statt. Dort besteht die Möglichkeit, verschiedene Ausstellungen u.a. des Naturfilmers Heinz Sielmann zu besuchen und an Erlebnisstationen die heimische Flora und Fauna kennenzulernen.

Zu den einzelnen Stationen und inhaltlichen Schwerpunkten werden örtliche Akteure aus dem Bereich Landwirtschaft, Naturschutz und Kommunalvertretung Erläuterungen geben.

## **Ablaufplan**

### **Start:**

Zentrales Hörsaalgebäude (ZHG) der Georg-August-Universität Göttingen

Fahrt mit dem Bus durch das Leinetal vorbei am Heimkehrerdenkmal Friedland

### **1. Station**

Dreiländereck Niedersachsen/Hessen/Thüringen – Auenlehmprofil Hottenrode

Erläuterungen durch den Geschäftsführer des *Niedersachsen Landvolk Kreisverband Göttingen e. V.* zur Situation der Landwirtschaft in Niedersachsen im Hinblick auf Vorgaben des Umweltschutzes. Vorgestellt wird ein Auenlehmprofil.

### **2. Station**

Pferdeberg – Flachgründiger Muschelkalk

Im Grenzstreifen haben sich Magerrasen entwickelt, diese Bereiche verbuschen zunehmend. Zum Thema Offenhaltung durch Beweidung wird ein örtlicher Schäfer referieren.

Frühstückspause

### **3. Station**

Fahrt durch Thüringen mit kurzen Zwischenstopps, vorbei am Heilbad Heiligenstadt, am Grenzmuseum Teistungen und an Duderstadt. Es besteht die Möglichkeit, zu Fuß zum Gut Herbigshagen zu laufen.

### **4. Station**

Gut Herbigshagen – Mittagspause

Der Geschäftsführer der Heinz Sielmann Stiftung und der Bürgermeister der Stadt Duderstadt erläutern den Stiftungszweck und das Konzept des Naturerlebnis zentrums.

### **5. Station**

Gipskarstlandschaft

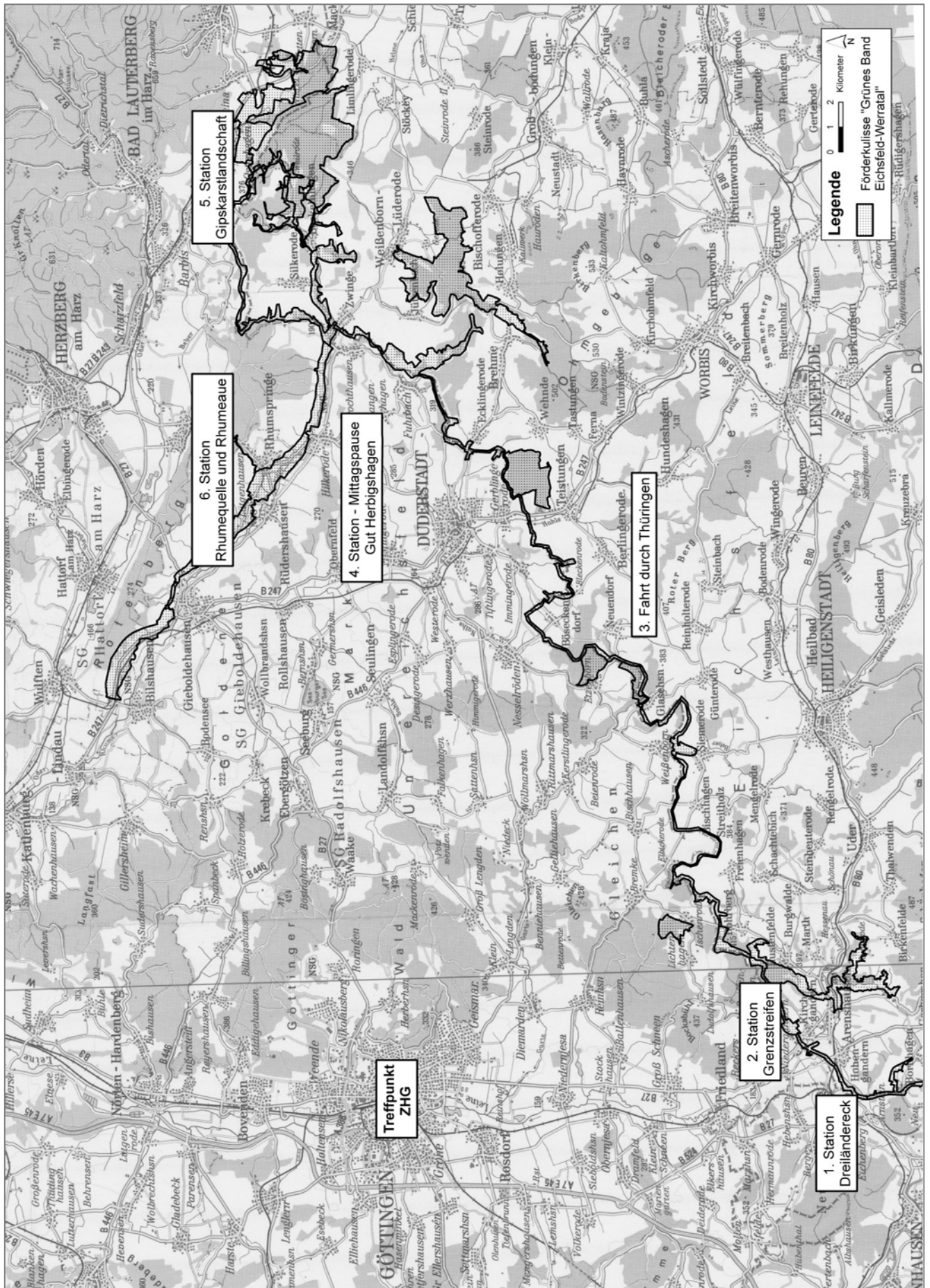
### **6. Station**

Rhumequelle und Rhumeaue

Erläuterungen durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Der Weg zurück nach Göttingen führt vorbei am Seeburger See, dem größten See Südniedersachsens.

# Übersichtskarte Exkursionsroute





# B-02: Effiziente Tier- und Pflanzenproduktion in Südniedersachsen

Heinz-Josef Koch<sup>1</sup>, Karl Teiwes<sup>2</sup>, Jürgen Boess<sup>3</sup>, Christoph von Breitenbuch<sup>4</sup>, Herbert Hardege<sup>5</sup>, Bernward Märländer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstr 77, 37079 Göttingen

<sup>2</sup> Forstbachtal 24, 37640 Golmbach

<sup>3</sup> Lärchenweg 4, 79853 Lenzkirch

<sup>4</sup> Agrar-Betriebsgemeinschaft Leine-Solling GbR, Hauptstraße 1, 37176 Parenden

<sup>5</sup> Plesse Milch GmbH & Co. KG, Angerweg 18, 37120 Reyershausen

## Einleitung

Diese Exkursion führt durch das nördliche Umland von Göttingen in Südniedersachsen auf einen Milchvieh- und einen Ackerbaubetrieb sowie einen Dauerfeldversuch mit 8 Fruchtfolgen. Die Charakteristika der Betriebe sowie des Fruchtfolgeversuchs hinsichtlich ihrer natürlichen Voraussetzungen und Ausrichtung werden aufgezeigt und in Beziehung zu Bodenaspekten gesetzt. Die Vorstellung wird abgerundet durch vier Bodenaufschlüsse, von denen einer durch Wurzelbilder von Mais und Zuckerrübe ergänzt wird. Die Landwirtschaft Südniedersachsens wird geprägt vom Ackerbau mit

Schwerpunkt im Anbau von Getreide (Tab. 1). Zudem leisten in den Regionen mit guten Böden Zuckerrüben traditionell einen nennenswerten Beitrag zum betriebswirtschaftlichen Erfolg der Betriebe. Daneben gibt es einen nicht zu vernachlässigenden Grünlandanteil. Nahezu  $\frac{3}{4}$  der landwirtschaftlichen Betriebe halten Vieh mit Schwerpunkt in der Veredelungswirtschaft. In 22–29 % der viehhaltenden Betriebe stehen Milchkühe mit durchschnittlichen Bestandsgrößen von 35–43 Milchkühen pro Betrieb.

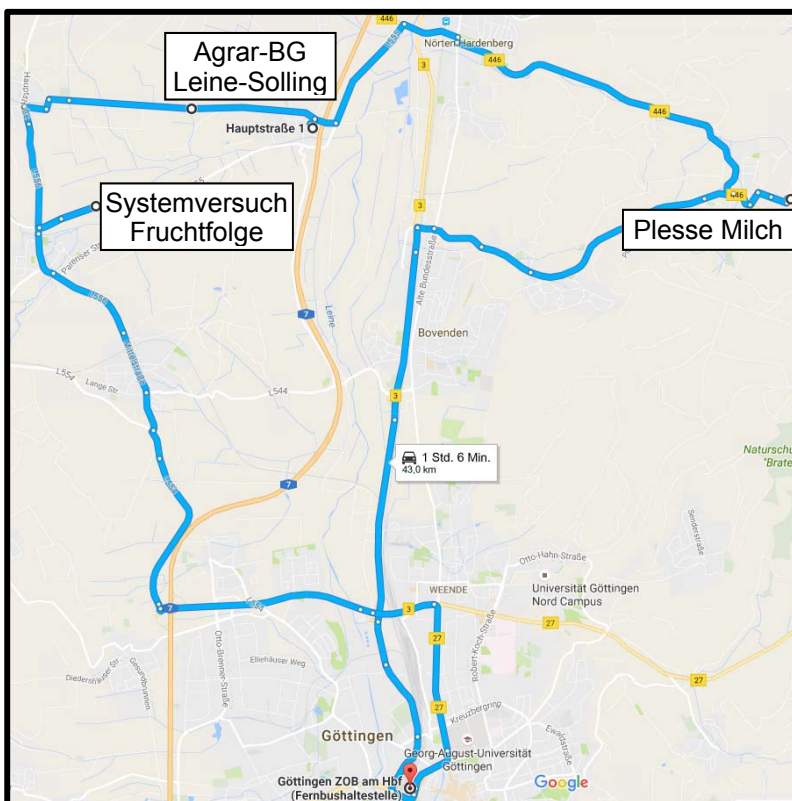


Abb. 1: Fahrtroute und Lage der Exkursionspunkte

Tab. 1: Daten zur Landwirtschaft in Südniedersachsen anhand der Landkreise (LK) Göttingen, Osterode und Northeim (Quelle: Statistische Berichte Niedersachsen; Landwirtschaftszählung 2010, Heft 1 Teil A, Gemeindeergebnisse. Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, LSKN)

	LK Göttingen	LK Osterode	LK Northeim
landw. Fläche (LF) [ha]	56710	15639	56134
landw. Betriebe	780	264	859
Ackerland (AF) [ha]	49062 (86,5 % LF)	11325 (72,4 % LF)	47047 (83,8 % LF)
Betriebe	699	216	752
Dauergrünland [ha]	7488 (13,3 % LF)	4303 (27,5 % LF)	8954 (16,0 % LF)
Betriebe	607	227	711
Getreide [ha]	30538 (62,2 % AF)	7037 (62,1 % AF)	26919 (57,2 % AF)
Zuckerrüben [ha]	2489 (5,1 % AF)	197 (1,7 % AF)	3907 (8,3 % AF)
landw. Betriebe mit Vieh	571 (73,2 %)	204 (77,3 %)	619 (72,1 %)
davon Betriebe mit Milchkühen	168 (29,4 %)	44 (21,6 %)	170 (27,5 %)
Anzahl Milchkühe	6307	1540	7361
durchschnittliche Anzahl Milchkühe/Betrieb	38	35	43

## Station 1: Plessemilch GmbH & Co. KG, Reyershausen

### Lage, Geologie, Boden

Der Betrieb und das ausgewählte Bodenprofil liegen östlich von Reyershausen an der Bundesstraße nach Ebergötzen.

Das Gebiet um Reyershausen gehört zum nördlichen Vorland des Göttinger Waldes, einem Muschelkalkplateau im Bereich der vorgelagerten Rötensenke (Meyer 1987). Das Gelände ist stark bewegt und überwiegend schwach bis mäßig geneigt. Naturräumlich ist das Gebiet dem Göttingen-Northeimer Wald zuzuordnen (Hövermann 1963). Am Ostrand des Leinegrabens schließen sich hier Formationen des Oberen Buntsandsteins und sie umgebende Muschelkalkgebiete an. Gekennzeichnet ist die Landschaft durch einen häufig schichtstufenartigen

Anstieg gegen die angrenzende Beckenlandschaft. Den härteren steilen Stufen des Unteren Muschelkalkes sind häufig weichere Gesteine der Rötzone vorgelagert, die vielfach in Rötmergel übergehen, bei denen dem Rötton Muschelkalkschutt beigemischt ist oder Muschelkalkschutt ihn überdeckt.

Ausgangsmaterial der Böden in dem hier präsentierten Gebiet sind Kalksteinfließerden über Tonstein des Oberen Buntsandsteins (Rötton). Die Mächtigkeit der Fließerden schwankt stark. Die Fließerden sind mehr oder wenig mit Kalksteinen durchsetzt und im Allgemeinen kalkhaltig. Aus den Kalksteinfließerden sind Rendzinen und bei höheren Tongehalten Pelosole hervorgegangen.

Tab. 2: Profilbeschreibung „Braunerde-Rendzina“ am Standort Reyershausen (Bodenschätzung: L 4 V 47/42)

Tiefe der Untergrenze [dm]	Horizont	Bodenart	Rohdichte trocken Stufe	Humus Stufe	Carbonat Stufe
1,5	eAh	Ut4, x1	q t2	h4	c3
6,5-8,5	Bv-eCv	Lu, x3	q t3		c4
>10	eCv	Lu, x3	q t3		c4

Tab. 3: Bodenanalysen<sup>a, b</sup> zum beschriebenen Bodenprofil am Standort Reyershausen

Horizont	T	U	S	pH	Mg (CaCl <sub>2</sub> )	P (CAL)	K	C <sub>org</sub>	N <sub>Ges</sub>	C/N	Humus	CaCO <sub>3</sub>
	[% (Feinerde)] <sup>b)</sup>				[mg/100 g]			[%]				
eAh	20	67	13	7,0	38	14	14	4,84	0,50	9,7	8,34	15,8
Bv-eCv	25	54	21	7,3	20	3	8					
eCv	24	59	17	7,3	14	1	9					

<sup>a</sup> Die Bodenanalysen wurden vom Landwirtschaftlichen Labor Dr. Janssen GmbH durchgeführt.

<sup>b</sup> Die Korngrößenanalysen wurden vom AGROLAB Boden- und Pflanzenberatungsdienst GmbH in Oberdorla durchgeführt.

### Geschichte und Struktur des Betriebes

Die Plessemilch GmbH & Co. KG wurde 2010 nach einer dreijährigen Planungsphase von den sechs Gesellschaftern Herbert Hardege, Jürgen Wolf, Werner und Lars Beinhorn, Thomas Vogel und Burkhard Düvel gegründet. Ziel der Zusammenlegung von ehemals drei Betrieben war es, die bestehende Milchviehhaltung in einem neuen tiergerechten und arbeitseffektiven Milchviehstall zu konzentrieren. Das so entstehende Unternehmen sollte den fünf beteiligten Familien eine langfristige wirtschaftliche Perspektive ermöglichen. Im Jahr 2013 wurden die Stallanlagen und das Melkhaus nebst Betriebsräumen bezogen, zu denen auch eine Biogasanlage gehört. Der Stall ist ein Sechsstreihen-Boxenlaufstall, gemolken wird in einem separaten Gebäude mit zweimal 20 Melkplätzen (side by side). Futtergrundlage sind neben Grünland vor allem Mais und Getreide. Der Ackerbau ist in einen separaten Betriebsteil ausgelagert.

### Betriebsspiegel

Insgesamt bewirtschaftet der Betrieb ca. 800 ha, die zu ca. ¾ aus Ackerland bestehen. Die Ackerschläge weisen eine durchschnittliche Feldgröße von ca. 2,5 ha mit einer Bodenwertzahl von 48 auf. Bei einer Höhenlage von ca. 265 m ü. NN, einem Jahresniederschlag von ca. 650 mm und einer Durchschnittstemperatur von ca. 8,7 °C sind die dominierenden Ackerkulturen Winterweizen (ca. 225 ha; Ertrag 7,5–8,5 t/ha), Silomais (ca. 125 ha; 12,0–14 t TM/ha), Wintergerste (ca. 110 ha; 6,5–8,0 t/ha), Winterrap (ca. 80 ha; 3,5–4,5 t/ha) und Winterroggen-GPS (ca. 25 ha; 12,5–14,0 t TM/ha). Darüber hinaus wird mit

Dinkel, Ackerbohne und Luzerne experimentiert, und es werden ca. 15 ha Blühstreifen und Brache bewirtschaftet. In der Viehhaltung werden ca. 650 Kühe gehalten. Gemolken wird dreimal pro Tag. Darüber hinaus werden ca. 500 Tiere zur Nachzucht geführt. Die Milchleistung liegt bei ca. 11.500 kg Milch pro Kuh und Jahr (Fett 3,76 %, Eiweiß 3,36 %). Die Biogasanlage (Fermenter: 2.300 m<sup>3</sup>, Nachgärer: 3.400 m<sup>3</sup>, Gärrestlager: 6.400 m<sup>3</sup> (+ 8.200 m<sup>3</sup> in Planung)) wird mit Rindergülle, Mist sowie geringen Mengen an Maissilage gefüttert. Sie erzeugt ca. 4,4 Mio. kWh Strom pro Jahr aus zwei Zündstrahlmotoren. Auf dem Betrieb sind 15 Personen in Voll- und Teilzeit beschäftigt (Viehhaltung).

### Station 2: Agrar-Betriebsgemeinschaft Leine-Solling GbR, Pahrensen

#### Lage, Geologie, Boden (Schweckenberg)

Der ausgewählte zur Agrar-Betriebsgemeinschaft Leine-Solling GbR gehörende Schlag liegt ca. 1 km westlich der Ortschaft Pahrensen. Der Bereich gehört nach der naturräumlichen Gliederung zum Sollingvorland (Meynen und Schmithüsen 1954).

Die Ackerfläche ist am Westende des Schweckenberges gelegen, einer Erhebung, die nach Süden und Westen mit 6–10 % zum Bach Harste und einem Nebenbach abfällt, nach Norden aber in eine flach gewellte Ebene übergeht.

Der Schweckenberg wird aus Tonsteinen des Unteren Juras aufgebaut, die auf dem Top des Berges von kiesigen Sedimenten einer Oberterrasse überdeckt werden. Nach Norden werden

die Gesteinsfolgen von mächtigen Lössen überlagert. Am südlichen Hangfuß sind nur noch Lössreste vorhanden. In den Gewässerniederungen treten Schwemmlöse auf. In den steileren Hanglagen des Schweckenberges sind in der Regel geringmächtige pleistozäne Fließerdunen ausgebildet.

Entsprechend der heterogenen Geologie haben sich auf der Fläche unterschiedliche Böden entwickelt. Im Nordosten des Schlages, wo die Tonsteine von Resten einer Oberterrasse überlagert werden, haben sich Braunerden gebildet, in den steileren Hanglagen sind es Braunerde-Pelosoile und Braunerden, am südlichen Hangfuß treten auf den Lössresten Parabraunerden auf. Die tiefsten Teile des Schlages werden im Süden und Westen von Kolluvialen eingenommen.

Auf dem Schlag am Schweckenberg erfolgte die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens mit dem Verfahren EM38. Die Messergebnisse wurden mit vorliegenden Bodendaten (Bodenschätzung, geologische Karten) verknüpft und mit eigenen Bohrungen abgesichert. Die so gewonnenen Bodeninformationen wurden zu einer Hofbodenkarte verarbeitet. Einmal erhoben, behält die Hofbodenkarte für Jahrzehnte ihre Gültigkeit, ist stets erweiterbar und in die gängigen Agrarsoftwares zu integrieren.

Es wurden ferner Methoden entwickelt, die die Daten der Hofbodenkarte automatisiert auswerten (Müller u. Waldeck 2011) und so den Landwirt, z. B. bei der Bodenbearbeitung, Anbauplanung und der Berechnungssteuerung, unterstützen können.

### **Geschichte und Struktur des Betriebes**

Seit 1972 bündelt die Agrar-Betriebsgemeinschaft Leine-Solling GbR die Kräfte landwirtschaftlicher Traditionsgüter in Südniedersachsen. Heute sind vier Gutsbetriebe in der Gemeinschaft zusammengeschlossen: Rittergut

Parenzen, Gut Dörrigsen, Rittergut Friedrichshausen, Rittergut Hoppensen. Die Güter liegen im geografischen Dreieck zwischen Leinetal, Einbecker Becken und dem Solling. Geschäftsführender Gesellschafter ist Christoph von Breitenbuch, Landwirt, Dipl.-Ing. (FH). Alle anderen Gesellschafter sind passive Teilhaber. Der Ackerbaubetrieb konzentriert sich auf den Anbau von Zuckerrüben, Winterraps, Getreide (Weizen, Gerste, Hafer) sowie einer Kurzumtriebsplantage (Pappeln zur Energieholzgewinnung). Ein wachsendes Interesse weiterer Landwirtschaftsbetriebe aus der Region, das Fachwissen, die Technik und Infrastruktur der Betriebsgemeinschaft in Anspruch zu nehmen, führte im Jahr 2010 zur Gründung eines Dienstleistungsbetriebes (Agrar-Dienste Leine Solling GmbH & Co. KG).

Das Wirtschaften beider Betriebe zeichnet sich insbesondere aus durch ein sehr junges Mitarbeiterteam sowie den Einsatz modernster Landtechnik, die eine teilflächenbezogene Bewirtschaftung der Felder ermöglicht.

### **Betriebsspiegel**

Insgesamt bewirtschaftet die Agrar-Betriebsgemeinschaft Leine-Solling GbR ca. 580 ha Ackerland bei einer durchschnittlichen Feldgröße von 10,3 ha. Darüber hinaus werden über die Dienstleistungsgesellschaft und Bewirtschaftungsverträge ca. 55 ha Ackerland bearbeitet. Die durchschnittliche Flächengröße beträgt hier ca. 3 ha. Der Ackerbaubetrieb ist gekennzeichnet durch das Wirtschaften auf tonreichen Böden im Leinetal sowie schluffreichen Lehmböden im Einbecker Becken sowie im Solling. Bei Jahresniederschlägen von aktuell fünfjährig ca. 640 mm und einer gleichmäßigen Niederschlagverteilung während des Jahres können i. d. R. sehr konstante Felderträge auf höchstem Ertragsniveau erzielt werden (Tab. 4).

Tab. 4: Angebaute Fruchtarten, Ertrag und Flächenanteil der Agrar-Betriebsgemeinschaft Leine-Solling GbR

Fruchtart	Ertrag Ø 5 Jahre (t/ha)	Flächen- anteil (%)	Fruchtart	Ertrag Ø 5 Jahre (t/ha)	Flächen- anteil (%)
Winterweizen	9,0	43	Winterraps	4,1	21
Wintergerste	8,2	21	Zuckerrübe	74,5	9
Sommerhafer	8,2	6	(Zucker	13,7)	

Tab. 5: Maschinenausstattung der Agrar-Betriebsgemeinschaft Leine-Solling GbR

Traktoren	Weitere
John Deere 6155R (Bj. 2016)	Mähdrescher: Claas Lexion 750 (7,5 m)
John Deere 7230R (Bj. 2016)	Pflanzenschutzspritze: Agio Mammut (6000 L, 27 m)
John Deere 8230 (Bj. 2004)	Düngerstreuer: Rauch Axis 50.2 (27 m)
	Grubber: Köckerling Vario (5,7 m)
	Pflug: Kverneland Vario (mit Packer, 6 Schare)

Mit einem Arbeitskräftebesatz von insgesamt 3 Arbeitskräften für die anfallenden Feldarbeiten in der Betriebsgemeinschaft und dem Dienstleistungsbetrieb ist das Unternehmen schlank aufgestellt. Eine moderne und leistungsfähige Landtechnik ermöglicht eine optimale Einhaltung aller termingebundenen Feldarbeiten (Tab. 5).

Sämtliche Betriebsmittel (Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Diesel etc.) können im Unternehmen gelagert werden. Mithilfe der zwei betriebseigenen Erntegutlager für Getreide und Raps können in Summe ca. 5.200 Tonnen gelagert werden. Die Betriebsgemeinschaft stellt jedes Jahr eine Vielzahl von Ackerflächen dem Pflanzenzuchtunternehmen KWS SAAT SE für seine Züchtungsarbeit zur Verfügung.

### Station 3: Systemversuch Fruchtfolge des IfZ Göttingen, Ortfeld, Gemarkung Harste

#### Lage, Geologie, Boden

Die Feldversuchsfläche „Ortfeld“ liegt etwa 650 m nordöstlich von Harste und gehört zum landwirtschaftlichen Betrieb Weinberghof in Harste.

Naturräumlich ist die Versuchsfläche dem Moringer Becken zuzurechnen (Hövermann 1963).

Von der Leineau wird es durch eine Zone von Keuperhügeln getrennt. Das Moringer Becken ist eine in sich geschlossene, vollständig mit Löss ausgekleidete Ackerbörde.

Geologisch ist die Untersuchungsfläche Teil des Leinegrabens (Hövermann 1963). Die Oberfläche der präquartären Schichten wird im Wesentlichen von Formationen des Mittleren Keupers gebildet (Jordan 1984). Der obere Teil des Mittleren Keupers, der sich hier unmittelbar an den überlagernden Löss anschließt, besteht aus Schichtfolgen von Wasser stauenden grauen Tonmergeln und grauen Dolomitmergesteinen (Nagel u. Wunderlich 1976). Während der Weichsel-Kaltzeit wurde die Hauptmasse des heute oberflächennah im Moringer Becken angetroffenen Lösses abgelagert. Er kann Mächtigkeiten von 10 bis 15 m erreichen und ist im Allgemeinen 1 bis 3 m tief zu Lösslehm entkalkt (Jordan 1984). Im Bereich der Versuchsfläche ist von einer Lössüberdeckung von nahezu 2 m und mehr auszugehen.

Die weitgehend ebene Fläche weist hier Geländehöhen um 142 m ü. NN auf und fällt in nordöstlicher Richtung geringfügig ab.

Aus dem im Moringer Becken abgelagerten Löss sind überwiegend Parabraunerden (LL) entstanden. Im Leinegraben haben die lössbürtigen Böden vor der Parabraunerdeentwicklung



zu Beginn des Holozäns häufig ein Schwarzerdestadium durchlaufen, erkennbar an dunklen, humosen Horizonten bis in den Unterboden (Ahl et al. 1985, Fachgruppe Bodenkunde des NLFB 1997). Schwarzerden haben sich dort erhalten, wo die bodenhydrologischen Bedingungen die Abfuhr des Kalkes verhindert haben. Solche konservierenden Situationen sind im Leinetalgraben nicht selten, weil hier Wasser stauende Schichten des Keupers und Lias in weitem Umfang die Unterlage der Lösspakete bilden. Mit zunehmender Mächtigkeit der Lössdecken und damit verbundener die Kalkabfuhr fördernder größerer Grund- bzw. Stauwasserspiegeltiefen haben sich die Schwarzerden zu Parabraunerden entwickelt (Ahl et al. 1985). Die kartierten Parabraunerden der Versuchsfläche zeigen erkennbare reliktsche Schwarzerde-Horizonte (rAh). Auch für die Parabraunerden ohne erkennbare rAh-Horizonte ist anzunehmen, dass sie ein Schwarzerdestadium durchlaufen

haben. Nur sind hier vermutlich die reliktschen humosen, die früheren Schwarzerden kennzeichnenden Horizonte im Zuge der ackerbaulichen Nutzung in den Pflughorizont eingearbeitet worden.

Die Böden der Versuchsflächen sind überwiegend tiefgründig entkalkt. Carbonat kann hier aber unterhalb von 0,8 m Bodentiefe nachgewiesen werden (Tab. 6, 7). Alle Böden der Flächen weisen deutliche Staunässemerkmale auf. Der Staunässeinfluss ist wohl im Wesentlichen in der den Löss unterlagernden wasserundurchlässigen Tonmergelschicht des Mittleren Keupers begründet. Der Staunässeinfluss ist trotz teilweise deutlicher Erscheinungsformen (Eisenflecken) nur schwach ausgeprägt und behindert die ackerbauliche Nutzung nur in geringem Maße, was sich auch in der relativ hohen Bewertung durch die Bodenschätzung ausdrückt.

Tab. 6: Profilbeschreibung „Pseudogley-Parabraunerde“ am Standort Ortfeld (Bodenschätzung: L 3 Al 76/78)

Tiefe der Untergrenze [dm]	Horizont	Bodenart	Rohdichte trocken Stufe	Humus Stufe	Carbonat Stufe
3	Ap	Ut2	q t2	h3	c0
4,5-5	rAh+Bt	Ut3	q t3	h2	c0
7,5-9	Sw-ICv	Ut2	q t3	h1	c0
>10	Sw-ICv	Ut2	q t3		c3

Tab. 7: Bodenanalysen<sup>a, b</sup> zum beschriebenen Bodenprofil am Standort Ortfeld

Horizont	T	U	S	pH	Mg (CaCl <sub>2</sub> )	P (CAL)	K	C <sub>org</sub>	N <sub>Ges</sub>	C/N	Humus	CaCO <sub>3</sub>
Ap	10	76	14	6,8	12	8	13	1,23	0,15	8,3	2,13	0,3
rAh+Bt	12	73	15	6,7	10	5	8	0,96	0,12	8,3	1,65	0,1
Sw-ICv	8	71	21	6,5	8	2	7	0,67	0,08	8,0	1,15	0,1
Sw-ICv	11	77	12	7,5	5	1	5					

<sup>a</sup> Die Bodenanalysen wurden vom Landwirtschaftlichen Labor Dr. Janssen GmbH durchgeführt.

<sup>b</sup> Die Korngrößenanalysen wurden vom AGROLAB Boden- und Pflanzenberatungsdienst GmbH in Oberdorla durchgeführt.

## Versuchsanlage und -durchführung

Der 4,8 ha große Versuch wurde im Jahr 2005 angelegt mit dem Ziel, Vorfrucht- und Fruchtfolgeeffekte des Anbaus von Zuckerrüben im Vergleich zu Winterweizen, Winterrapen und Mais auf nachfolgenden Winterweizen zu quantifizieren. Des Weiteren stehen die Wirkung der Vorfrüchte Winterweizen, Silomais und Körnererbse auf nachfolgende Zuckerrüben sowie

die Wirkung des Belassens des Zuckerrübenblatts im Feld auf den Humusgehalt und der Anbau von Raps und Zuckerrübe in derselben Fruchtfolge im Fokus. Um diesen Aspekten nachzugehen, wurden fünf dreifeldrige und eine sechsfeldrige Fruchtfolge angelegt. Ergänzt wurden sie durch einen Daueranbau von Winterweizen und Silomais.

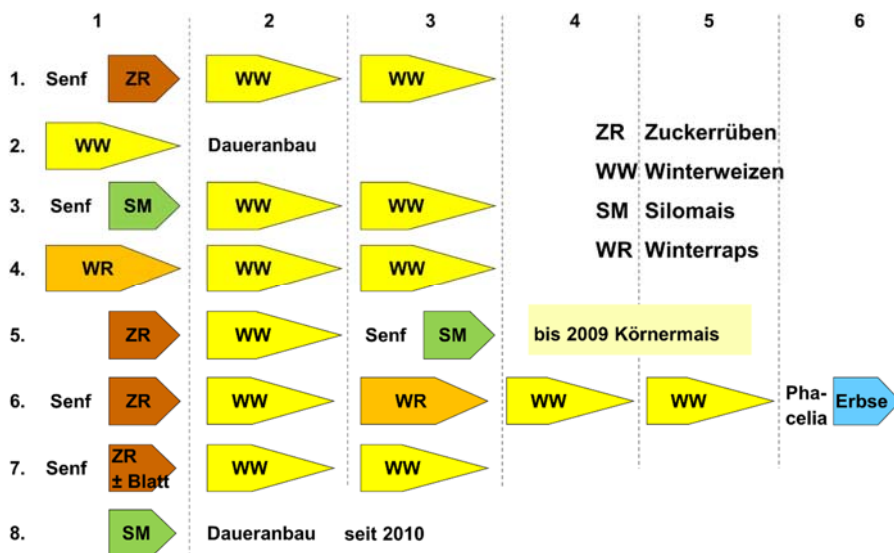


Abb. 2: Fruchtfolgen (Zeilen 1.–8.) und Fruchtfolgefelder (Spalten 1–6) im Systemversuch Fruchtfolge Harste

Wiederholung 2				Wiederholung 3			
WW 6.2	W W 4. 3	W W 1. 3	W W 2. 1	WW 1.2	W W 7. 2	W W 3. 3	WW 6.2
W W 7. 2	S M 3. 1	WW 6.4	WW 5.2	W R 4. 1	SM 5.3	WW 9.1	WW 6.4
ZR 5.1	WR 6.3	WW 4.2	ZR 6.1	WW 3.2	SM 8.1	Z R 7. 1	Z R 1. 1
WW 1.2	WW 9.1	W W 3. 3	Z R 7. 1	ZR 6.1	WR 6.3	WW 5.2	W W 4. 3
KE 6.6	WW 3.2	WW 6.5	SM 5.3	W W 7. 3	WW 4.2	KE 6.6	WW 6.5
W R 4. 1	W W 7. 3	Z R 1. 1	SM 8.1	ZR 5.1	W W 1. 3	S M 3. 1	W W 2. 1
S M 3. 1	WW 1.2	W W 4. 3	SM 5.3	Z R 1. 1	W W 7. 2	WW 5.2	KE 6.6
W W 7. 3	WW 6.4	WW 9.1	ZR 6.1	WR 6.3	W W 3. 3	WW 4.2	SM 8.1
WW 6.5	WW 3.2	W W 1. 3	Z R 7. 1	ZR 5.1	WW 6.2	W R 4. 1	W W 2. 1
Wiederholung 1							

Abb. 3: Parzellenplan 2017. Die Ziffer vor dem Punkt kennzeichnet die jeweilige Fruchtfolge, die Ziffer nach dem Punkt das Fruchtfolgefeld.

Vor den Sommerkulturen werden nahezu ausnahmslos Zwischenfrüchte angebaut. Alle Fruchtfolgen und jedes der einzelnen Felder werden jedes Jahr angebaut. Daraus ergeben sich 23 Kombinationen und, bei drei Wiederholungen, 72 (69) Parzellen mit den Abmessungen von 16,2 m x 14 m. Die einzelnen Früchte werden nach den regionalen Empfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen angebaut. Der Boden wird überwiegend pfluglos bearbeitet. Gleiche Fruchtarten in verschiedenen Fruchtfolgen werden pflanzenbaulich möglichst einheitlich behandelt, jedoch werden Winterweizen hinsichtlich Aussaattermin, N-Düngung und Wachstumsreglereinsatz und Zuckerrübe und Mais bezüglich der N-Düngung durch Berücksichtigung von Unterschieden im Frühjahrs-Nmin-Wert und im N-Bedarfswert differenziert geführt. Abgesehen von den Erntearbeiten und der Bodenbearbeitung werden die Parzellen nicht mit Maschinen befahren. Die Erntereste aller Früchte (Blatt, Stroh) verbleiben im Feld.

### **Wesentliche Versuchsergebnisse**

Unter Fruchtfolge versteht man das zeitlich geordnete Nacheinander von ein- oder zweijährigen Fruchtarten auf demselben Feld im wiederkehrenden Rhythmus. Fruchtfolgen setzen sich aus Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen zusammen und umfassen heute oftmals insgesamt nur drei bis fünf Felder (Früchte), bei denen einzelne Früchte auch mehrfach enthalten sein können (z. B. Winterraps-Winterweizen-Zuckerrübe-Winterweizen-Wintergerste). Fruchtfolge- bzw. Vorfruchteffekte lassen sich unterscheiden in direkte Wirkungen einer Vorfrucht auf die unmittelbare Folgefrucht (Nachfrucht) und längerfristige Wirkungen auf die zweite, dritte etc. Folgefrucht. Wesentliche Vorfruchteffekte auf den Ertrag der Folgefrucht resultieren aus deren Einfluss auf Unkräuter und vor allem auf Krankheiten und Schädlinge (Unterdrückung oder Förderung). Des Weiteren bestehen Vorfruchteffekte aus der Bereitstellung von Nährstoffen (Höhe und Zeitpunkt von Mineralisation und Festlegung, Vermeidung von Boden-erosion, Auswaschung und Entgasung) sowie aus der Wirkung auf die Bodenstruktur, die die Verfügbarkeit von Wasser, Sauerstoff, Wärme

und Nährstoffen beeinflusst. Diese Einflüsse hängen ihrerseits wiederum von der Vegetationslänge der Vorfrucht (Aussaat-, Erntetermin), der Dauer und Intensität der Beschattung der Bodenoberfläche und der Möglichkeit eines Zwischenfruchtanbaus zwischen Vor- und Folgefrucht, der Durchwurzelung (Tiefe, Intensität) und den Ernteresten (Menge, Zusammensetzung) ab. Untrennbar mit den Eigenschaften der als Vorfrucht angebauten Fruchtart selbst bestimmen auch die zur Vorfrucht durchgeführten Anbaumaßnahmen deren Wirkung auf die Folgefrucht. Beispielhaft sei hier auf die Befahrungen mit landwirtschaftlichen Maschinen insbesondere bei der Ernte hingewiesen, die sich hinsichtlich Zeitpunkt (Bodenfeuchte), Häufigkeit, betroffenem Flächenanteil sowie Radlasten und Kontaktflächendrücken in ihrer Nachwirkung deutlich unterscheiden können. Auch die Intensität des erforderlichen „Nacherntemanagements“, um günstige Bedingungen für die Etablierung der Folgefrucht zu schaffen (Strohzerkleinerung und -einarbeitung) bzw. schädliche Wirkungen der Vorfrucht zu vermeiden (Bsp. Ausfallraps), hat Nachwirkungen. All diese Faktoren lassen sich im konkreten Fall nur schwer fassen, beeinflussen sich teilweise gegenseitig und sind am aussagekräftigsten durch die vergleichende Betrachtung des Ertrages zu beschreiben.

Beim Anbau von Winterweizen können Fruchtfolge- und Vorfruchteffekte einen relevanten Einfluss auf das Auftreten von Wurzel- und Halmbasiserkrankungen, Blattfleckenkrankheiten (*Septoria tritici* und DTR) und Ährenfusariosen haben, die durch Pflanzenschutzmaßnahmen nicht vollständig zu kontrollieren sind. Deshalb gehen diese neben den Aspekten Stickstoffversorgung, Saatzeit und Bodenstruktur vorrangig in die Ertragswirkung ein.

Die günstigste Vorfruchtwirkung auf Winterweizen hatte im Mittel von 9 Jahren der Winterraps mit einem Mehrertrag gegenüber einem Stoppelweizen von 9 % und von 11 % gegenüber Weizendaueranbau (Abb. 4). Die Vorfrucht Zuckerrübe führte zu einem Minderertrag gegenüber der Rapsvorfrucht von ca. 6 % und unterschied sich damit nicht von der Vorfrucht Silomais. Der Ertragsvorteil des Rübenweizens so-

wie des Maisweizens gegenüber dem Stoppelweizen betrug nur noch 3 %. Unterschiede zwischen den drei Stoppelweizenvarianten nach den unterschiedlichen Blattfrüchten (Winterwaps, Silomais, Zuckerrübe) traten nicht auf, so dass Ertragseffekte nur in der unmittelbaren

Folgefrucht auftraten. Bei Zuckerrüben war der Ertrag nach Winterweizen und Silomais gleich, nach Erbsenvorfrucht jedoch um ca. 4 % höher, obwohl die N-Düngung vermindert war.

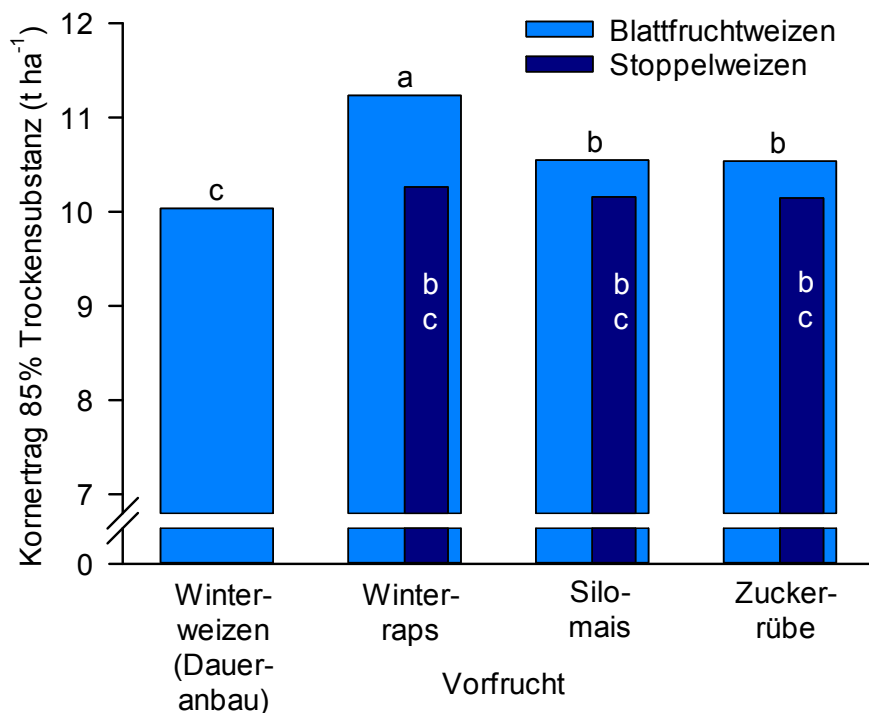


Abb. 4: Einfluss verschiedener Vorfrüchte auf den Kornertrag von Winterweizen im Systemversuch Fruchtfolge Harste. Die eingebetteten Säulen zeigen den Ertrag des Stoppelweizens der jeweiligen Fruchtfolge. Mittel 2008–2016.

## Literatur

- AG (Arbeitsgruppe) Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., Hannover
- Ahl C, Frede HG, Gäth S, Meyer B (1985): Böden aus Löss im Leinetalgraben und seiner Hochflächen-Umrandung. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 42: 359–434
- Fachgruppe Bodenkunde des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFB) (1997): Böden in Niedersachsen. Hrsg. Nieders. Landesamt für Bodenforschung, Hannover
- Hövermann J (1963): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 99 Göttingen. Geographische Landesaufnahme 1:200.000; Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Hrsg. Inst. f. Landeskunde, Bad Godesberg
- Jordan H (1984): Geologische Karte von Niedersachsen 1:25.000: Erläuterungen zu Blatt-Nr. 4325 Nörten-Hardenberg. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover
- Meyer RH (1987): Streifzüge durch die Erd- und Landschaftsgeschichte des Fleckens Bovenden. Hrsg. vom Flecken Bovenden, Verlag Erich Goltze GmbH & Co. KG, Göttingen
- Meynen E, Schmithüsen J (1954): Karte der Naturräumlichen Gliederung Deutschlands 1:1.000.000
- Müller U, Waldeck A (2011): Auswertungsmethoden im Bodenschutz – Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). GeoBerichte 19, Hannover (LBEG)
- Nagel U, Wunderlich HG (1976): Geologisches Blockbild der Umgebung von Göttingen. Kommissionsverlag Druckhaus Göttinger Tageblatt GmbH & Co., Göttingen

# B-03: Standortpotenziale von Waldstandorten auf einer „phäno“-glazialen Serie im Altpleistozän

Volker Stüber<sup>1</sup>, Karola Naeder<sup>2</sup>, Martin Jansen<sup>3</sup>



<sup>1</sup> Niedersächsisches Forstplanungsamt, Forstweg 1A, 38202 Wolfenbüttel

<sup>2</sup> Gesellschaft für Forstplanung, Osteraden 1A, 29331 Lachendorf

<sup>3</sup> Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen, Büsgen-Institut, Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

---

## Einleitung

Ungefähr 70 km nördlich von Göttingen verändert sich das Landschaftsbild grundsätzlich. Die durch oberflächennah anstehende, mesozoische Ablagerungen geprägte, sanft gewellte Schichtstufenlandschaft des Südniedersächsischen Berg- und Hügellands mit bewaldeten Höhenrücken und lössgeprägten Tallagen geht unvermittelt in eine weite, ziemlich ausgeräumte Ebene über, in der kaum Erhebungen sichtbar sind. Das Norddeutsche Tiefland ist geprägt durch eine im Vergleich zum Bergland viel stärkere Absenkung während des Mesozoikums, die zu größerer Mächtigkeit der Sedimente führte. Einklemmt zwischen der variszischen Deformationsfront im Süden und dem baltischen Kontinentalrand im Norden können die mesozoischen Schichten bis zu 10 km mächtig sein, während das mesozoische Deckgebirge im Bergland lediglich 1–2 km dick ist. Der Versatz des Muschelkalks zwischen Göttingen und dem Exkursionsgebiet beträgt beispielsweise ca. 700 m. Der Druck der mesozoischen Deckschichten verursachte eine starke Deformation der unterliegenden Salzgesteine der Zechsteinformationen und die Bildung von entsprechenden Salzstrukturen. Das dritte Charakteristikum dieser Landschaft sind die bis zu 200 m mächtigen glazialen Überprägungen mit Ab- und Um-

lagerungen eiszeitlicher Sedimente. Die Landschaftsgeschichte ist anschließend sehr stark von der ab ca. 1000 n. Chr. verbreiteten Heidewirtschaft geprägt, die über 800 Jahre die Menschen ernährte, aber auch die Landschaften und Böden stark veränderte. Die Waldgeschichte der heutigen Bestände ist daher, bis auf wenige Ausnahmen, nicht älter als 200–250 Jahre.

Auf unserer Exkursion zu einer glazialen Serie im Altpleistozän wollen wir verschiedene Themen vorstellen und diskutieren:

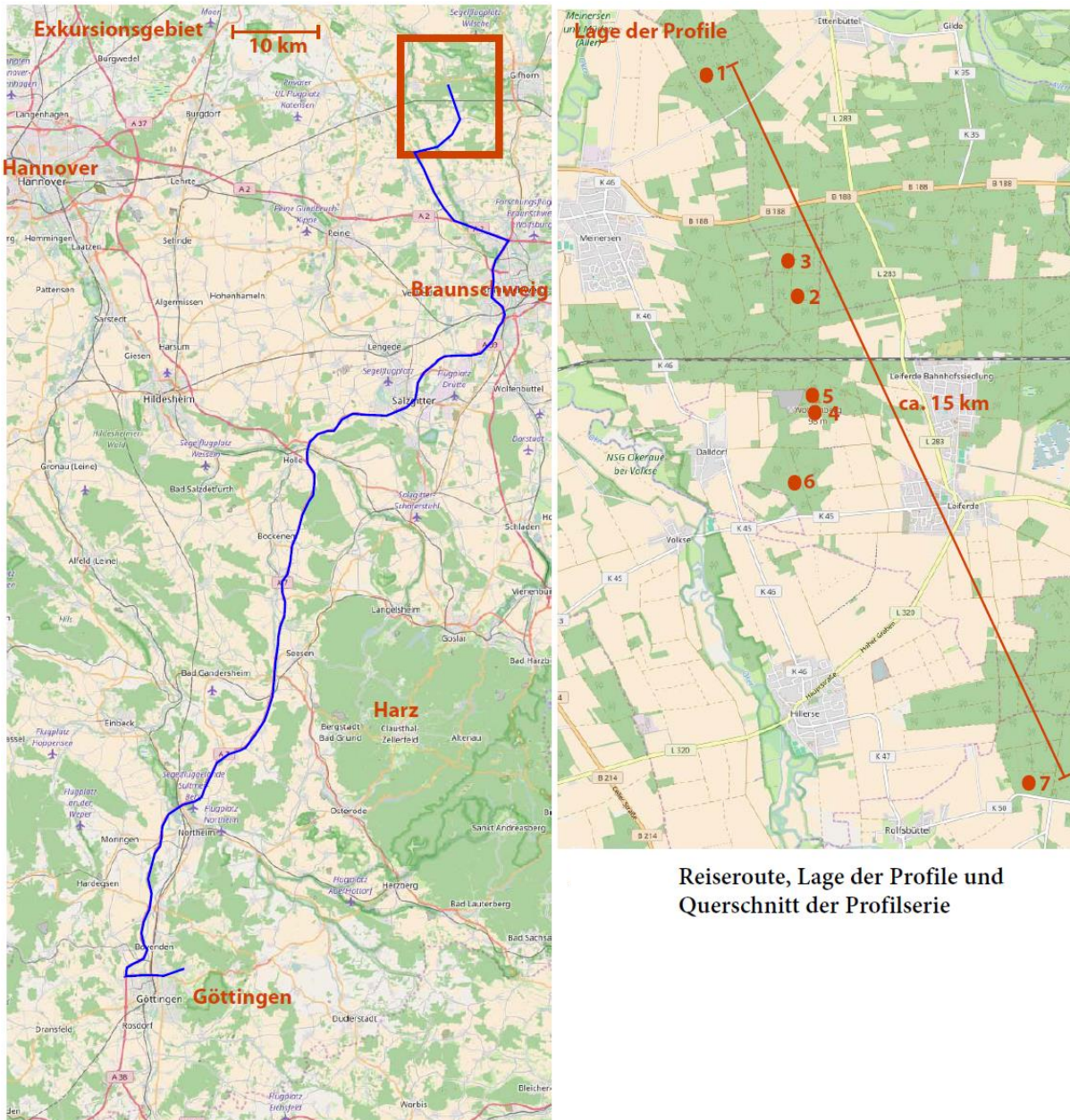
- Bodenentwicklungen auf unterschiedlichen quartären Ausgangssubstraten (Talsande – Endmoräne – Grundmoräne)
- Humusanreicherung im Oberboden von alten Heidepodsolen
- Nährstoff- und Wasserhaushalt von forstlichen Standortstypen im pleistozänen Tiefland
- Erschließung quartärer Standorte durch tiefreichende Wurzelsysteme
- Einfluss unterschiedlicher Laubholzbestockungen auf die aktuelle Vegetation
- den Maaßeler Lindenwald, ein naturschutzfachliches Kleinod.



## Reiseroute

Die Reiseroute führt uns von Göttingen aus zunächst im Leintalgraben und am Nordwestrand des Harzes entlang, bis wir im Raum Salzgitter

den Übergangsbereich zwischen Berg- und Tiefland erreichen. Danach passieren wir Braunschweig und überqueren den Mittellandkanal, um im Raum Leiferde zur Profilserie zu gelangen.



Reiseroute, Lage der Profile und Querschnitt der Profilserie

Abb. 1: Reiseroute und Lage der Profile

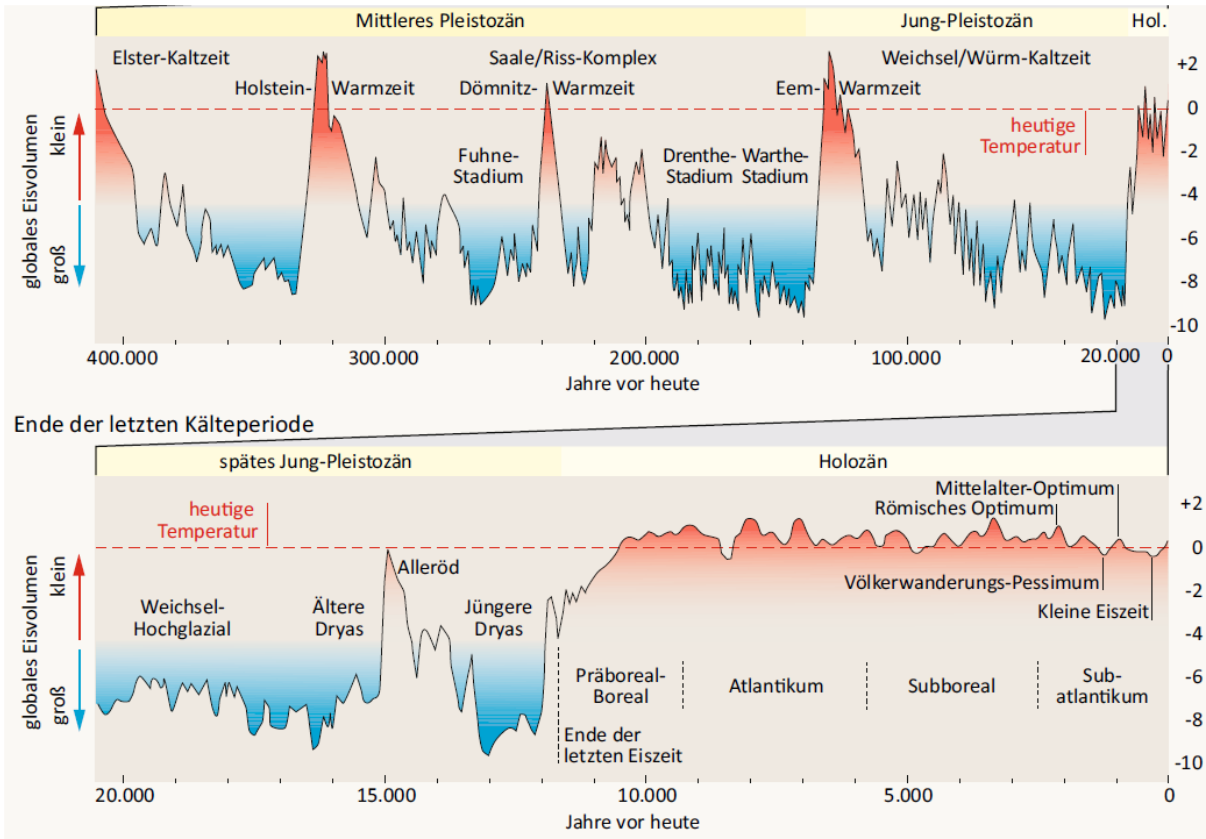
## Erdgeschichtlicher Hintergrund

Die Temperaturschwankungen, die bereits zum Ende des Tertiärs einsetzten, führten zum periodischen Anwachsen des globalen Eisvolumens. Mächtige Eisschilde und Gletscher kamen von Skandinavien aus südwärts und überfuhren den Bereich des Mitteleuropäischen Beckens. Spuren der Vereisungen finden sich in Norddeutschland lediglich von den letzten drei

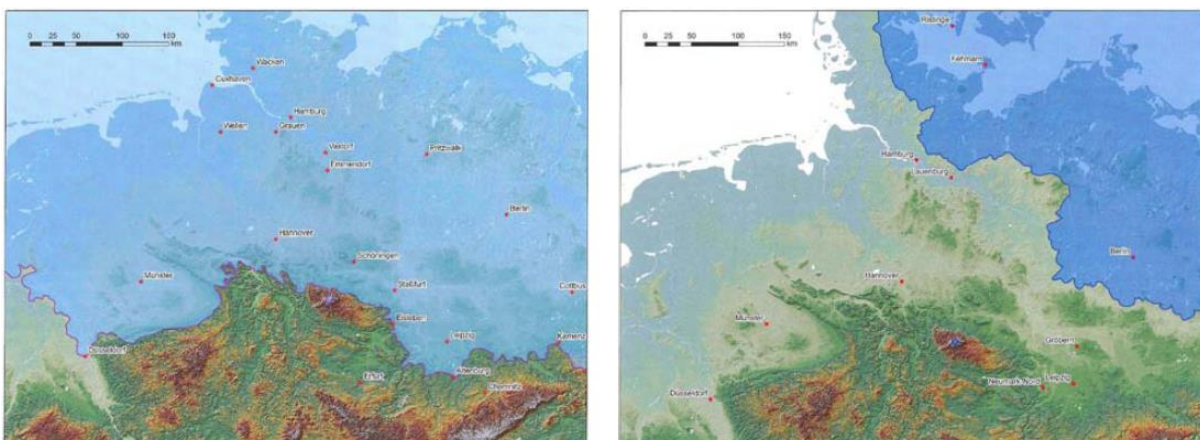
Vereisungen. Die weitesten Vorstöße der Elsterkaltzeit (ca. 385–335.000 Jahre) führten zu Vergletscherungen bis an den nördlichen Rand der Mittelgebirge. Auch die Nordsee und große Teile der Britischen Inseln waren zugefroren, und ein riesiger Eisstausee lag im Bereich des heutigen Ärmelkanals. Sedimente aus dieser Zeit finden sich lediglich im tieferen Untergrund.

Nach der ca. 16.000 Jahre andauernden Holstein-Warmzeit begann der Saale-Komplex mit einer ganzen Reihe verschiedener Eisvorstöße, die Sedimente auch bis an den Rand der Mittelgebirge brachten. Der weiteste Vorstoß ging im Leinetalgraben bis ca. 50 km nördlich von Göttingen (s. Abb. 3). Das Eis in der vor ca.

128.000 Jahren einsetzten Weichselvereisung kam in seiner weitesten Phase vor ca. 17.000 Jahren lediglich bis zur Elbe. Das Exkursionsgebiet war zu dieser Zeit Periglazialraum mit allen dazugehörigen Prozessen wie Permafrost, Wind- und Wassererosion und Umlagerungen der saalekaltzeitlichen Substrate.

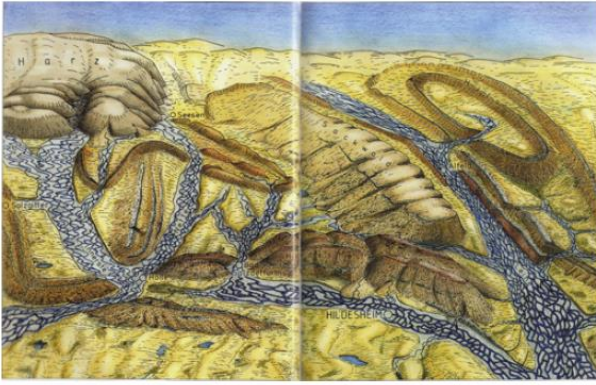


**Abb. 2:** Temperaturschwankungen und Vereisungsphasen, abgeleitet aus Sauerstoffisotopendaten ( $\delta^{18}\text{O}$ ) in Fossilien und Messungen in Eisbohrkernen der letzten 400.000 Jahre (Meschede 2015, veränd.)



**Abb. 3:** Die maximale Ausdehnung der Saale-Vereisung in Norddeutschland vor ca. 245.000 Jahren (links) und der Weichsel-Vereisung vor ca. 17.000 Jahren (rechts) (Ehlers 2011)

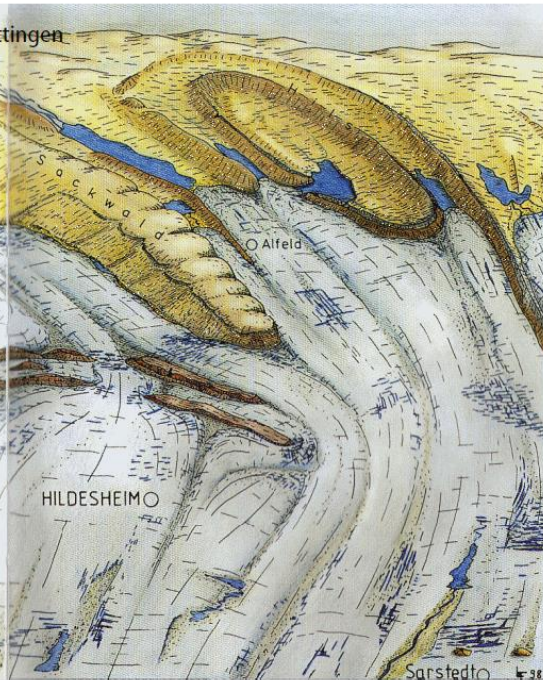
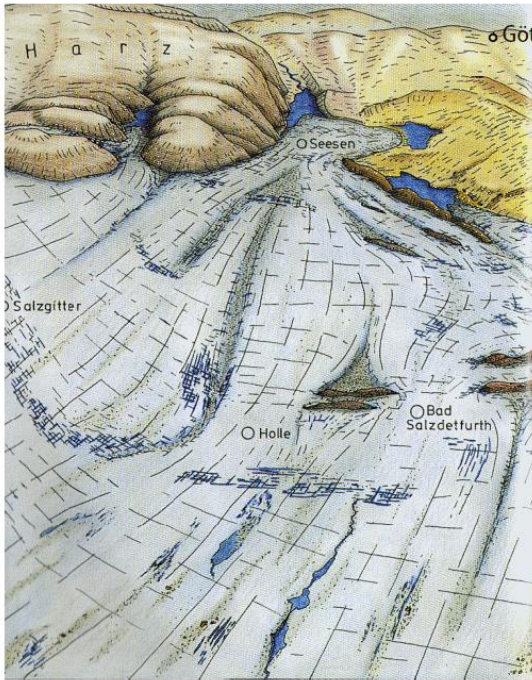




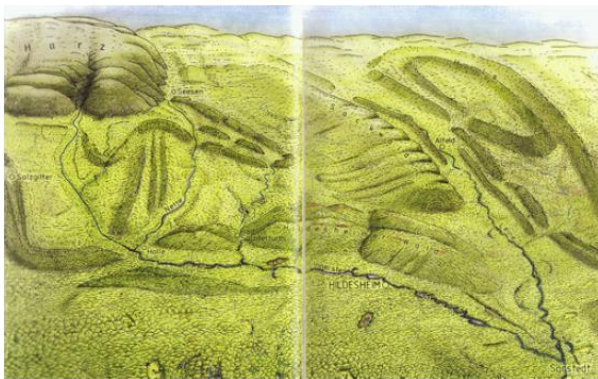
Mittelterassen-Zeit (Frühes Drenthe-Stadium Saale-Kaltzeit: 280 - 250.000 Jahre). Die Landschaft war aufgrund der niedrigen Temperaturen vegetationsarm. Vereinzelt herrschte eine Tundra vor. Der Boden war gefroren, an verschiedenen Stellen hatten sich Eiskeilnetze gebildet. Die Flüsse zeigen das typische Bild von verwilderten Flüssen. Sie lagerten in der ganzen Talbreite Kies um.



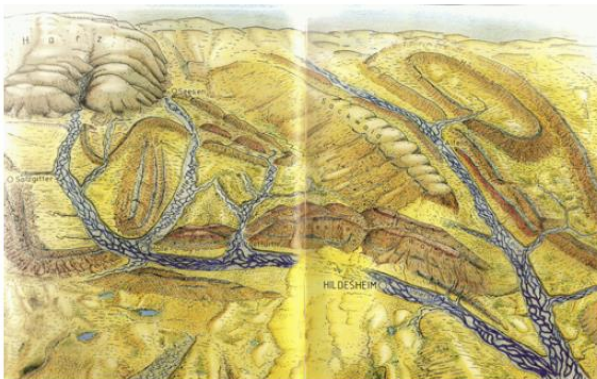
Vorstoss des Gletschers (Drenthe-Stadium der Saale Kaltzeit, vor ca. 250.000 Jahren). Von N und NO dehnte sich das Gletschereis aus. An einzelnen Erhebungen wurde es kurzfristig aufgehalten, bis auch diese Hindernisse überfahren wurden. Die von S zufließenden Flüsse wurden vor dem Eis aufgestaut, in den Flusstälern entstanden kurzfristig Eisstauseen.



Maximale Ausdehnung des Gletschers (Drenthe Stadium der Saale Kaltzeit, vor etwa 245.000 Jahren). Das Eis erreichte bei seiner maximalen Ausdehnung den Harzrand und stieß in den Tälern des Niedersächsischen Berglandes weit nach Süden vor. Seesen lag unter dem Eis, im Leinetal reichte das Eis bis Freden südlich von Alfeld. Hildesheim wurde von einer etwa 150 bis 200 m mächtigen Eisschicht bedeckt. Die oberen Gipfel des Hildesheimer Waldes schauten als "Nunatak" aus dem Eis heraus und wurden von Eismassen umflossen, in den Tälern bildeten sich vor der Eisfront Eisstauseen, so im Innerstetal, südlich und westlich von Seesen und im Leinetal. In den Eismassen bildeten sich über Unebenheiten im Untergrund Gletscherspalten. Die Gletscher brachten vereinzelt große Findlinge aus Skandinavien mit. Zum Gletscherrand hin sammelte sich auf dem Eis durch zunehmendes Abtauen der Schutt an, der im Eis eingefroren war. Daher wird das Eis zum Rand hin grauer.



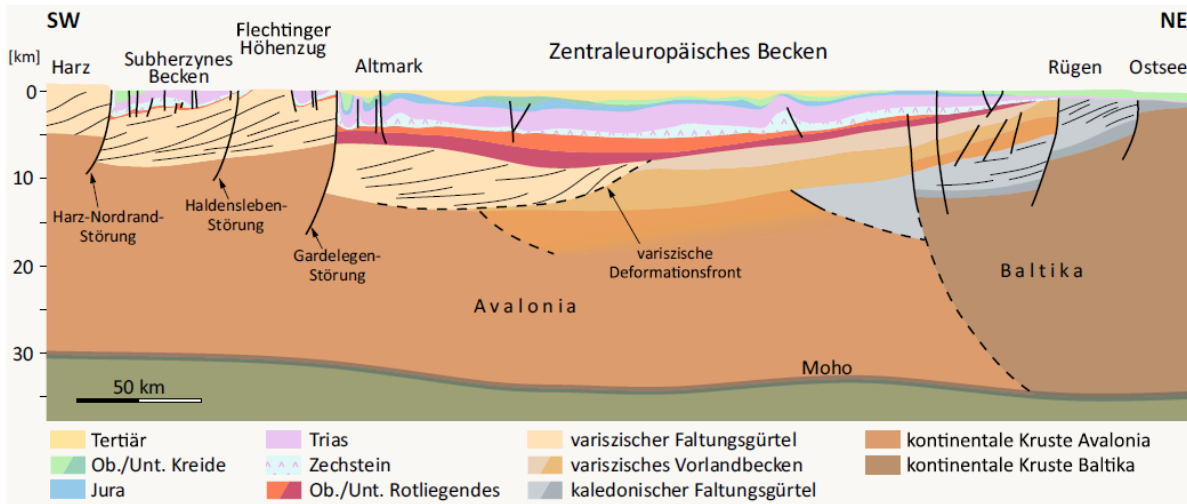
Eem-Warmzeit (ca. 127.000 - 115.000 vor heute). Nach der Saale-Kaltzeit kam es zur Wiedererwärmung, bei der Temperaturen vermutlich wenige Grade über der heutigen lagen. Es breiteten sich Laubwälder aus, in denen es vermutlich auch einige grasbewachsene Lichtungen gab. Außerdem bildeten sich auf wasserundurchlässigem Untergrund Moore. Die Flüsse mäandrierten durch breite Talauen, die vollständig bewaldet waren.



Höhepunkt der Weichsel-Kaltzeit (vor ca. 20.000 Jahren). In der letzten Kaltzeit ist Niedersachsen nicht mehr vom Eis erreicht worden. Die Temperaturen lagen im Jahresdurchschnitt unter 0°C. Es herrschten periglaziale Bedingungen. Die Vegetation war auf eine lückenhafte Tundra beschränkt, die Flüsse waren verwildert und schütteten Niederterassenkies auf. Es bildeten sich Eiskeilnetze, und es kam schon bei geringer Hangneigung zu Bodenfließen. In der fast vegetationslosen Landschaft blies der Wind Staub auf und trieb ihn in großen Staubwolken durch Land (Lößablagerung).

Abb. 4: Südniedersachsen im Eiszeitalter (Feldmann 1999)





**Abb. 5:** Querprofil durch das Zentraleuropäische Becken vom Harz bis in die Ostsee (stark überhöht) (Meschede 2015)

Der tiefere Untergrund des Norddeutschen Beckens als Teil des Zentraleuropäischen Beckens bildet bis ca. 30 km Tiefe die kontinentale Kruste Avalonias, welche im ausgehenden Paläozoikum nordwärts driftete und mit dem aus Baltica und Laurentia gebildeten Kontinent Laurussia kollidierte (Abb. 5). Die dabei aufgefalteten devonischen und karbonischen Sedimentgesteine treten im Harz und im Flechtinger Höhenzug als Reste der Varisziden an die Oberfläche. Im tieferen Untergrund reicht die Deformationsfront noch bis in die Altmark. Davor liegt das variszische Vorlandbecken mit ungefaltetem Devon und Karbon. Sowohl das subherzynische Becken als auch das Zentraleuropäische Becken sind mit mehreren Kilometer mächtigen mesozoischen Sedimenten gefüllt, die wiederum später von tertiären und quartären Ablagerungen überdeckt wurden.

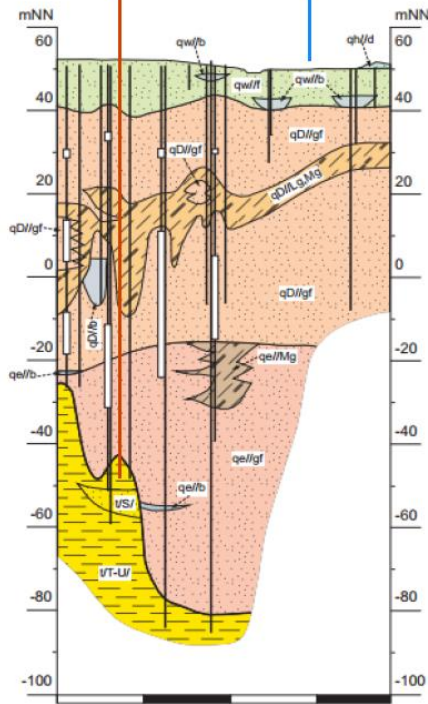
Die Schnittbilder S1–S3 zeigen die obersten ca. 100–150 m der geologischen Ausgangssubstrate. Sie wurden aus geologischen und hydrogeologischen Bohrungen zusammengesetzt. Die Schnitte S1 und S2 schneiden die Profilcatena senkrecht in verschiedenen Abschnitten, während der Querschnitt S3 in ca. 10 km Entfernung parallel verläuft.

Der Schnitt S1 liegt im Bereich zwischen Profil 1 und 3. Dort befinden wir uns kurz vor dem Zusammenfluss von Aller und Oker. Oberflächennah liegen hier fluviatile Sande der Weichselkaltzeit an, die mit in Wasserstillstandphasen abgelagerten Beckentonen durchsetzt sind. Stellenweise tragen die Sande noch holozän abgelagerte Flugsanddecken. Unter den jüngeren pleistozänen Sanden finden sich mächtige drenthestadial abgelagerte Sande und Kiese, die von einem Geschiebelehm-/mergelband durchzogen sind. Dies könnten Grundmoränen-substrate sein, die zur ursprünglichen glazialen Serie gehörten, zu der auch die Endmoränenstaffel mit dem Wohlenberg gehörte (Profil 4+5).

Die ältesten quartären Sedimente werden aus glazifluviatil verlagerten Sanden der Elsterkaltzeit mit einigen Mergelresten und Bändertonen aus der Elsterkaltzeit gebildet. Die Tiefenlage der Quartärgrenze sinkt in diesem Querschnitt innerhalb von 3 km um ca. 55 m; dies deutet eine elsterzeitlich ausgeschürfte und mit quartären Substraten verfüllte Rinne an.

Der Schnitt S2 liegt südlich des Wohlenbergs im Bereich einer älteren drenthestadialen Grundmoräne (Rehburger Phase), die auf der Höhe der Profilsrie mehrere 10 m mächtig sein kann.

**Schnitt S1 Profilserie Aller**



- qh//d Dünen, Holozän
- qw//f fluviatiler Sand, Weichsel
- qw//b Beckenablagerung, Weichsel
- qD//Lg,Mg Geschiebelehm, -mergel, Drenthe
- qD//b Beckenschluff, Drenthe
- qD//gf glazifluviatiler Sand/Kies, Drenthe
- qe//b Beckenablagerung, Elster
- qe//Mg Geschiebemergel, Elster
- qe//gf glazifluviatiler Sand/Kies, Elster
- t/S/ Sand, Tertiär
- t/T-U/ Ton und Schluff, Tertiär
- Quartärbasis



- qh//Lf Auenlehm, Holozän
- qw//f fluviatiler Sand, Weichsel
- qD//Mg Geschiebemergel, Drenthe
- qD//gf glazifluviatiler Sand/Kies, Drenthe
- t/S/ Sand, Tertiär
- t/T-U/ Ton und Schluff, Tertiär
- kru/^t/ Tonstein, Unterkreide
- Quartärbasis

**Schnitt S2**

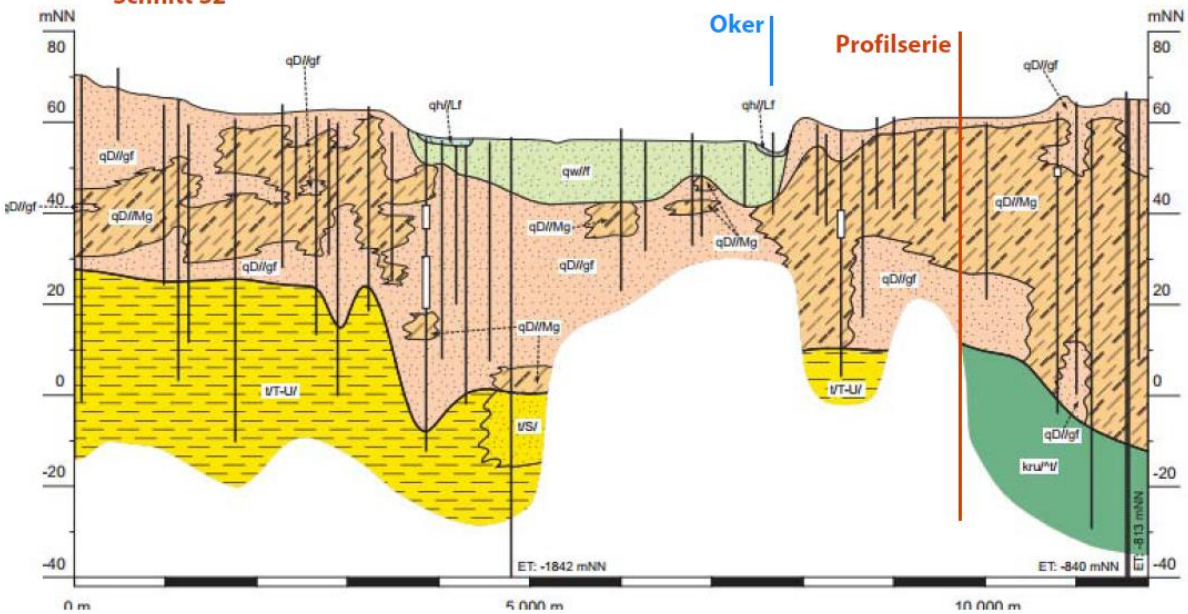


Abb. 6: Geologische Schnittbilder im Exkursionsgebiet (<http://nibis.lbeg.de/cardomap3/>)



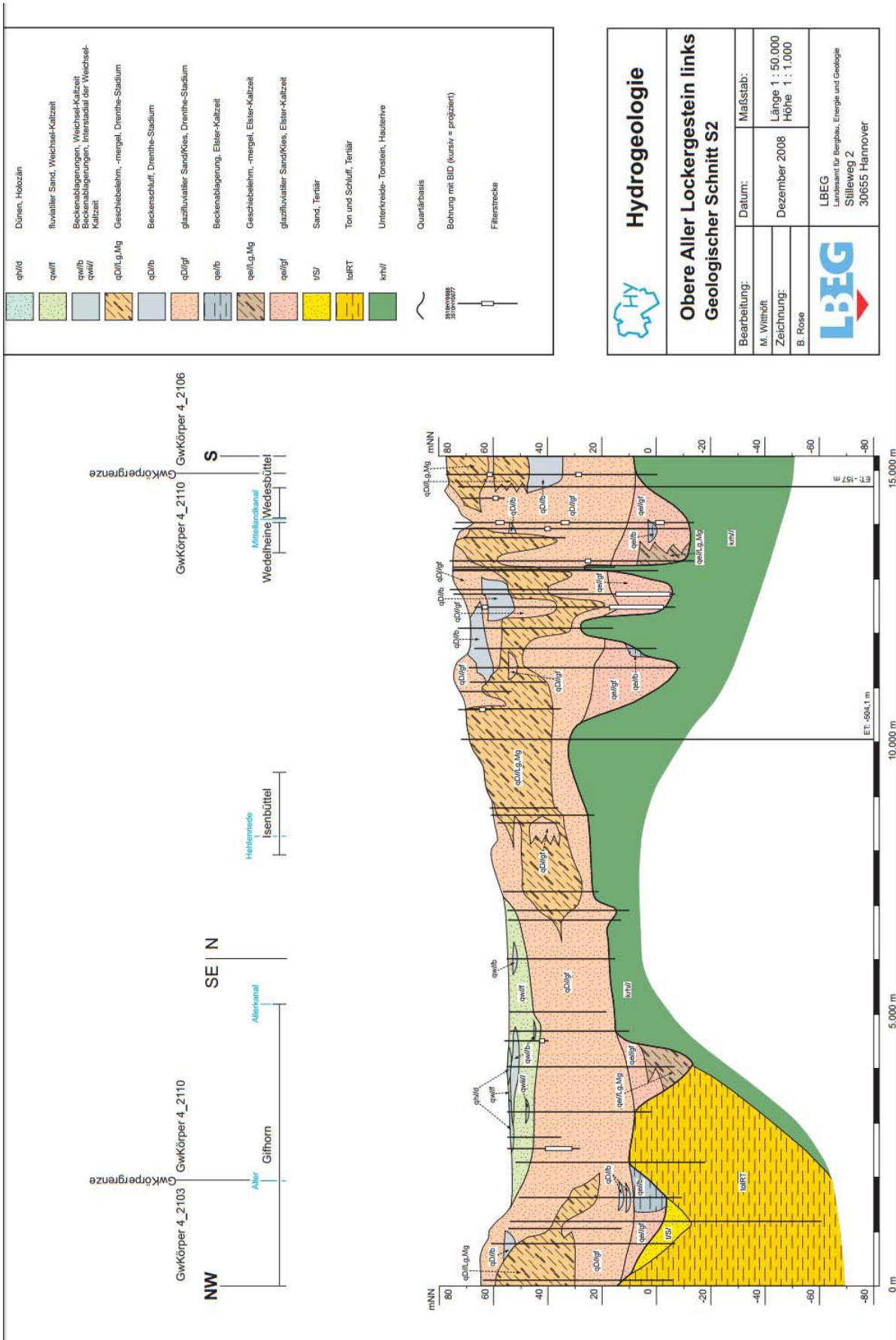
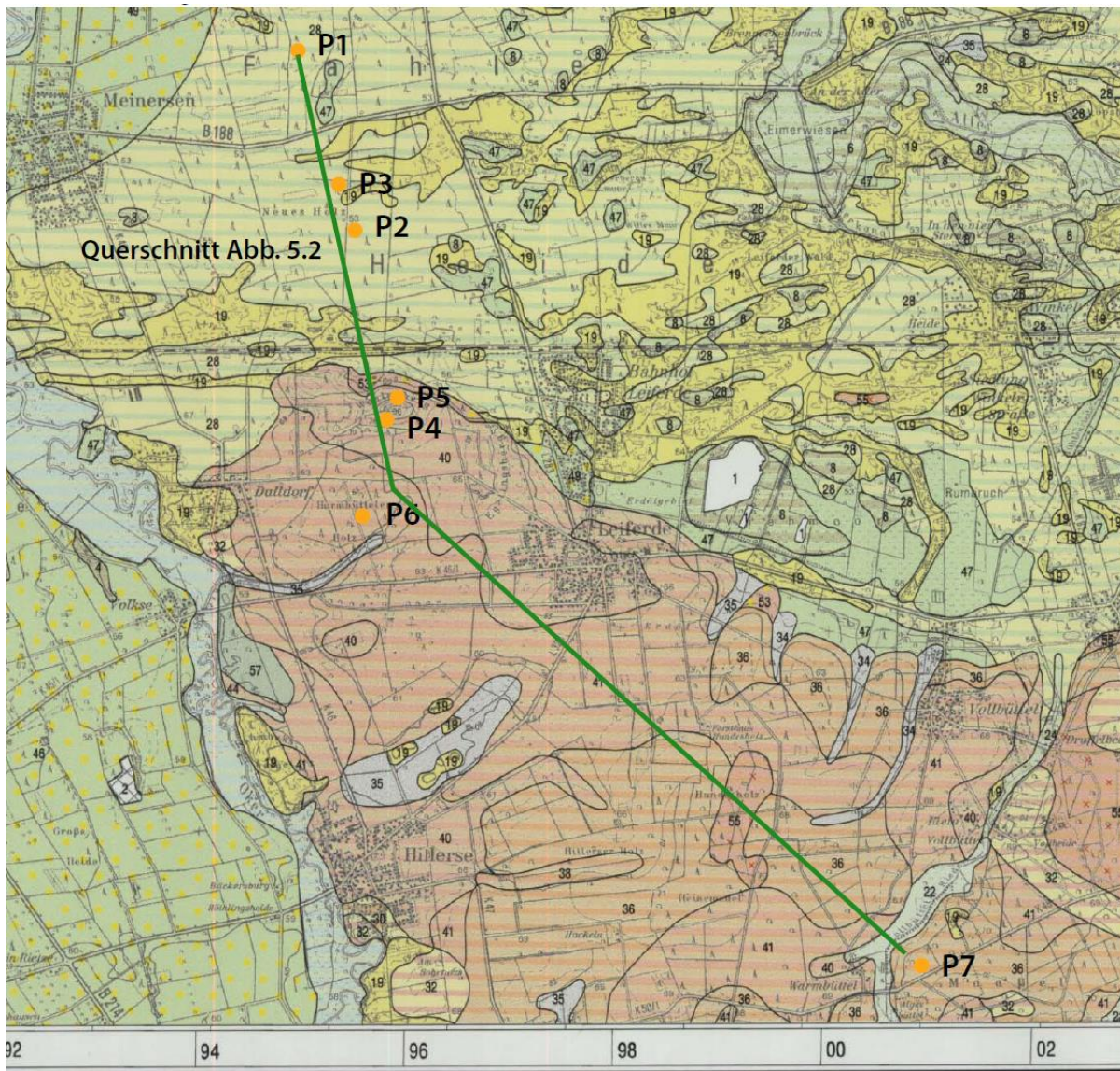


Abb. 7: Geologische Schnittbilder im Exkursionsgebiet ff. (<http://nibis.lbeg.de/cardomap3/>)





Legende			
	Stratigr.	Petrogr.	Genese
19	qh	fS-mS	d
22	qh	U	f, Lf
28	qw-qh, qw	fS-mS fS-mS	Fls f
35	qw-qh	U-S	p-f, z
36	qw qD	S U-S	Gds, zt (xp) Lg, un(zt-Mg)
40	qw qD	S G,S	Gds, zt (xp) gf
41	qw qD qD	S G,S U-S	Gds, zt (xp) gf Lg, un(zt-Mg)
53	qw-qh qD	fS-mS U	luk(Fls) gf

Abkürzungen		BÜK50, Blatt 3528 Gifhorn LBEG
Stratigraphie		
qD	Drenthe-Stadium	
qD <sub>2</sub>	jüngeres Drenthe-Stadium	
qh	Holozän	
qh(y)	künstlicher Auftrag	
qM	Mittelterrasse	
qw	Weichsel-Kaltzeit	
Petrographie		
fS	Feinsand	
G	Kies	
mS	Mittelsand	
U	Schluff	
S	Sand	
Genese		
d	Dünen	
f	fluviatil	
Fls, (luk(Fls))	Flugsand (lückenhaft)	
Gds,zt(xp)	Geschiebedecksand, zum Teil Steinsohle	
gf	glazifluviatil	
Lf	Auelehm	
Lg, un(zt-Mg)	Geschiebelehm, unten zum Teil Geschiebemergel	

Abb. 8: Geologische Karte „Glaziale Serie“

Die Grundmoräne liegt nicht mehr in der ursprünglichen Lagerung, wie die Vermischung mit den glazifluviatilen, drenthestadialen Sedimenten zeigt. Die in der Abbildung gezeigte

Überlagerung der Grundmoräne mit geringmächtigen glazifluviatilen Sedimenten aus der Drenthekaltzeit fehlt jedoch in den Profilen 6 und 7. Dort wird der Geschiebelehm/-mergel

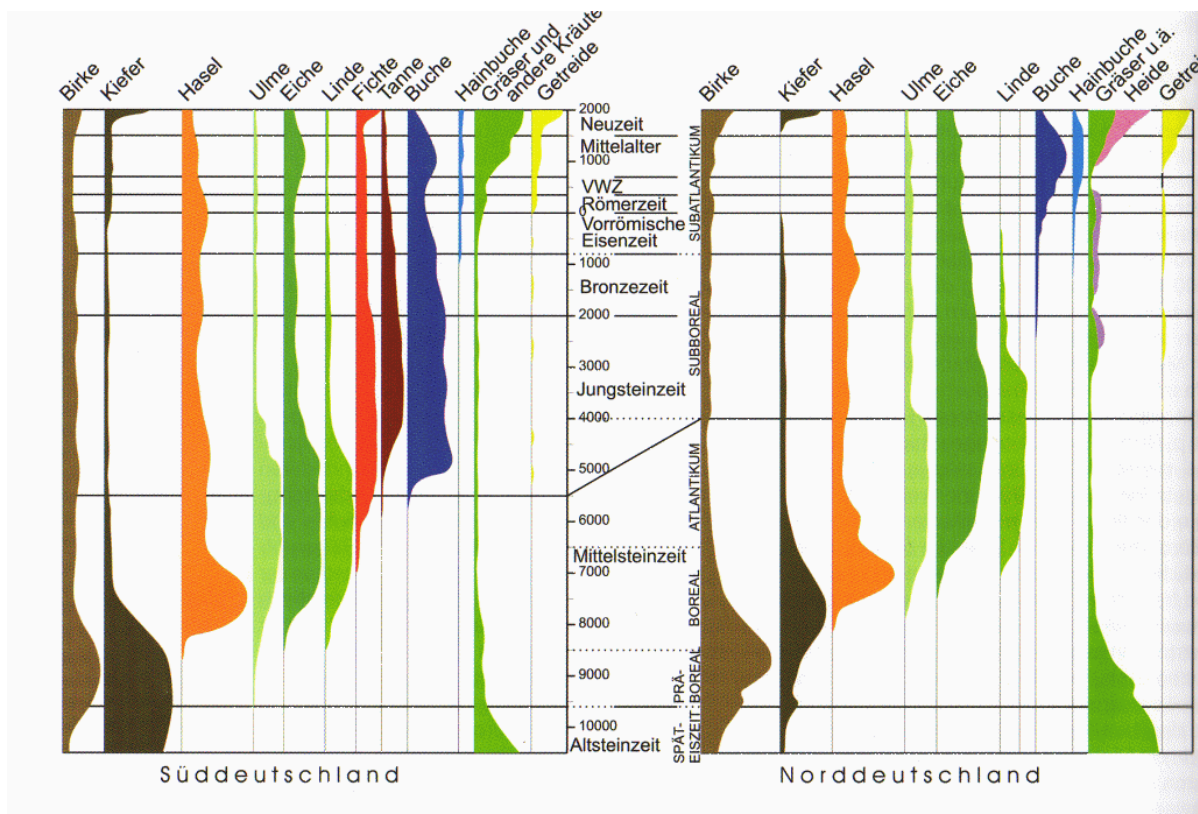


von weichselzeitigen Geschiebedecksanden überlagert. Das Tertiär fehlt im südlichen Bereich der Catena, ebenso wie elsterzeitliche Ablagerungen. Die ältere Drenthe liegt konkordant auf der mesozoischen Unterkreide auf, die in ca. 50–70 m ansteht.

Dies zeigt auch der Schnitt S3, der ca. 10 km östlich der Profilersie verläuft. Weichselzeitliche Ablagerungen größerer Mächtigkeit finden sich lediglich im Bereich des Allerurstromtales. Es dominieren glazifluviale Sedimente der Drenthezeit, in die größere Bereiche Grundmoränenmaterials eingelagert sind. Darunter finden sich stellenweise elsterzeitlich Rinnen, die entweder im Norden ins liegende Tertiär oder im Süden bei fehlendem Tertiär in die Unterkreide eingeschnitten sind.

Die nacheiszeitliche Vegetationsentwicklung zeigt die insgesamt gegenüber Süddeutschland verzögerte Rückkehr der verschiedenen Baumarten.

Das Boreal wird geprägt von Birke und Kiefer, bevor im Übergang zum Atlantikum bei steigenden Temperaturen die Hasel in den lichten Birken-Kiefern-Wäldern dominierend wird. Im feucht-warmen Atlantikum entstehen in Norddeutschland Eichen-Mischwälder, die die Birken und Kiefern auf Sonderstandorte wie Moore verdrängen. Neben den Laubböhlzern, insbesondere Eichen, Ulmen und in den wärmeren Phasen auch die Linde, entstehen insbesondere in Nordwestdeutschland zahlreiche Moore, auf denen sich die Erle massenhaft ausbreiten kann (Härdtle et al. 2008). Während die Rotbuche in Süddeutschland auch schon im Atlantikum erste Verbreitung findet, dauert es noch ca. 3.000 Jahre, bevor sie auch Norddeutschland erreicht. Sie dominiert erst im Subatlantikum in größerem Umfang die Wälder Norddeutschlands, in einer Zeit, in der auch schon vermehrt der Einfluss des Menschen in den Pollendogrammen sichtbar wird.



**Abb. 9:** Vergleich der nacheiszeitlichen Vegetationsentwicklung in Süd- und Norddeutschland (Bittmann 2005)

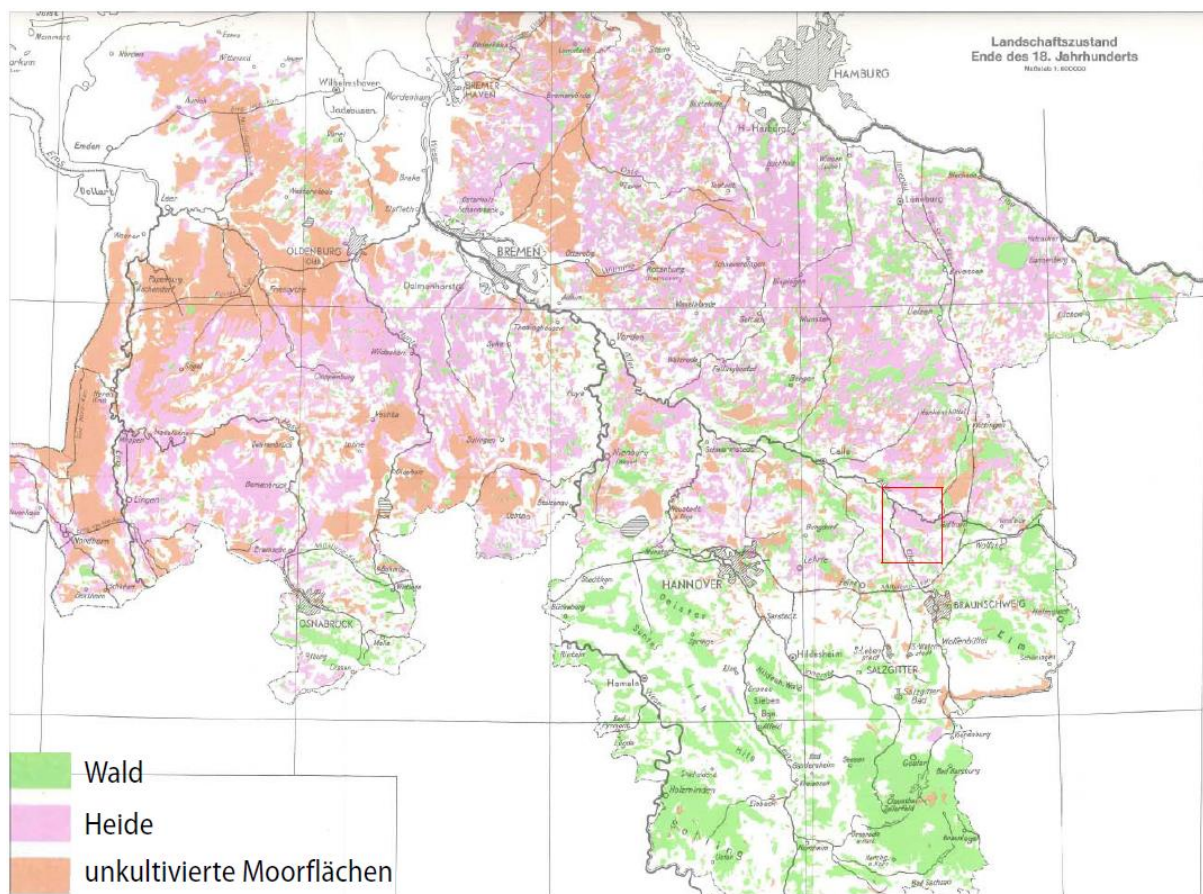
Ab der Bronzezeit (ca. 1500 v. Chr.) tauchen in den Mooren in Norddeutschland deutlich erhöhte Pollenanteile von Gräsern und Zwergstrauchheiden auf (Völksen 1984). Die Besiedlung des Tieflands war zu dieser Zeit schon weit

fortgeschritten, wie eine große Anzahl von Gräbern und anderen archäologischen Fundstücken zeigt. In der direkten Umgebung der Siedlungen war der Einfluss auf den Wald groß, al-

lerdings waren die Flächenwechsel, auch bedingt durch die schlechten Böden, relativ häufig, sodass es zur Waldregeneration kam.

Das änderte sich mit der Einführung der Dreifelder-Wirtschaft ab dem 9. Jh. Der menschliche Einfluss auf die Bodenentwicklungen in Norddeutschland nahm ab diesem Zeitpunkt deutlich zu. Die großen Rodungsperioden waren auf den nährstoffschwachen altpleistozänen Standorten mit der Einführung der Heidewirtschaft ab 1000 n.Chr. verbunden. Die Nutzung als Schafweide und das regelmäßige Abplaggen der Zwergstrauchheiden führten zur Verstepigung der Heidefläche und zu einer lang anhaltenden Nährstoffumverteilung, die die Lebensgrundlage der Menschen sicherte. Für die

Bewirtschaftung eines ha Ackerlandes waren die regelmäßige Mahd und das Abplaggen von 10–50 ha Heide notwendig, je nach Nährstoffausstattung und Wuchskraft der Heide. Die Nährstoffentzüge durch Schafweide und Biomasseentnahme, der Humusverlust sowie die versauernden Einflüsse der Callunaexudate verursachten starke anthropogen induzierte Versauerungen des Bodens, die zur Entwicklung von Heidepodsolen auf den Heideflächen führten. Der Waldanteil ging aufgrund des großen Holzbedarfs als Baustoff sowie für die Saline in Lüneburg und der mangelnden Regeneration der Wälder bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts auf ca. 10–20 % in Norddeutschland zurück. Entsprechend nahmen die Heideflächen zu.



**Abb. 10:** Landschaftszustand in Niedersachsen zum Ende des 18. Jh. (Völksen 1979)

Der Zustand der vorgestellten Böden im 17. und 18. Jahrhundert war bei den Profile 1–5 geprägt durch die Heidenutzung. Profil 1 im Gerstenbütteler Holz liegt in einer Verebnungslage im Dreieck Oker–Aller, einer der Karte nach weitge-

hend von größerem Pflanzenbewuchs ausgeräumten Gegend zwischen den Ortschaften Etenbüttel und Meinersen. Im Bereich der Profile 2 und 3 ist die Flächennutzung ähnlich, der Ortsname „Fahle Heide“ bezeugt den trostlosen

Charakter der Gegend. In unmittelbarer Umgebung der beiden Profile sind in der Karte von 1690 Dünen verzeichnet, die holozänen Ursprungs sind.

Auch der Wohlenberg, wo sich die Profile 4+5 befinden, ist auf den Karten von 1670 und 1784 frei von höheren Pflanzen und war mit seinen tieflandstattlichen 98 Metern wahrscheinlich viel weiter sichtbar als heute. Südlich vom Wohlenberg findet sich eine Altholzinsel mit Laubwald, wahrscheinlich ein ehemaliger Eichenmittelwald, in dem Profil 6 liegt. Da auch heute noch alte Eichen in dem Bestand stehen, ist es sehr wahrscheinlich, dass der Bestand in den letzten

300 Jahren nie vollständig entwaldet war. Allerdings war der Waldzustand der Mittelwälder im 19. Jahrhundert desolat, mit geringen Vorräten und schlechten Qualitäten. Der Bestand im Harmbütteler Holz wurde später mit Buche unterpflanzt, sodass wir heute einen Eichen-Buchenbestand finden, der zukünftig wegen der größeren Wüchsigkeit der Buche in einen reinen Buchenbestand übergeht. Das Profil 7 liegt in einem Bestand mit einer ähnlichen Waldgeschichte auf ähnlichem Ausgangsmaterial. Allerdings wurde dieser alte Eichenwald nicht mit Buche, sondern mit Linde und Hainbuche unterbaut, sodass wir heute einen Eichen-Linden-Hainbuchenwald dort vorfinden, der auch wegen seiner Seltenheit unter Naturschutz steht.



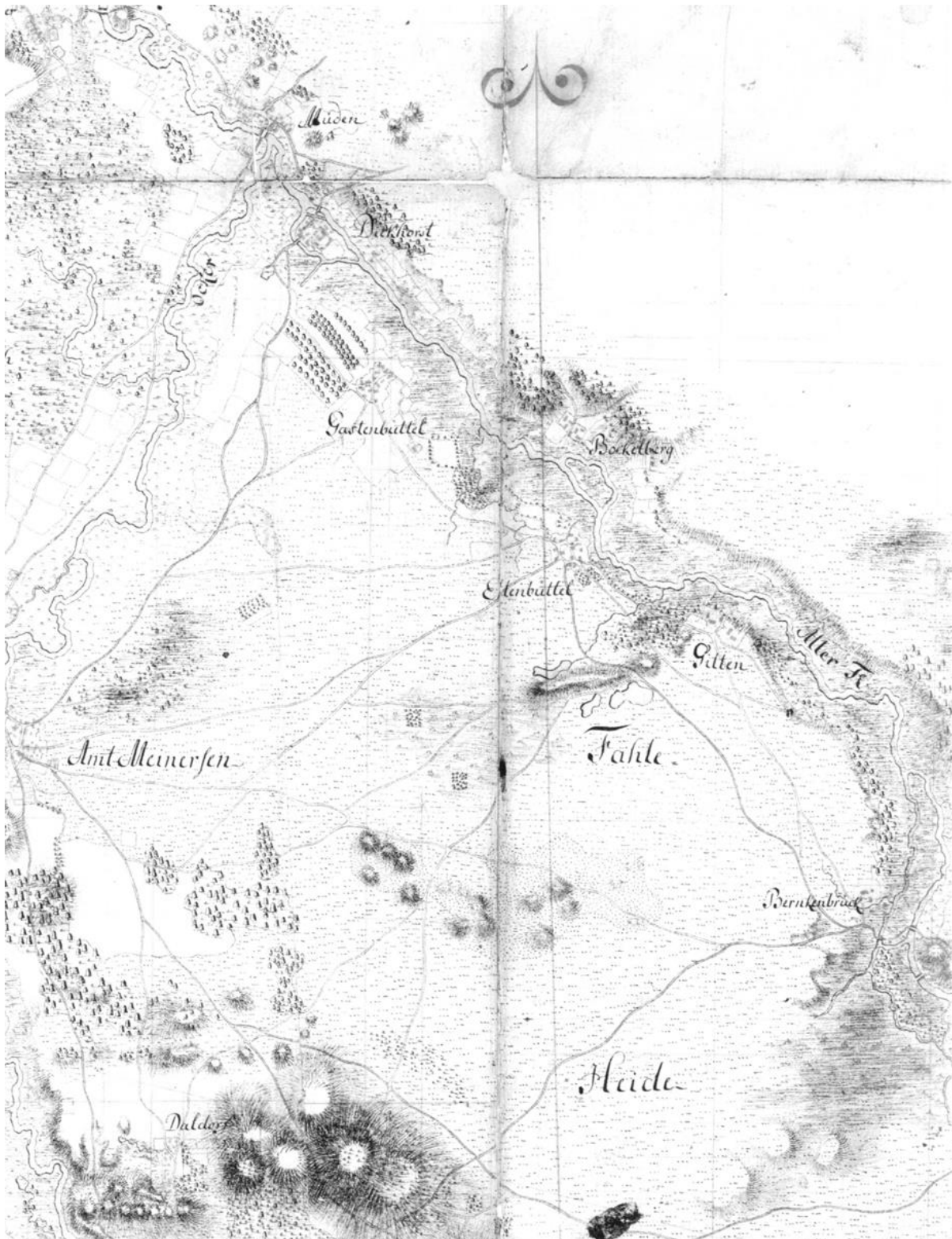


Abb. 11: Historische Karte aus 1670 mit Lage der nördlichen Profile 1-5



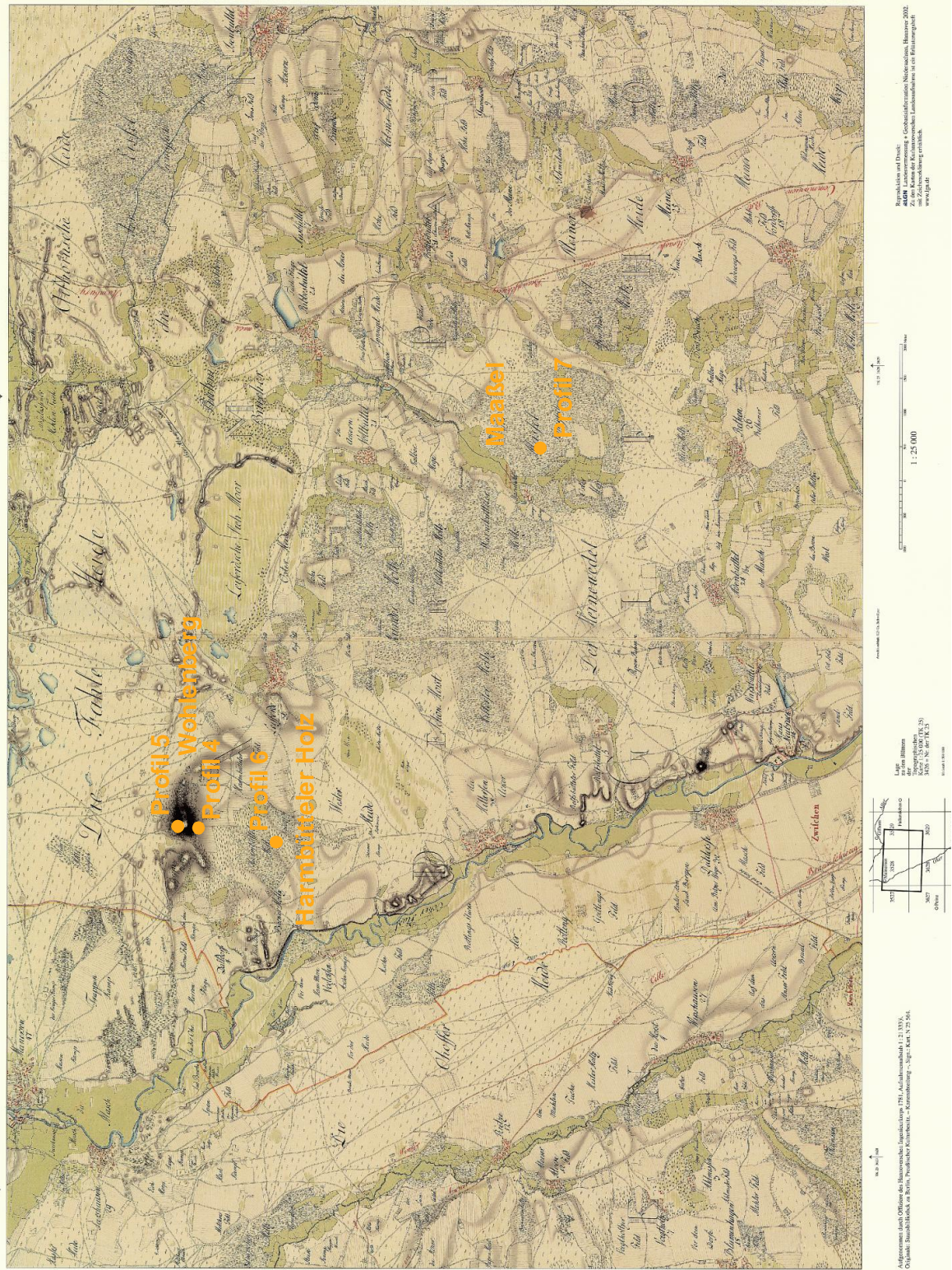


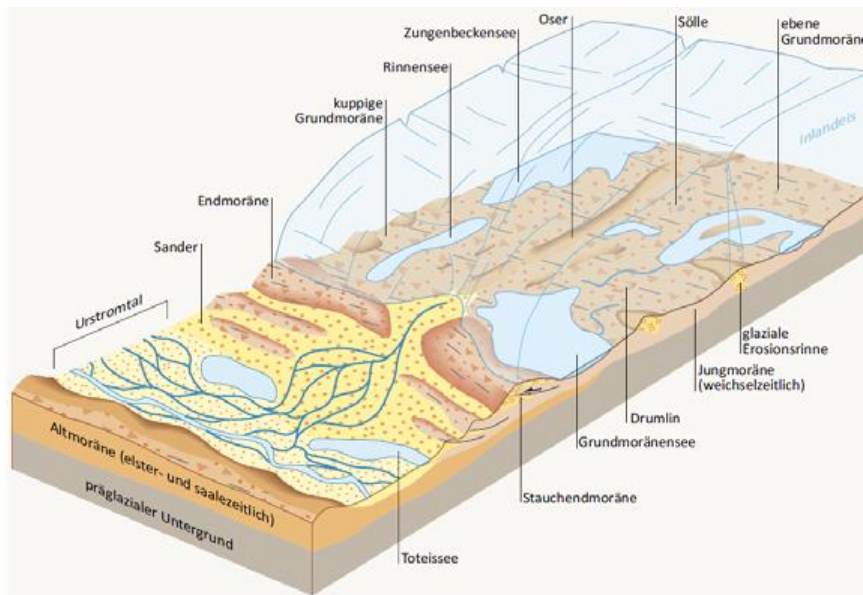
Abb. 12: Kurhannoversche Landesaufnahme Blatt 119 Meinersen (LGN)



## Bodenprofile Glaziale Serie

Bei der „Glazialen Serie“ im Altpleistozän der Südheide ist zu beachten, dass es sich zwar um eine Abfolge wie in einer glazialen Serie handelt, diese Abfolge aber nicht als solche in einem Zug so abgelagert wurde (s. Abb. 14). Die Endmoräne des Wohlenbergs wurde bei einem saalezeitlichen Vorstoß, der von Nordosten kam, als Stauchmoräne abgelagert. Die ursprüngliche nördlich anschließende Grundmo-

räne wurde später ausgeräumt und durch jüngere weichselzeitliche Sanderflächen ersetzt. Auch die Grundmoränen südlich des Wohlenbergs sind durch jüngere Umlagerungen entstanden, wie die geologischen Schnitte zeigen. Es wird also bei der altpleistozänen glazialen Serie im Raum Leiferde so getan, als wäre der Eisvorstoß von Süden gekommen und hätte die Substrate idealtypisch abgelagert.



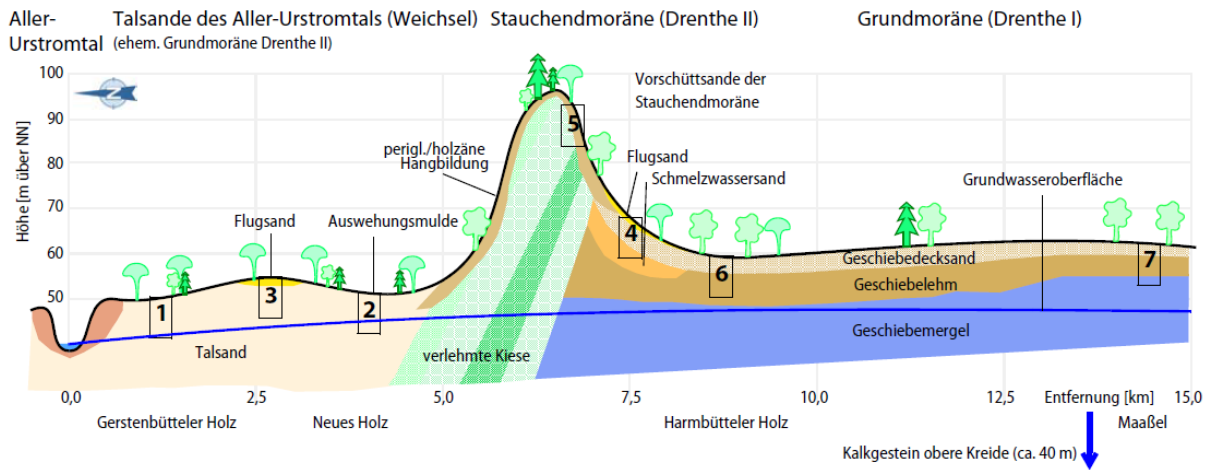
**Abb. 13:** Idealtypische Abfolge einer Glazialen Serie mit Grundmoräne, Endmoräne, Sander und Urstromtal (Meschede 2015)

Am ersten Exkursionspunkt im Norden beginnt die Serie mit den Talsanden des Aller-Oker-Urstromtals. Das Grundwasser steht in einer Tiefe von 1,5–3 Meter unter GOF an. Der Boden ist geprägt durch die Niederterrasse des Urstromtals, dessen Formung im letzten Spätglazial erfolgte. Die Mächtigkeit der Talsande beträgt hier zwischen 10 und 12 Meter. In Auswehungsmulden des Spätglazial finden sich neben grundwassernahen Standorten auch Flachmoore. Neben den Auswehungsmulden (Profil 2) finden sich pleistozäne und holozäne Flugsanddecken (Dünen) mit Höhen zwischen 1 und 5 Metern (Profil 3).

Aus der Umgebung herausgehoben ist der Wohlenberg als Rest einer Endmoräne aus dem

jüngeren Drenthe-Stadium, mit Bodenentwicklungen auf verlehmteten Kiesen und Sanden (Exkursionspunkte 4+5). Die Geschiebelehme der Grundmoräne sind im Harmbütteler Holz (Exkursionspunkt 6) erschlossen und nur von geringmächtigen Geschiebedecksanden überlagert.

Angetragen wurden diese geologischen Substrate während eines älteren und weiten Vorstoßes der Saale-Vereisung. Durch die nachfolgenden Eisvorstöße und die langfristig vegetationsfreien Bedingungen im weiteren Glazial ist die Reliefenergie, typisch für das Altpleistozän, deutlich herabgesetzt.



**Abb. 14:** „Glazialserie“ im Altpleistozän bei Leiferde (stark überhöht)

## Profil 1: Gerstenbütteler Holz

Titeldaten													
Koord. R		Forstamt	(ehem. Unterlüss)	Rfö	(ehem. Ringelah)	Datum	04.05.06						
Koord. L		Waldbaugreg.	6 / SH	Abteilung	(ehem. 2414a)	Sonstiges							
Kartierer	Stüber/Naeder	Forstort	Gerstenbütteler Holz	Höhe ü. NN	55	Archiv Nr.	GSE-1						
Relief													
Relief:	Ebene	Neigung	N0	Exposition									
Humusprofil													
Horizont	Tiefe	Substanz	Gefüge	Durchwurzel.	Humusform								
L-Lage	+8,5		locker		feinhumusreicher rothumusartiger Moder MRR								
Of	+6,5		z.T. sperrig										
Oh	+3,0		kompakt										
Bodenprofil													
Tiefe	Geolog. Schicht	Horizont		Bodenart	Skelettgehalt	Munsell Farbe	Humusgehalt	Kalkgehalt	Durchwurzelung	Gefüge		Lagerungsdichte	Bemerkung
		Neben	Haupt							Grund	Aggregat		
11	(I)	Aeh	Ap	f-mS	–		h4	c0	w4	ein		Ld2	
15	(I)		Ahe	f-mS	–		h2	c0	w2	ein		Ld1	
23	I		Bsh	f-mS	–		h3	c0	w5	kit-ein		Ld3	
40	I/II		Bhs	f-mS	–		h2	c0	w4	kit-ein		Ld3	anlehmig
50	II	Bs	Cv	m-gSfs	–		h2	c0	w2	ein		Ld2	
82	II	fGo-Bs	Cv	m-gSfs	–		h1	c0	w1	ein-koh		Ld2	
130	II	fGo	Cv	f-mS	–		h1	c0	w1	ein-koh		Ld2	schw. lehmig
200	II		Go	f-mS	–		h0	c0	w0	ein		Ld2	
Geologische Schichtenfolge des Ausgangsgesteins							(I)	(Flugsand?)					
							I	Talsand holozän					
							II	Talsand pleistozän					
Bodengene													
Bodentyp				Zusatzinformation					Durchwurzelbarkeit				
PP Podsol				im tiefen Unterboden verglejt					Wp5 sehr tief 12 bis <20 dm				
Standortsschlüsselziffer		Wasserhaushalt		Nährstoff	Substrat/Lager.			Oberboden		Moor	Sonderstandort	Pleistozän	
34.3-.5.6 tP2		34		3-	5.6								
Varianten		t					P2 (Pflughorizont)						
Vegetation													
		Baumarten		Anteil [%]		Alter		BHD		LK		Schäden	
Waldzustandsbewertung		Kiefer		100		97				5			
		Bu		80		18				7			
		Ki		10		18				7			
		Dgl		5		15				10			
		SEi		5		18				5			
Potentiell Natürliche Waldgesellschaft (PNV)				Drahtschmielen-Buchenwald (ggf. mit Birke, Eiche, Kiefer)									
Waldentwicklungstyp (WET)													

## Chemische Analyse 2006, Profil 1

Horizont	Tiefe	pH [H <sub>2</sub> O]	pH [KCl]	C-Geh. [mg/g]	N-Geh. [mg/g]	P-Geh. [mg/g]	KAKe mmol/kg	Na [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Mn [%]	Al [%]	H [%]	Fe [%]	BS [%]
L-Lage	+8,5	5,5	4,4	468,7	13,1	0,89		0,9	14,2	36,2	13,2	2,0	23,8		9,7	64,5
Of	+6,5	4,7	3,9	316,5	13,2	0,66		0,7	2,4	30,3	10,0	1,0	37,4		18,1	43,4
Oh	+3	4,6	3,8	386,4	15,0	0,85		0,5	1,5	29,6	17,1	0,5	31,9		18,9	48,7
Aeh-Ap	11	3,8	2,8	44,9	1,4	0,10	61,0	1,0	0,7	20,4	8,6	0,0	24,5	43,9	0,8	30,7
Ahe	15	3,9	2,9	11,4	0,4	0,06	22,8	1,3	0,5	9,2	4,6	0,0	34,2	49,1	1,0	15,6
Bsh	23	3,9	3,8	50,0	1,7	0,51	113,0	0,4	0,3	2,6	2,4	0,0	82,2	10,9	1,3	5,7
Bhs	40	4,3	3,8	17,0	0,7	0,15	40,3	0,6	0,3	1,2	1,1	0,0	93,0	3,5	0,4	3,2
Bs-Cv	50	4,3	4,2	3,0	0,1	0,09	14,5	0,4	0,0	4,0	1,2	0,0	76,2	18,0	0,2	5,6
fGoBsCv	82	4,6	4,4	1,4	0,0	0,06	10,3	0,0	0,0	2,9	0,9	0,0	71,4	24,6	0,3	3,8
fGo-Cv	130	4,7	4,4	0,8	0,0	0,07	8,1	1,7	1,6	3,6	1,0	0,0	84,1	7,7	0,4	7,9
Go	200	4,7	4,0	0,3	0,0	0,06	10,5	1,3	3,5	4,2	2,3	0,0	83,9	4,2	0,7	11,3

Texturanalyse 1999, Profil 1 [%]

Horizont	Tiefe [cm]	Ton	Schluff	Sand	Feinsand	Mittelsand	Grobsand	Bodenart
Aeh-Ap	0-11	5	11	84	27	52	5	Su2
Ahe	11-15	4	4	92	30	57	5	mSfs
Bhs	15-23	7	6	87	26	53	7	mSfs
I/II Bhs	23-32	5	4	91	27	57	7	mSfs
II Bs-Cv	32-50	2	2	96	32	58	7	mSfs
FGor-Bs-Cv	50-82	2	1	97	34	56	7	mSfs
Go	82-120	2	1	96	39	55	2	mSfs
Gr1	120-150	2	1	97	69	28	0	fSms
Gr2	150+	3	3	93	74	19	1	fSms

Analyse des Grundwassers:

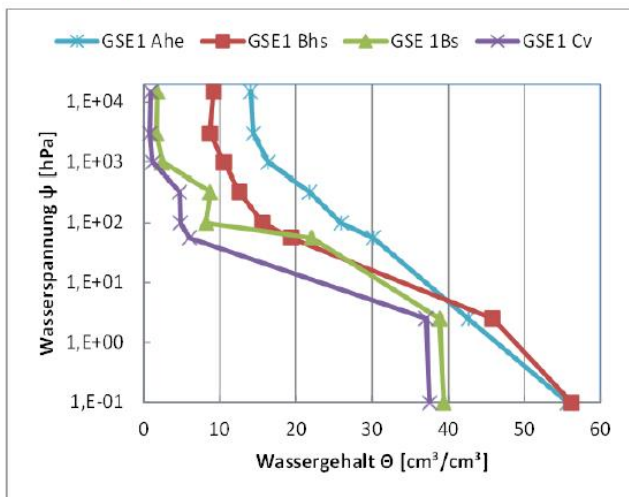
pH	El. Leitf. $\mu\text{s cm}^{-1}$	C org $\text{mg l}^{-1}$	N org $\text{mg l}^{-1}$	PO <sub>4</sub> $\text{mg l}^{-1}$	$\Sigma^{+}\text{-Ionen}$ $\mu\text{molc l}^{-1}$	Ca %	K %	Mg %	Na %	Al %	M <sub>a</sub> -Kat. <sup>a</sup> %	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> $\text{mg l}^{-1}$	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> $\text{mg l}^{-1}$	Cl- $\text{mg l}^{-1}$	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> $\text{mg l}^{-1}$
4,3	244	7,9	0,37	0,03	1998	16	3	10	32	36	2,9	0,0	0,85	26	18

a. M<sub>a</sub>: Summe der austauschbar gebundenen versauernden Kationen ohne Aluminium (Mn, Fe, H)

pF-Kurve Gerstenbütteler Holz Profil 1

hPa	0	2,5	56	100	330	1000	15000
log 10 hPa (pF)		0,4	1,7		2,5	3	4,2
GSE1 Ahe		55,6	42,6	30,2	25,9	21,8	14,4
GSE1 Bhs		56,1	45,9	19,3	15,6	12,6	8,7
GSE1 Bs		39,4	38,9	22,1	8,1	8,8	1,7
GSE1 Cv		37,6	37,1	6,0	4,8	4,7	0,8

Abb. 4.3. pF-Kurve Podsol Gerstenbütteler Holz, Profil 1





## Profil 2: Fahle Heide

Titeldaten														
Koord. R		Forstamt	Unterlüss	Rfö.	Ringelah	Datum	04.05.06							
Koord. L		Waldbaureg.	6 / SH	Abteilung	2370 a	Sonstiges								
Kartierer	Stüber/Naeder	Forstort	Neues Holz	Höhe ü. NN		Archiv Nr.	GSE-2							
Relief														
Relief:	Ebene	Neigung	N0		Exposition									
Humusprofil														
Horizont	Tiefe	Substanz	Gefüge	Durchwurzel.	Humusform									
L-Lage	+8,0		locker		feinhumusreicher Rohhumus ROR									
Of	+6,5		schichtigg											
Oh	+5,0		kompakt											
Bodenprofil														
Tiefe	Geolog. Schicht	Horizont		Bodenart	Skelettgehalt	Munsell Farbe	Humusgehalt	Kalkgehalt	Durchwurzelung	Gefüge		Lagerungsdichte	Bemerkung	
		Neben	Haupt							Grund	Aggregat			
1	I		Ahe	mS	–		h2	c0	W2	ein		Ld1		
3	I		Ae	mS	–		h1	c0	W2	ein		Ld1		
25	II		Bs	mS	–		h1	c0	W2	ein		Ld2		
110	II/III	fGo	Cv	mS/ffS	–		h1	c0	W2	ein		Ld1	in Knollen Ls3, pol, W4	
180			Go	mS/ffS	–		h1	c0	W2	ein		Ld2		
Geologische Schichtenfolge des Ausgangsgesteins									I	Flugsand				
									II/III	Talsand holozän (Schichten II und III nicht trennbar)				
									II/III	Talsand pleistozän				
Bodengeneese/Standortskennziffer														
Bodentyp				Zusatzinformation					Durchwurzelbarkeit					
PP bis GG-PP Podsol im Übergang zum Gley-Podsol				stw. initiale Bodenbildung; im Unterboden vergleyt					Wp5 sehr tief 12 bis <20 dm					
Standortsschlüsselziffer			Wasserhaushalt	Nährstoff	Substrat/Lager.									
34.2+.5.6 A1			34	2+	5.6									
Varianten												A1 Ausweh.mulde		
Vegetation														
		Baumarten	Anteil [%]	Alter	BHD	LK	Schäden							
Waldzustandsbewertung		Ki	100	138										
		Ki	50	34										
		Bu	40	19										
		Dgl	8	15										
		Ei	2	15										
Potentiell Natürliche Waldgesellschaft (PNV)				armer Drahtschmielen-Buchenwald mit Birke, Eiche, Kiefer										
Waldentwicklungstyp (WET)														

### Chemische Analyse 2006, Profil 2

Horizont	Tiefe	pH [H <sub>2</sub> O]	pH [KCl]	C-Geh. [mg/g]	N-Geh. [mg/g]	P-Geh. [mg/g]	KAKe mmol/kg	Na [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Mn [%]	Al [%]	H [%]	Fe [%]	BS [%]
L-Of		5,7	5,1	173,5	5,7	0,32		0,4	1,7	29,7	19,9	0,3	34,3		13,7	51,7
Ahe	1	4,6	3,5	5,5	0,2	0,02	11,0	5,2	2,4	27,2	27,4	0,0	12,5	23,1	2,1	62,2
Ae	3	4,3	3,4	5,0	0,2	0,03	11,8	2,6	1,7	12,2	16,8	0,0	39,5	22,0	5,3	33,3
Bs	25	4,6	3,9	2,5	0,0	0,03	10,9	1,4	1,6	8,2	9,3	0,0	67,4	5,4	6,7	20,5
fGo-Cv <sup>a</sup>	95	4,3	3,8	2,9	0,3	0,15	39,9	1,0	1,6	1,7	3,5	0,0	88,3	2,9	1,0	7,8
fGo-Cv	110	4,8	4,4	0,6	0,0	0,04	4,5	0,0	2,2	8,0	4,4	0,0	82,7		2,8	14,6
Go	180	4,8	4,3	0,3	0,0	0,05	5,4	1,0	3,2	5,8	6,0	0,0	83,0		0,9	16,0

a. eingesülte feinknollenreichere Knollen

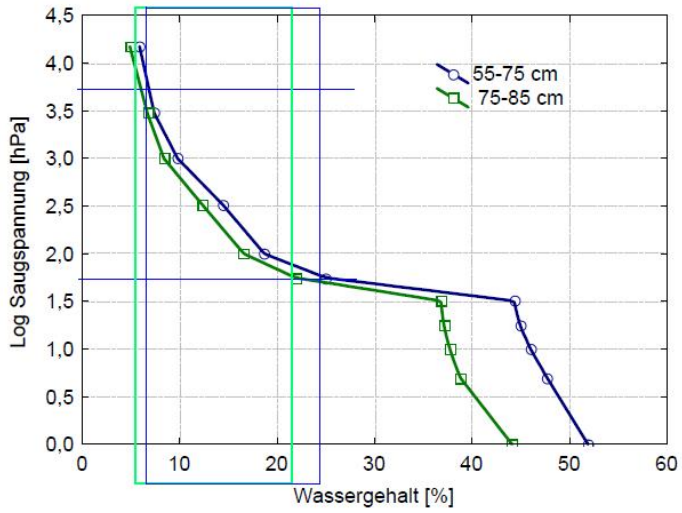
Texturanalyse 1999, Profil 2 [%]

Horizont	Tiefe [cm]	Ton	Schluff	Sand	Feinsand	Mittelsand	Grobsand	Bodenart
Go	90-100	2	1	97	2	68	27	mS

pF-Funktion

	TRD	GPV	0,7	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,00	3,5	4,2
Tiefe		0	5	10	18	32	56	100	330	1.000	3.000	15.000
55-75	1,2	51,9	47,7	46	44,9	44,3	25	18,7	14,4	9,8	7,4	5,9
75-85	1,5	44,1	38,8	37,7	37,1	36,8	21,9	16,6	12,3	8,4	6,7	4,9

Abb. 4.4. pF-Kurve Podsol „Fahle Heide“, Profil 2



### Profil 3: Fahle Heide

Titeldaten															
Koord. R		Forstamt	Unterlöss	Rfö.	Ringelah	Datum	04.05.06								
Koord. L		Waldbaureg.	6 / SH	Abteilung	2373 a	Sonstiges									
Kartierer	Stüber/Naeder	Forstort	Neues Holz	Höhe ü. NN		Archiv Nr.	GSE-3								
Relief															
Relief:	Ebene	Neigung	N0		Exposition										
Humusprofil															
Horizont	Tiefe	Substanz		Gefüge	Durchwurzel.	Humusform									
L-Lage	+5					Streuungs-Rohhumus; Magerhumus SRO am Rande: GMO Graswurzelfilzmoder									
Of	+4			vernetzt											
Oh	<+1				Humusverlust nach Brandkatastrophe 1975										
Bodenprofil															
Tiefe	Geolog. Schicht	Horizont		Bodenart	Skelett-gehalt	Munsell Farbe	Humus-gehalt	Kalkgehalt	Durchwurzelung	Gefüge		Lagerungs-dichte	Bemerkung		
		Neben	Haupt							Grund	Aggregat				
15	I		Ahe	f-mS	-		h3	c0	W2	ein		Ld1			
25			Bhs	f-mS	-		h3	c0	W3	ein		Ld1			
35	II	Bsh	Aeh	f-mS	-		h3	c0	W3	ein		Ld1			
46			Aeh	f-mS	-		h3	c0	W3	ein		Ld1			
54			Bhs	f-mS	-		h3	c0	W3	ein		Ld1			
82	III		fAeh	f-mS	-		h4	c0	W2	ein		Ld2			
104			fBhs	f-mS	-		h2	c0	W1	ein-kit		Ld3			
150	IV	fGo	Bbh	f-mS	-		h1	c0	W1	ein		Ld1			
250		FGo	Cv	f-mS	-		h1	c0	-	ein		Ld1			
Geologische Schichtenfolge des Ausgangsgesteins						I - III	Flugsand								
						IV	Talsand								
Bodengenese - Prozesse (schwach-mäßig-stark)															
Bodentyp			Zusatzinformation						Durchwurzelbarkeit						
PPh Humus-Podsol			im tiefen Unterboden verglejt;						Wp 6 äußerst tief >20 dm						
Standortsschlüsselziffer		Wasserhaushalt		Nährstoff	Substrat/Lager.										
35.3-2.9		35		3-	2.9										
Varianten															
Vegetation															
		Baumarten		Anteil [%]		Alter		BHD		LK		Schäden			
Waldzustand		Ki		100		37				7					
Potentiell Natürliche Waldgesellschaft (PNV)			Drahtschmielen-Buchenwald (ggf. mit Birke, Eiche, Kiefer)												
Waldentwicklungstyp (WET)															

### Chemische Analyse 2006, Profil 3

Horizont	Tiefe	pH [H <sub>2</sub> O]	pH [KCl]	C-Geh. [mg/g]	N-Geh. [mg/g]	P-Geh. [mg/g]	KAKe mmol <sub>c</sub> /kg	Na [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Mn [%]	Al [%]	H [%]	Fe [%]	BS [%]
Ahe	15	5,1	4,0	22,9	0,9	0,10	42,4	0,5	0,7	35,4	33,2	0,0	24,3	3,6	2,3	69,8
Bhs	25	4,7	3,9	13,6	0,5	0,09	26,7	0,0	0,6	4,9	3,6	0,0	86,0	3,2	1,8	9,1
Bsh-Aeh	35	4,5	3,9	23,1	0,8	0,14	40,0	0,5	0,4	3,3	2,5	0,0	89,3	2,9	1,0	6,7
Ahe	46	4,6	4,0	13,9	0,4	0,09	25,2	0,3	0,7	4,2	2,4	0,0	88,7	2,7	1,0	7,6
Bhs	54	4,6	4,1	12,1	0,4	0,09	20,7	0,0	1,0	4,9	1,9	0,0	88,8	2,0	1,5	7,8
fAeh	82	4,2	3,5	27,6	0,8	0,10	50,4	0,5	0,6	4,1	1,3	0,0	84,1	8,4	0,9	6,5
fBhs	104	4,6	4,2	8,8	0,3	0,09	20,7	0,8	0,8	2,9	0,7	0,0	91,0	0,9	3,0	5,2
fGo-Bsh	150	4,7	4,5	0,9	0,0	0,04	4,9	4,4	3,1	8,0	1,7	0,0	82,3	0	0,5	17,2
fGo-Cv	250	4,7	4,6	0,6	0,0	0,04	3,5	2,6	4,4	8,8	1,7	0,0	81,8	0	0,7	17,5



Foto: K. Naeder

## Profil 4: Wohlenberg

Titeldaten													
Koord. R		Forstamt	Unterlüss	Rfö.	Ringelah	Datum	04.05.06						
Koord. L		Waldbaureg.	6 / SH	Abteilung	2367 a1	Sonstiges							
Kartierer	Stüber/Naeder	Forstort	Wohlenberg	Höhe ü. NN		Archiv Nr.	GSE-4						
Relief													
Relief:	E Ebene	Neigung	N0	Exposition									
Humusprofil													
Horizont	Tiefe	Substanz	Gefüge	Durchwurzel.	Humusform								
L-Lage	+4	locker			feinhumusarmer Moder MOA								
Of	+2	überw. vernetzt											
Oh	+1	lose/bröckelig											
Bodenprofil													
Tiefe	Geolog. Schicht	Horizont		Bodenart	Skelettgehalt	Munsell Farbe	Humusgehalt	Kalkgehalt	Durchwurzelung	Gefüge		Lagerungsdichte	Bemerkung
		Neben	Haupt							Grund	Aggregat		
5	I		Ahe	f-mS	-		h3	c0	W3	ein		Ld2	
12	I/II	Ahe	Bsv	f-mS	-		h2	c0	W3	ein		Ld2	
60	II		Bv	Su2	3		h1	c0	W3	koh		Ld2	
145	III	Swd	Bv	mS/S14	1		h1	c0	W2	ein/koh		Ld3	
160		(Swd)	Cv	SI2/Ls4/Lts	1		h1	c0	W1	ein/koh		Ld2,5	
170+	IV		Cv		-			c0		ein		Ld2	
Geologische Schichtenfolge des Ausgangsgesteins				I	Flugsand								
				II	Geschiebedecksand								
				III	Glazifluviatil (Sortierung stw. mit Geschiebelehm-Einschwemmungen)								
				IV	Schmelzwassersand								
Bodengenese - Prozesse (schwach-mäßig-stark)													
Bodentyp				Zusatzinformation					Durchwurzelbarkeit				
p3 PP podsolige Braunerde													
Standortsschlüsselziffer		Wasserhaushalt	Nährstoff	Substrat/Lager.									
42.3+.3.6 f		42	3+	3.6									
Varianten		f											
Vegetation													
		Baumarten	Anteil [%]	Alter	BHD	LK	Schäden						
Waldzustandsbewertung		Ki	100	46		8							
		Bu	65	13		6							
		Ei	10	13		5							
		REi	10	13		7							
		Bi	10	13		4							
		EbEs	5	13		5							
Potentiell Natürliche Waldgesellschaft (PNV)				typischer Drahtschmielen-Buchenwald									
Waldentwicklungstyp (WET)													

### Chemische Analyse 2006, Profil 4

Horizont	Tiefe	pH [H <sub>2</sub> O]	pH [KCl]	C-Geh. [mg/g]	N-Geh. [mg/g]	P-Geh. [mg/g]	KAKe mmol/kg	Na [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Mn [%]	Al [%]	H [%]	Fe [%]	BS [%]
L - Oh		3,9	3,0	67,2	2,8	0,21		0,5	2,6	5,8	3,5	0,6	59,5		27,5	12,4
Ahe	5	3,7	2,9	24,3	1,0	0,12	38,0	0,3	1,3	14,5	1,6	0,7	42,0	33,4	6,3	17,7
Ahe-Bsv	12	3,7	3,0	9,0	0,4	0,08	23,1	1,2	1,5	8,6	1,2	0,7	48,8	29,1	8,8	12,5
Bv	60	4,2	3,7	3,9	0,2	0,08	15,8	1,3	1,8	7,5	1,2	1,1	76,0	8,9	2,3	11,8
Swd-Bv	145	4,5	3,9	1,0	0,0	0,20	20,1	0,0	3,7	13,0	3,7	1,9	73,8	3,9	0,0	20,4
(Swd)-Cv	160	5,4	4,2	0,2	0,0	0,09	9,2	0,0	7,8	52,5	16,0	1,0	21,6	1,0	0,0	76,3
Cv	170	5,2	4,0	0,2	0,0	0,08	7,9	0,0	5,5	53,4	19,0	0,8	18,8	2,5	0,0	77,9



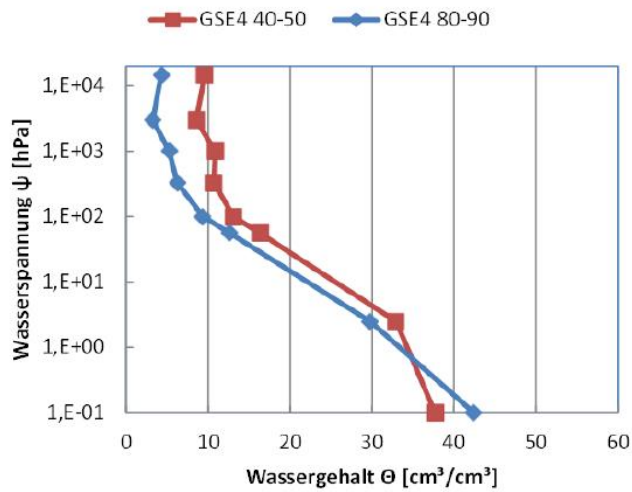
Texturanalyse [%]

Horizont	Tiefe [cm]	Ton	Schluff	Sand	Feinsand	Mittelsand	Grobsand	Bodenart
II Bv2	40-50	3	9	87	8	46	33	mSgs
II Bv	90-100	10	4	85	7	37	40	gSms

pF-Kurve Wohlenberg Profil 4

hPa	0	2,5	56	100	330	1000	15000
log 10 hPa (pF)		0,4	1,7	2	2,5	3	4,2
GSE4 40-50	37,7	32,9	16,3	13,1	10,7	10,9	8,6
GSE4 80-90	42,4	29,8	12,6	9,4	6,2	5,2	3,3

Abb. 4.5. pF-Kurve Wohlenberg Profil 4





## Profil 5: Wohlenberg

Titeldaten													
Koord. R		Forstamt		Rfö.	Ringelah	Datum	04.05.06						
Koord. L		Waldbaureg.	6 / SH	Abteilung	2367 a2	Sonstiges							
Kartierer	Stüber/Naeder	Forstort	Wohlenberg	Höhe ü. NN		Archiv Nr.	GSE-5						
Relief													
Relief:	H (Hang)	Neigung		Exposition	NW								
Humusprofil													
Horizont	Tiefe	Substanz	Gefüge	Durchwurzel.	Humusform								
L-Lage	+7		locker		MOR/MOA feinhumusreicher - feinhumusarmer Moder								
Of	+5		locker - vernetzt										
Oh	+2		bröckelig										
Bodenprofil													
Tiefe	Geolog. Schicht	Horizont		Bodenart	Skelettgehalt	Munsell Farbe	Humusgehalt	Kalkgehalt	Durchwurzelung	Gefüge		Lagerungsdichte	Bemerkung
		Neben	Haupt							Grund	Aggregat		
8	I		Aeh	SI2/Su2	3		h3	c0	W4	ein-koh		Ld2	
30		Ah	Bv	SI2/Su2	10		h2	c0	W4	ein-koh		Ld2	
75	I/II		Bv	SI2	20		h1	c0	W2	ein-koh		Ld2	
110	II		Bv	SI2/St3	3/>75		h1	c0	W1	ein-koh	sub	Ld2/Ld3	
180+	II		Cv	SI2/Ls4	2/>75		h1	c0	W1	ein-koh		Ld2	Bodenart bezogen auf Feinboden
Geologische Schichtenfolge des Ausgangsgesteins				I	Hangbildung allg. (periglaziale Solifiktionsdecke, wahrsch. holozän umgelagert)								
				II	Endmoräne, Nebensubstrat Glazifluviatil (Substrate verzahnt/verquirlt)								
Bodengese - Prozesse (schwach-mäßig-stark)													
Bodentyp				Zusatzinformation					Durchwurzelbarkeit				
p2 BB schwach podsolige Braunerde									Wp äußerst tief > 20 dm				
Standortsschlüsselziffer				Wasserhaushalt	Nährstoff	Substrat/Lager.							
41.4.3.6 tki				41	4	3.6							
Varianten				t		ki							
Vegetation													
		Baumarten	Anteil [%]	Alter	BHD	LK	Schäden						
Waldzustandsbewertung		ELä	80	47		9							
		Ki	20	46		8							
		Bu	30	18		7							
		Ei	30	18		6							
		EbEs	30	15		6							
		TKir	10	15		7							
Potentiell Natürliche Waldgesellschaft (PNV)				Flattergras-Buchenwald → Drahtschmielen-Buchenwald									
Waldentwicklungstyp (WET)													

## Chemische Analyse 2006, Profil 5

Horizont	Tiefe	pH [H <sub>2</sub> O]	pH [KCl]	C-Geh. [mg/g]	N-Geh. [mg/g]	P-Geh. [mg/g]	KAKe mmol <sub>c</sub> /kg	Na [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Mn [%]	Al [%]	H [%]	Fe [%]	BS [%]
L + Of		5,5	4,8	316,0	11,4	0,74		0,4	3,7	38,0	8,2	8,7	29,6		11,3	50,3
Aeh	8	3,9	3,1	20,8	1,0	0,27	38,8	0,3	1,7	10,4	2,5	4,6	55,9	20,8	3,9	14,9
Ah-Bv	30	4,3	3,7	7,1	0,5	0,19	23,5	0,0	1,7	5,0	1,6	6,5	78,9	5,9	0,3	8,3
Bv	75	4,5	3,9	1,5	0,1	0,18	10,5	1,3	2,7	7,1	1,6	3,0	79,7	4,6	0,0	12,7
Bv	110	5,2	3,7	0,8	0,0	0,44	36,2	0,6	3,1	59,3	18,4	0,9	14,5	3,2	0,0	81,4
Cv	180	4,6	3,2	1,7	0,2	0,33	69,4	0,7	1,9	34,7	11,9	0,4	44,0	6,3	0,0	49,2
Cv <sup>a</sup>	180	4,7	3,6	0,3	0,0	0,13	22,2	0,0	3,8	26,0	8,9	3,1	51,6	6,6	0,0	38,7

a. Sandfraktion

pF-Funktion

	TRD	GPV	0,7	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,00	3,5	4,2
Tiefe		0	5	10	18	32	56	100	330	1.000	3.000	15.000
30-40	1,5	43,3	37,7	35,2	33	32,9	—	12,3	8,9	4,8	4,3	3,2

Abb. 4.6. pF-Kurve „Wohlenberg“

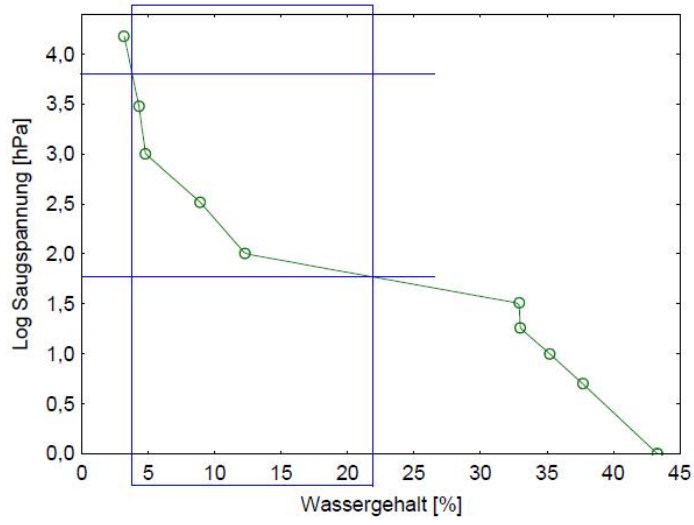


Foto: K. Naeder

## Profil 6: Harmbütteler Holz

Titeldaten														
Koord. R		Forstamt	Unerlöss	Rfö.	Ringelah	Datum	04.05.06							
Koord. L		Waldbaureg.	6 / SH	Abteilung	2364 a	Sonstiges								
Kartierer	Stüber/Naeder	Forstort	Harmbütteler Holz	Höhe ü. NN		Archiv Nr.	GSE-6							
Relief														
Relief:	Ebene	Neigung	N0		Exposition									
Humusprofil														
Horizont	Tiefe	Substanz	Gefüge	Durchwurzel.	Humusform									
L-Lage	+3.5	locker			MOM/MOA mullartiger bis feinhumusartiger Moder									
Of	+1.5	locker, stw. verklebt												
Oh	<+0.5	filmartig - bröck.												
Bodenprofil														
Tiefe	Geolog. Schicht	Horizont		Bodenart	Skelett-gehalt	Munsell Farbe	Humus-gehalt	Kalkgehalt	Durchwurzelung	Gefüge		Lagerungs-dichte	Bemerkung	
		Neben	Haupt							Grund	Aggregat			
8	I		Aeh	SI2	3		h4		W4	ein-koh		Ld2		
20			Bvh	SI2	3		h2		W4	koh	sub	Ld2		
40			Bv	SI3	3		h1		W4	koh	sub	Ld2		
55	I/II		Sw	SI4	5		h1		W3	ein/(kit)		Ld2		
90	II		Swd	Lts	3		h1		W4		pol	Ld3		
>95	II		Swd	Lts/Ls3	3		h1		W2		sub	Ld3		
Geologische Schichtenfolge des Ausgangsgesteins						I	Geschiebedecksand							
						II	Geschiebelehm							
						III	Geschiebemergel							
Bodengenese - Prozesse (schwach-mäßig-stark)														
Bodentyp				Zusatzinformation					Durchwurzelbarkeit					
p2 SS-BB schwach podsolige Pseudogley-Braunerde									Wp4 tief 7 bis <12 dm					
Standortsschlüsselziffer			Wasserhaushalt	Nährstoff	Substrat/Lager.									
37.5-.4.3 R2			37	5-	8.5		Oberboden		Moor	Sonderstandort		Pleistozän		
Varianten							R2 (Rabatten)							
Vegetation														
		Baumarten	Anteil [%]	Alter	BHD	LK	Schäden							
Waldzustandsbewertung		Ei	65	135										
		Bu	35	135										
		Bu	100	135	4									
		Bu	100	135	5									
Potentiell Natürliche Waldgesellschaft (PNV)				frischer Flattergras-Buchenwald bzw. frischer Flattergras-Waldmeister-Buchenwald										
Waldentwicklungstyp (WET)														

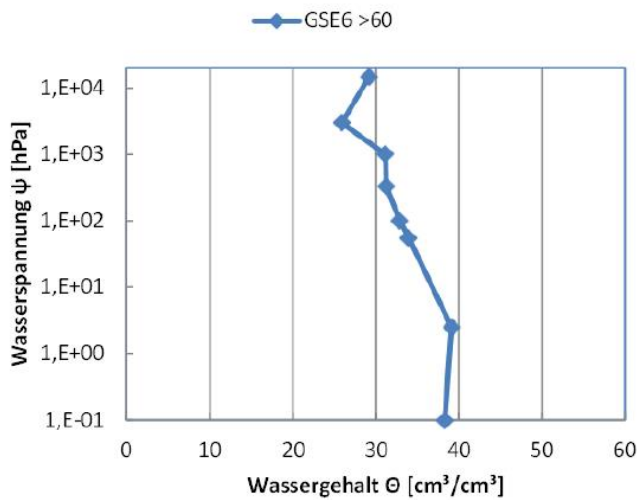
## Chemische Analyse 2015, Profil 6

Tiefe	pH [H <sub>2</sub> O]	pH [KCl]	C-Geh. [%]	Humus	N-Geh. [%]	P-Geh. [mg/g]	CaCO <sub>3</sub> [%]	KAKeff/tot* mmol/kg	Na [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Mn [%]	Al [%]	H [%]	Fe [%]	BS [%]
2,5	4,8	4,0	3,2	h4	0,2	0,2	0,0	45,8	0,7	4,7	55,7	9,9	11,5	12,6	4,6	0,4	71,0
5	4,6	3,8	2,9	h4	0,2	0,2	0,0	45,7	0,7	3,4	48,9	7,9	11,1	19,5	7,8	0,6	60,9
10	4,5	3,7	1,8	h3	0,1	0,1	0,0	31,0	0,6	2,6	37,8	5,2	7,9	36,9	8,5	0,6	46,2
20	4,7	3,9	0,8	h2	0,1	0,1	0,0	25,1	0,7	2,0	26,7	4,2	7,2	51,6	6,5	1,0	33,6
30	4,7	4,0	0,4	h1	0,0	0,1	0,0	22,8	0,7	2,2	17,2	3,5	6,2	64,6	5,2	0,4	23,6
40	4,7	3,9	0,2	h1	0,0	0,1	0,0	32,1	0,6	2,0	13,6	2,6	3,5	73,2	4,1	0,2	18,8
50	4,6	3,8	0,2	h1	0,0	0,1	0,0	45,1	0,4	2,4	17,7	3,9	3,1	67,5	4,7	0,3	24,4
60	4,7	3,7	0,2	h1	0,0	0,2	0,0	56,1	0,5	2,5	28,0	5,5	2,0	58,2	2,9	0,3	36,5
100	5,0	3,8	0,1	h1	0,0	0,3	0,0	119,5	0,6	3,1	61,8	13,9	0,4	18,2	1,9	0,1	79,4
150	5,1	3,8	0,1	h1	0,0	0,2	0,0	112,3	0,6	3,0	66,8	12,6	0,4	15,1	1,4	0,0	83,0
300	6,6	5,2	0,6	h2	0,0	0,3	4,2	120,6*	1,4	2,9	89,7	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Texturanalyse [%]

Tiefe [cm]	Ton	Schluff	Sand	Bodenart
2,5	4,5	17,6	77,8	Su2
5	4,1	17,3	78,7	Su2
10	3,9	17,2	78,9	Su2
20	4,4	18,0	77,6	Su2
30	6,6	17,3	76,0	Sl2
40	9,8	17,1	73,1	Sl3
45	10,3	16,5	73,2	Sl3
50	8,6	14,5	76,9	Sl3
60	11,9	13,9	74,2	Sl3
70	24,8	11,7	63,5	St3
80	19,4	17,1	63,5	Ls4
90	17,8	13,9	68,2	St3
100	23,2	17,9	58,8	Ls4
150	22,9	18,0	59,0	Ls4
200	22,5	21,6	55,9	Ls4
250	23,2	21,6	55,2	Ls4
300	23,6	22,9	53,5	Ls4
350	24,8	21,4	53,8	Ls4
400	26,9	21,3	51,8	Lts

Abb. 4.7. pF-Kurve Braunerde-Pseudogley "Harmbütteler Holz"



Streuanteil und -zusammensetzung

	Na [mg/g]	K [mg/g]	Ca [mg/g]	Mg [mg/g]	Mn [mg/g]	Al [mg/g]	Fe [mg/g]	P [mg/g]	S [mg/g]	N [%]	Streusammlung [%]	Holzvorrat FE [%]
Buche	0,2	2,1	12,1	1,1	3,4	0,7	0,6	0,4	0,9	0,9	55	58,9
Eiche	0,2	2,5	8,9	1,2	2,4	0,2	0,2	0,4	0,8	1,0	41	41,1
Hainbuche											2	
Linde											2	



## Profil 7: Maaßel

Titeldaten													
Koord. R		Forstamt	Unterlüss	Rfö.	Ringelah	Datum	04.05.06						
Koord. L		Waldbaureg.	6 / SH	Abteilung	2331 a	Sonstiges							
Kartierer	Stüber/Naeder	Forstort	Maaßel	Höhe ü. NN		Archiv Nr.	GSE-7						
Relief													
Relief:	E	Neigung	N0	Exposition									
Humusprofil													
Horizont	Tiefe	Substanz	Gefüge	Durchwurzel.	Humusform								
L-Lage	+2	locker			MUT								
Of	<+0.5	locker			L-Mull								
Bodenprofil													
Tiefe	Geolog. Schicht	Horizont		Bodenart	Skelettgehalt	Munsell Farbe	Humusgehalt	Kalkgehalt	Durchwurzelung	Gefüge		Lagerungsdichte	Bemerkung
		Neben	Haupt							Grund	Aggregat		
10	I		Aeh	SI2	1		h4	c0		koh		Ld2	
20		Ah	Bv	SI2	1		h2	c0		koh		Ld2	
35			Bv	SI3	3		h1	c0		koh	sub	Ld2	
45		Sw	Bv	SI3	5		h1	c0		koh	sub	Ld2	
53			Sw	SI3	5		h1	c0		koh	sub	Ld2	
80	II		Swd	Lts	1		h1	c0			pol	Ld3	
130+	II/III		Swd	Lts	1		h1	c1			pol	Ld3	
Geologische Schichtenfolge des Ausgangsgesteins				I	Geschiebedecksand								
				II	Geschiebelehm								
				III	Geschiebemergel								
Bodengenese													
Bodentyp				Zusatzinformation					Durchwurzelbarkeit				
SS-BB Pseudogley-Braunerde									Wp 4-5 tief bis sehr tief bis <20 dm				
Standortsschlüsselziffer		Wasserhaushalt	Nährstoff	Substrat/Lager.									
37.5.4.7 gC1		37	5	4.7									
Varianten		g										C1	
Vegetation													
		Baumarten	Anteil [%]	Alter	BHD	LK	Schäden						
Waldzustandsbewertung		SEi	22	173		6							
		SEi	35	131		7							
		WLi (u. SLi)	28	131 (84)		8							
		HBu	10	131		6							
		Es	5	131		6							
		HBu	50	84		6							
		WLi	50	67		8							
Potentiell Natürliche Waldgesellschaft (PNV)				Hexenkraut Waldmeister-Buchenwald, stw. → edellaubholzreichen Sternmieren Hainbuchen-Stieleichenwald mit Waldziest (Eschen-Buchenwald, Eschenmischwald)									
Waldentwicklungstyp (WET)													

### Chemische Analyse 2015, Profil 7

Tiefe	pH [H <sub>2</sub> O]	pH C-Geh. [KCl]	Humus [%]	N-Geh. [mg/g]	P-Geh. [mg/g]	CaCO <sub>3</sub> [%]	KAKeff/tot* mmol/kg	Na [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Mn [%]	Al [%]	H [%]	Fe [%]	BS [%]	
2,5	5,0	4,4	5,0	h4	0,4	0,4	0,0	129,1	0,6	6,9	67,3	14,7	7,0	2,2	1,0	0,2	89,5
5	4,5	3,7	3,9	h4	0,3	0,3	0,0	76,6	0,6	4,5	54,0	13,0	5,3	16,1	5,9	0,6	72,1
10	4,4	3,6	2,7	h4	0,2	0,3	0,0	55,5	0,7	3,1	44,9	10,8	3,4	29,6	6,1	1,5	59,5
20	4,5	3,6	1,3	h3	0,1	0,2	0,0	48,5	0,6	2,1	26,3	7,7	2,0	55,0	5,5	0,7	36,7
30	4,6	3,7	0,7	h2	0,1	0,1	0,0	41,1	0,6	1,6	21,4	5,9	1,7	64,1	4,1	0,4	29,5
40	4,7	3,8	0,4	h1	0,0	0,2	0,0	52,5	0,8	1,7	29,8	7,5	1,5	55,4	3,1	0,3	39,8
50	4,8	3,8	0,3	h1	0,0	0,1	0,0	66,6	0,6	1,8	39,2	9,0	1,3	45,3	2,7	0,1	50,6
60	5,1	3,9	0,2	h1	0,0	0,2	0,0	126,5	0,8	2,4	66,9	10,8	0,6	16,4	2,1	0,1	80,9
100	5,9	4,6	0,2	h1	0,0	0,2	0,0	141,1	1,0	2,2	85,5	9,4	0,5	1,1	0,3	0,0	98,1
150	7,0	6,2	0,3	h1	0,0	0,3	0,7	146,1*	1,9	2,2	87,2	8,4	0,2	0,1	0,0	0,0	99,7
300	7,7	7,3	1,3	h3	0,0	0,3	6,8	78,5*	2,7	5,1	84,4	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100

Texturanalyse 2015 [%]

Tiefe [cm]	Ton	Schluff	Sand	Bodenart
2,5	10,0	20,6	69,5	SI3
5	9,8	18,5	71,8	SI3
10	9,2	17,9	72,9	SI3
20	9,5	18,8	71,6	SI3
30	9,9	18,5	71,7	SI3
40	10,9	17,4	71,7	SI3
45	12,5	18,1	69,4	SI4
50	19,9	23,5	56,6	LS4
60	21,5	21,6	56,8	LS4
70	24,6	23,2	52,2	LS4
80	22,6	23,6	53,8	LS4
90	19,0	21,7	59,2	LS4
100	18,8	21,0	60,2	LS4
150	21,6	25,9	52,5	LS4
200	17,0	26,9	56,1	SI4
250	16,2	26,3	57,5	SI4
300	17,5	38,6	44,0	LS3
350	15,4	26,3	58,3	SI4
400	6,6	26,8	66,6	Su3

pF-Kurve Maaßel Profil 7

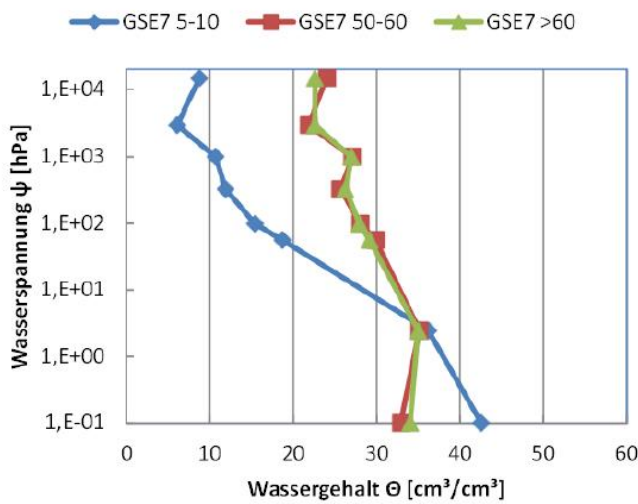


Abb. 4.8. pF-Kurve Braunerde-Pseudogley Maaßel Profil 7

Streuanteil und -zusammensetzung

	Na [mg/g]	K [mg/g]	Ca [mg/g]	Mg [mg/g]	Mn [mg/g]	Al [mg/g]	Fe [mg/g]	P [mg/g]	S [mg/g]	N [%]	Streusammlung [%]	Holzvorrat FE [%]
Buche	0,2	2,0	11,8	1,3	2,2	0,1	0,1	0,5	0,9	1,1	44	53,2
Linde	0,3	5,0	20,4	1,6	1,9	0,3	0,4	0,9	1,5	1,5	1,1	2,4
Eiche	0,2	3,2	11,5	1,4	1,8	0,3	0,4	0,6	1,0	1,2	41	11,7
Hainbuche	0,2	3,6	17,9	1,6	2,5	0,9	0,7	0,9	1,3	1,6	13	28,6
Esche											0	4,1

## Vegetation Glaziale Serie (Stand 13.05.2015)

Standort Nr.:	1	2	3	4	5	6	7
Bezeichnung:	Gerstenbüt- teler Holz	Neues Holz	Neues Holz	Wohlenberg	Wohlenberg	Harmbütteler Holz	Maaßel
Abteilung:	privat	2370a2	2373a	2367a1	2367a2	2364a1	2331a2
Humusform:	u. Ki: MRR u. Bu: MOR	ROR stw. ROA	SRO, GMO	MO, überw. MOA	MOA / MOR	MOA bis stw. MOM	MUT
Bodentyp:	Podsol, ver- gleyt	Podsol, ver- gleyt	Humus- Podsol, ver- gleyt	podsolige Braunerde	schw. podso- lige Braunerde	schw. podso- lige Pseudogley- Braunerde	Pseudogley- Braunerde
Standortstyp(en):	34.3-5.6tP <sub>2</sub>	34.2+5.6A <sub>1</sub>	35.3-2.9	41.3+.3.6t	41.4.3.6tki	37.5-8.5R <sub>2</sub>	37.5.4.7gC <sub>1</sub>
<b>Baumarten des Hauptbestandes und Überhalt</b>							
Waldkiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> )	X 96-j.	X 137-j.	X 36-j.	X 55-j.			
Roteiche ( <i>Quercus rubra</i> )		(X)	(X)	(X)			
Sandbirke ( <i>Betula pendula</i> )							X
Stieleiche ( <i>Quercus robur</i> )						X 141-j.	X 182 / 140-j.
Traubeneiche ( <i>Quercus petraea</i> )							
Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> )						X 145 / ...-j.	X 140-j.
Hainbuche ( <i>Carpinus betulus</i> )							X 140 / 93-j.
Europ. Lärche ( <i>Larix decidua</i> )					X 44-j.		
Winterlinde ( <i>Tilia cordata</i> )							X 140 / 93-j.
Sommerlinde ( <i>Tilia platyphyllos</i> )							
Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> )							X 140-j.
Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )							X
<b>Bäume 2. Ordnung, Straucharten, Verjüngung der Bäume (Nachwuchs)</b>							
<i>Sorbus aucuparia</i> Str. u. Kr.	X	X	X	X	X		X
<i>Frangula alnus</i> Str. u. Kr.	X	X		X	(X)	(X)	
<i>Fagus sylvatica</i> B2, Str. u. Kr.	X	(X)		X	X	X	
<i>Quercus spec.</i> Str. u. Kr.	X	X		X	X	X	
<i>Pinus sylvestris</i> Str. u. Kr.	X	X					
<i>Betula pendula</i> B2, Str. u. Kr.	X	X		X	X		
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	X						
<i>Quercus rubra</i> Kr. u. Str.	X	X	X	X			
<i>Prunus serotina</i> Str. u. Kr.		X	X	(X)			
<i>Populus tremula</i> B2, Str. u. Kr.	(X)			X			
<i>Sambucus racemosa</i> Str.					(X)	(X)	
<i>Sambucus nigra</i> Str.					(X)	X	X
<i>Carpinus betulus</i> B2, Str. u. Kr.					X		X
<i>Corylus avellana</i> Str.				X	X		
<i>Crataegus spec.</i> Str. u. Kr.							X
<i>Euonymus europaea</i> Str. u. Kr.							X
<i>Ilex aquifolium</i> Str. u. Kr.							X
<i>Tilia spec.</i> Str. u. Kr.						X	X
<i>Acer pseudoplatanus</i> Str. u. Kr.							X
<i>Fraxinus excelsior</i> Kr.							X
<i>Ulmus laevis et glabra</i> Str. u. Kr.							X
<b>Ökol. Artengruppen der Krautschicht (nur im Tiefland vorkommende Arten)</b>							
I 2 Lichenes / Cladonia		X					

	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>							
I 1-2	<i>Leucobryum glaucum</i>		X					
	<i>Calluna vulgaris</i>	(X)	X	(X)				
	<i>Polytrichum juniperinum</i>		(X)					
I 3	<i>Convallaria majalis</i>				(X)			
II 1	<i>Vaccinium myrtillus</i>	X	(X)		(X)			
	<i>Melampyrum pratense</i> ssp.				(X)			
	<i>Nardus stricta</i>							
	<i>Dicranella heteromalla</i>	(X)	(X)					
	<i>Dicranum majus</i>							
	<i>Dicranum polysetum</i>		X	X				
	<i>Dicranum scoparium</i>		X	(X)				
	<i>Hypnum jutlandicum</i> et cupr.	(X)	X	X				
	<i>Pleurozium schreberi</i>	(X)	X	X				
II 2a	<i>Deschampsia flexuosa</i>	X	X	X	(X)	X		
	<i>Carex pilulifera</i>	(X)	(X)	(X)	(X)		X	
	<i>Digitalis purpurea</i> s. 0 2	X		X				
	<i>Lathyrus linifolius</i> , 3					(X)		
	<i>Veronica officinalis</i>		X		(X)	(X)	X	
	<i>Polytrichum formosum</i>		X			(X)	(X)	
2b	<i>Lonicera periclymenum</i>	X			(X)	X		X
	<i>Anthoxanthum odoratum</i>		(X)		(X)	X		
	<i>Ceratocarpus claviculata</i>	(X)			(X)	X		
	<i>Holcus mollis</i>					X		
	<i>Cytisus scoparius</i>							
	<i>Teucrium scorodonia</i>				(X)	(X)		
2c	<i>Agrostis capillaris</i>	(X)	X	X	(X)	(X)	x	
	<i>Epilobium angustifolium</i> s. 0 1	(X)	X	X	(X)		(X)	
	<i>Hylocomium splendens</i>							
	<i>Mnium hornum</i>							
II 3a	<i>Anemone nemorosa</i>						X	X
	<i>Calamagrostis arundinacea</i>							
	<i>Calamagrostis epigejos</i>	(X)	(X)	X	(X)	(X)		
	<i>Carex pilosa</i>							
	<i>Dryopteris filix-mas</i>					(X)		X
	<i>Festuca altissima</i>							
	<i>Hedera helix</i>							X
	<i>Hieracium murorum</i>							
	<i>Impatiens parviflora</i>						X	
	<i>Luzula pilosa</i>					X	X	X
	<i>Milium effusum</i>				(X)	X	X	X
	<i>Moehringia trinervia</i>	X	(X)			X	X	
	<i>Poa nemoralis</i>					(X)		X
	<i>Rubus idaeus</i>		X		(X)	X	X	X
	<i>Senecio ovatus</i>							X
3b	<i>Galium odoratum</i>							X
	<i>Carex sylvatica</i>						X	X
	<i>Epilobium montanum</i>					(X)	X	X



	Melica uniflora							X
	Mycelis muralis		X			(X)	X	
	Phyteuma spicatum							
	Scrophularia nodosa	(X)		(X)		(X)	X	X
	Viola reichenbachiana							X
	Atrichum undulatum				(X)		(X)	X
3c	Stellaria holostea	(X)			(X)	X	X	X
	Dactylis polygama						(X)	X
	Galium sylvaticum, 3T					(X)		
	Phyteuma nigrum							
	Potentilla sterilis							
	Rosa arvensis							
	Eurhynchium striatum							
II 4	Lamium galeobdolon						X	X
	Brachypodium sylvaticum							X
	Epipactis helleborine		(X)					
	Geum urbanum						X	X
	Melampyrum nemorosum							
	Neottia nidus-avis							
	Polygonatum multiflorum					(X)		X
	Vinca minor							
II 5a	Mercurialis perennis							X
	Bromus ramosus							
	Campanula trachelium							X
	Pulmonaria officinalis agg., 3T							X (obsc.)
	Ranunculus lanuginosus, 3T							X
	Sanicula europaea, 3T							X
II-IV 1-3	Dryopteris carthusiana agg.	(X)	(X)		X	X	X	X
II-IV 2-4	Oxalis acetosella				(X)	X	X	X
III 2	Galium saxatile	X	(X)			(X)		
	Trientalis europaea				(X)	(X)		
	Rhytidadelphus loreus							
III 3	Gymnocarpium dryopteris, 3T							
	Athyrium filix-femina						X	X
	Dryopteris dilatata							
III 4a	Stachys sylvatica						(X)	X
	Ajuga reptans						X	X
	Circaea lutetiana						X	X
	Festuca gigantea						X	X
	Impatiens noli-tangere						X	
	Veronica montana, V						X	X
4b	Ranunculus ficaria						X	X
	Arum maculatum							X
	Glechoma hederacea							X
	Primula elatior, 3T							X
	Ranunculus auricomus, V							X
III 5a	Corydalis cava							X

	<i>Corydalis solida</i>							
	<i>Adoxa moschatellina</i>							X
	<i>Allium ursinum</i>					(X)		X
	<i>Anemone ranunculoides</i>							X
	<i>Gagea lutea et spathacea, V</i>							X
	<i>Leucojum vernum</i>							
IV 1-2a	<i>Molinia caerulea</i>	(X)						
	<i>Erica tetralix</i>							
	<i>Frangula alnus</i>	X	X		X	(X)	(X)	
	<i>Potentilla erecta</i>							
1-2b	<i>Pteridium aquilinum</i>							
IV 2-3	<i>Deschampsia cespitosa</i>						X	X
	<i>Carex brizoides</i>							
	<i>Juncus conglomeratus</i>						(X)	
	<i>Juncus effusus</i>				(X)	(X)	X	
IV 3-4a	<i>Carex remota</i>						X	X
	<i>Equisetum sylvaticum</i>							
	<i>Lamium maculatum</i>							
	<i>Silene dioica</i>							
	<i>Deschampsia cespitosa</i>						s.o.	s.o.
3-4b	<i>Circaea alpina</i>							
	<i>Stellaria nemorum</i>							
IV 4-5	<i>Chrysosplenium alternifolium</i>							(X)
	<i>Chrysosplenium oppositifolium</i>							
	<i>Circaea x intermedia</i>							
	<i>Lysimachia nemorum</i>							
V 3-4	<i>Filipendula ulmaria</i>							
	<i>Angelica sylvestris</i>							
	<i>Cirsium palustre</i>							
	<i>Lysimachia vulgaris</i>							
	<i>Lythrum salicaria</i>							
	<i>Phalaris arundinacea</i>							
	<i>Scirpus sylvaticus</i>							
	<i>Valeriana dioica</i>							
V 4-5	<i>Carex acutiformis</i>							
	<i>Cirsium oleraceum</i>							
	<i>Crepis paludosa</i>							
	<i>Geum rivale</i>							
	<i>Symphytum officinale</i>							
VI 4-5	<i>Solanum dulcamara</i>							
	<i>Caltha palustris</i>							
	<i>Galium palustre</i>							
	<i>Iris pseudacorus</i>							
	<i>Lycopus europaeus</i>							
	<i>Peucedanum palustre</i>							
0 1	<i>Urtica dioica</i>					(X)	(X)	X

	<i>Aegopodium podagraria</i>							X
	<i>Alliaria petiolata</i>				(X)			
	<i>Elymus caninus</i>							
	<i>Epilobium angustifolium</i>	(X)	X	X	(X)		(X)	
	<i>Galium aparine</i>						(X)	
	<i>Sambucus nigra</i>				(X)	(X)		X
	<i>Sambucus racemosa</i>				(X)	(X)		
0 2	<i>Geranium robertianum</i>						(X)	X
	<i>Digitalis purpurea</i>	X		X				
	<i>Galeopsis tetrahit / bifida</i>	(X)		(X)		(X)	(X)	
	<i>Impatiens parviflora</i>					X	X	
	<i>Moehringia trinervia</i>	X	(X)		(X)	X	X	
	<i>Rubus fruticosus coll.</i>	(X)			(X)	X	X	
	<i>Rubus idaeus</i>	X	X		(X)	X	X	X
	<i>Senecio ovatus</i>							
	<i>Plagiomnium undulatum</i>							X
<b>Sonstige Arten</b>								
	<i>Cerastium arvense</i>	(X)						
	<i>Hieracium lachenalii</i>	X						
	<i>Taraxacum officinale agg.</i>	(X)	X	(X)				X
	<i>Senecio vernalis u. spec.</i>	(X)	X	X				
	<i>Festuca ovina</i>	(X)	X	X				
	<i>Cerastium semidecandrum</i>	(X)	(X)	(X)				
	<i>Hypochaeris radicata</i>	(X)	X	(X)				
	<i>Vicia angustifolia</i>	(X)	(X)	(X)				
	<i>Luzula campestris</i>	(X)	(X)	(X)				
	<i>Rumex acetosella</i>	X	X	X	(X)	(X)		
M	<i>Scleropodium purum</i>	X			(X)	(X)		
M	<i>Rhytiadelphus squarrosus</i>	(X)		(X)		(X)		
	<i>Holcus lanatus</i>	X				(X)		
	<i>Tanacetum vulgare</i>	(X)		(X)				
	<i>Medicago lupulina</i>	(X)		(X)				
	<i>Trifolium campestre</i>		(X)	X				
	<i>Trifolium dubium</i>		(X)					
	<i>Bromus hordeaceus</i>		(X)					
	<i>Geranium pusillum</i>		(X)					
	<i>Prunella vulgaris</i>		(X)					
	<i>Cirsium arvense et vulgare</i>		X					
	<i>Leontodon autumnalis</i>		X					
M	<i>Campylopus introflexus</i>	(X)	X					
M	<i>Campylopus flexuosus</i>		(X)					
M	<i>Polytrichum piliferum</i>							
	<i>Cerastium holosteoides</i>		X					
	<i>Aira praecox</i>		(X)	(X)				
	<i>Spergula morisonii</i>		(X)	(X)				
	<i>Potentilla argentea</i>		(X)	(X)				
	<i>Arenaria serpyllifolia</i>		X	(X)				
	<i>Hieracium pilosella</i>		X	(X)				
	<i>Veronica arvensis</i>		(X)	(X)				

	<i>Erophila verna</i>		(X)	(X)				
	<i>Arabidopsis thaliana</i>		(X)	(X)				
	<i>Myosotis ramosissima</i> , V		(X)	(X)				
	<i>Herniaria glabra</i>		(X)	(X)				
	<i>Luzula multiflora</i>			(X)		(X)	X	
	<i>Corynephorus canescens</i>							
	<i>Filago minima</i>		(X)	(X)				
	<i>Carex arenaria</i>			(X)				
	<i>Danthonia decumbens</i> , V			(X)				
	<i>Conyza canadensis</i>			(X)				
	<i>Hypericum perforatum</i>			(X)				
	<i>Linaria vulgaris</i>			X				
	<i>Astragalus glycyphyllos</i>			(X)				
	<i>Maianthemum bifolium</i>				(X)	(X)	(X)	X
	<i>Polypodium vulgare</i>					(X)		
	<i>Poa trivialis</i>					(X)	(X)	
	<i>Hypericum pulchrum</i> , 3T					(X)	(X)	
	<i>Chaerophyllum temulum</i>					(X)		X
	<i>Carex pallescens</i> , V						(X)	
	<i>Hypericum humifusum</i> , 3T						(X)	
	<i>Cardamine flexuosa</i>					(X)	X	X
	<i>Viola riviniana</i>		X				X	X
	<i>Cardamine pratensis</i>							X
	<i>Cardamine amara</i>							X
	<i>Vicia sepium</i>							X
	<i>Rubus caesius</i>							X
	dominierende Artengruppen in der Krautschicht		→	Zuordnung zur pot. nat. Waldgesellschaft				
Nr. 1	II 1, II 2a, III 2	→	Drahtschmielen-Buchenwald (ggf. mit Birke, Eiche, Kiefer)					
Nr. 2	I 1-2, II 1, II 2a, II 2c, III 2, (0 2)	→	(armer) Drahtschmielen-Buchenwald mit Birke, Eiche u. Kiefer					
Nr. 3	II 1, II 2a, II 2c	→	Drahtschmielen-Buchenwald (ggf. mit Birke, Eiche, Kiefer)					
Nr. 4	II 2b, II 3a, 0 2	→	typischer Drahtschmielen-Buchenwald					
Nr. 5	II 2b, II 3a, 0 2	→	Flattergras-Buchenwald → Drahtschmielen-Buchenwald					
Nr. 6	II 2a, II 3a-c, II 4, III 3, III 4a, IV 2-3, 0 2	→	frischer Flattergras-Buchenwald bzw. frischer Flattergras-Waldmeister-Buchenwald					
Nr. 7	II 3a-c, II 4, II 5a, III 3, III 4a/b, III 5a, IV 3-4a, 0 1, 0 2	→	Hexenkraut-Waldmeister-Buchenwald, stw. → edellaubholzreicher Sternmieren-Hainbuchen-Stieleichenwald mit Waldziest (Eschen-Buchenwald, Eschenmischwald)					
Erläuterungen zu den Standortsansprüchen der ökologischen Artengruppen								
I Gruppen mit Schwergewicht auf trockenen (und/oder warmen) Standorten								
II Gruppen mit Schwergewicht auf mäßig trockenen bis mäßig frischen Standorten								
III Gruppen mit Schwergewicht auf frischen bis sehr frischen Standorten								
IV Gruppen mit Schwergewicht auf wechselfeuchten und feuchten bis sickerfeuchten Standorten								
V Gruppen mit Schwergewicht auf mäßig nassen bis nassen Standorten								
VI Gruppen mit Schwergewicht auf nassen Standorten								
0 1 stärker nitrophile Arten								
0 2 schwächer nitrophile Arten								
1 Rohhumus								



2 schlechtere Moder-Humusformen
3 bessere Moder-Humusformen
4 F-Mull
5 L-Mull

**Nomenklatur:**

Die Nomenklatur der Farn- und Blütenpflanzen richtet sich nach Garve (2004): Rote Liste und Florenliste der Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen (NLÖ), diejenige der Moose nach Koperski (1999): Florenliste und Rote Liste der Moose in Niedersachsen und Bremen (NLÖ).

**Symbole:**

X = kommt vor, (X) = kommt am Bestandesrand vor, x = kommt in der Umgebung der Profilgrube vor, wurde aber wahrscheinlich eingeschleppt;

M = Moos, F = Flechte (nur bei den 'Sonstigen Arten' angegeben)

**Humusanreicherung in alten Heidepodsohlen (Karina Balzer 2017)**

Es ist ein eher subjektiver Eindruck, dass alte, mit Kiefern der 1. oder 2. Generation bestockte Heidepodsole Farbveränderungen im Oberboden aufweisen, in Richtung zunehmender Dunkelärbung durch Anreicherung von Humus. Die jahrhundertelange extreme Nährstoffverarmung und Versauerung führten in der Vergangenheit zu stark gebleichten Oberböden auf den armen Sandstandorten. Die interne und die externe Säurebelastung waren aufgrund von Biomasseentzug und Deposition sehr stark. Die Fragestellung, die untersucht wurde, war,

1. ob die Bleichungen in den letzten Jahren schwächer werden
2. ob es wieder zu verstärkter Humusanreicherung im Oberboden kommt.

Beide Prozesse laufen entgegen der eigentlich nur in einer Richtung ablaufenden Podsolierung, nämlich der fortschreitenden Versauerung und Verlagerung der Anreicherungshorizonte in größere Tiefen.

Die Humusanreicherung und die rückgehende Bleichung könnten verschiedene Ursachen haben:

1. Vorratsanstieg der stehenden Biomasse, höhere Streuproduktion
2. Rückgang der Säureeinträge

3. Kalkungsmaßnahmen
4. N-Einträge, Verbesserung des C/N-Verhältnisses
5. Veränderung der Humusform
6. Baumartenwechsel von Nadelholz zu Laubholz.

Alle Prozesse stehen mehr oder weniger in Wechselwirkung miteinander und können zunächst nicht getrennt untersucht werden. Es wurde daher im ersten Schritt lediglich untersucht, ob es Hinweise darauf gibt, dass diese Prozesse tatsächlich stattfinden.

**Versuchsansatz**

Es wurden 5 Heidepodsole unter Kiefer ausgewählt, an denen in den 80er- und 90er-Jahren Untersuchungen der Bodenmorphologie und Bodenchemie durchgeführt wurden. Diese Profile wurden erneut aufgesucht, und der Oberboden wurde detailliert untersucht. Teilweise waren die Profile bereits mit Laubholz unterbaut. Die Profile 1 und 2 der Glazialen Serie waren Bestandteil dieser Untersuchung.

**Ergebnisse** (werden auf der Exkursion vorgeführt)

## Tiefendurchwurzelung auf pleistozänen Standorten (Victor Steinmann 2015)

Aus Wasser- und Nährstoffbilanzen von Wald-ökosystemen lässt sich ableiten, dass die allgemein übliche Reduzierung der verfügbaren Ressourcen auf den obersten Metern teilweise im Missverhältnis zum Wachstum der Bäume steht. Darüber hinaus ist aus Einzeluntersuchungen schon länger bekannt, dass Bäume das Bodensolum bis zu mehreren 10 m erschließen können (Canadell et al. 1996). Es fehlt aber bisher an systematischen Untersuchungen, die versuchen, die komplexen Zusammenhänge zwischen den abiotischen Wachstumsbedingungen und der Tiefenerschließung durch Wurzelsysteme zu entschlüsseln und damit eine verbesserte Grundlage für die Abschätzung der verfügbaren Ressourcen und damit der Standortbewertung zu schaffen.

### Versuchsansatz

Durch die Zusammenarbeit mit der Klosterkammer ergab sich im Klosterforstrevier Garlsdorf die Gelegenheit, an 60 ausgewählten, bis 3,90 m tief ausgehobenen Bodenprofilen einen statistisch basierten Untersuchungsansatz zur Tiefendurchwurzelung von Waldbäumen auf den dortigen quartären Lockersedimenten durchzuführen.

Auswahlkriterien für die 62 Untersuchungsprofile waren:

- ein Baum mit BHD > 20 cm in einem Abstand von 6 m zur Stirnwand
- nur eine Baumart in der Umgebung des Profils
- grund- und stauwasserfrei.

Folgende Feldaufnahmen und Laboranalysen wurden durchgeführt:

- Wurzelzählung auf einem vertikalen 10 x 10 cm-Raster in Baumnähe (Unterscheidung Fein- und Grobwurzeln)
- Baummerkmale: BHD, Höhe, Distanz zur Profilwand
- Standortparameter: Bodenart, Kationenaustauschkapazität, geologische Schichtenfolge, Carbonatgehalt

- Profilbeschreibungen und Standortskennziffer (Rahmenschema Niedersächsisches Tiefland)

### Standorte

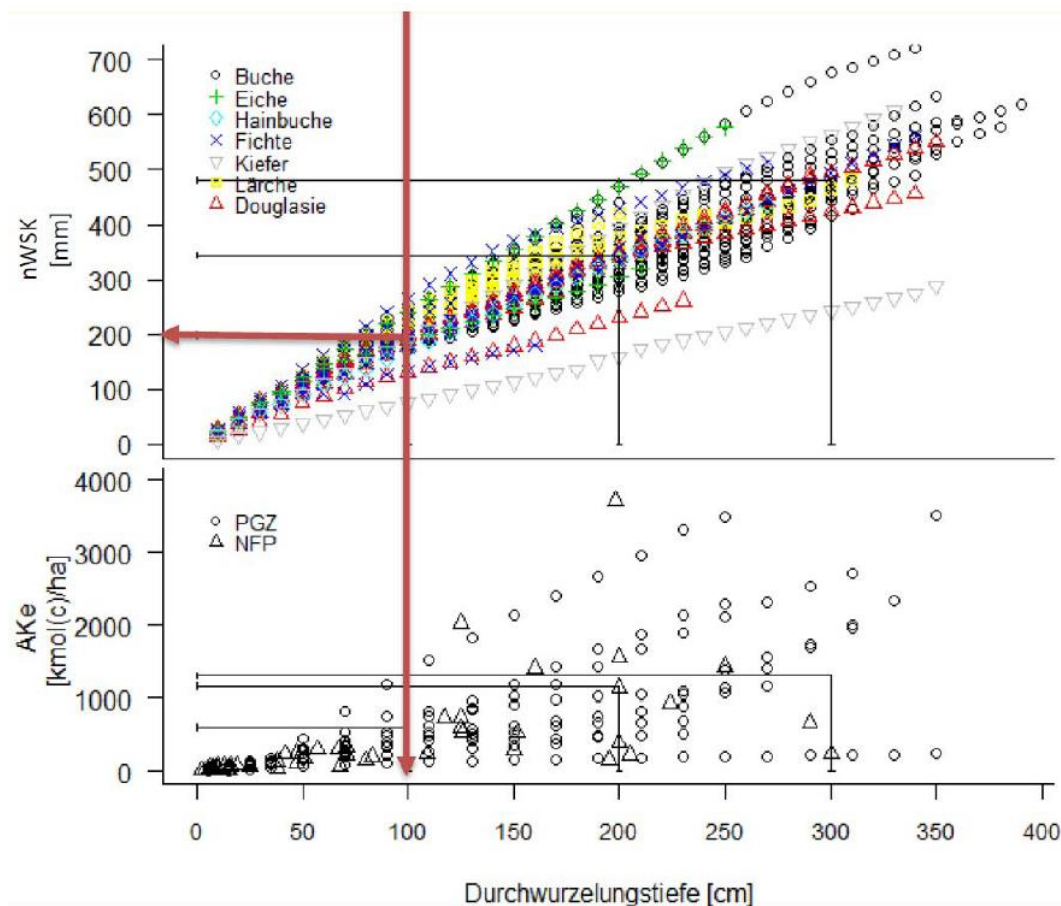
Das Untersuchungsgebiet liegt ca. 50 km nördlich, ist aber geologisch dem Exkursionsgebiet sehr ähnlich. Es wird geprägt durch einen Endmoränenzug aus der Saale-Eiszeit. Dementsprechend lassen sich sehr unterschiedliche geologische Schichtenfolgen finden, welche gleichzeitig eine große Variabilität in der Substratzusammensetzung bedingen. Für das Untersuchungsgebiet werden zehn verschiedene Schichtenfolgen unterschiedlicher Genese aus fünf stratigrafischen Zeitabschnitten ausgewählt. Flächig am weitesten verbreitet sind Geschiebedecksande über Schmelzwassersanden. Geschiebedecksande werden stratigrafisch der Weichsel-Kaltzeit zugeteilt, da sie durch periglaziale Einflüsse wie Bodenfließen, Ausschlammung oder Ausblasen der Feinsubstanz entstanden sind (Arbeitskreis Standortskartierung 2003, Zepp 2008). Die Schmelzwassersande werden dem ersten Drenthe-Stadial zugeordnet. Das zweithäufigste Vorkommen bilden Geschiebedecksande (Weichsel-Kaltzeit) über Geschiebelehmen aus dem jüngeren Drenthe-Stadial (Drenthe 2). Neben diesen flächig am weitesten verbreiteten Schichtenfolgen gibt es noch größere Abschnitte mit Löss (Weichsel-Kaltzeit) über Schmelzwassersand oder Geschiebelehmen. Auf kleinerer Fläche werden reine Lössstandorte und holozäne fluviatile Ablagerungen ausgewiesen. Eine Besonderheit für das Untersuchungsgebiet ist das Vorkommen hoch anstehender tertiärer Schichten. Stratigrafisch sind diese dem Pliozän (5,3–3,6 ma) und dem Miozän (23,3–7,2 ma) zugeordnet. Den miozänen Ablagerungen entsprechen tonige bis schluffige, auf eine marine Genese zurückzuführende Substrate. Die des Pliozäns werden aus fluviatilen Fein- bis Mittelsanden gebildet.

**Ergebnisse** (werden auf der Exkursion vorgeführt)

## Schlussfolgerungen

Die Frage der Tiefendurchwurzelung ist im weiteren Sinne eine Frage der verfügbaren Ressourcen und damit auch der Funktionalität tiefer Wurzeln. Daher zum Schluss ein Gedankenmodell, bei dem die Verfügbarkeit von Wasser (berechnet aus den Profildaten als nutzbare Wasserspeicherkapazität, nWSK) sowie Nährstoffen (effektive Kationenaustauschkapazität, Ake) in 10 cm-Stufen bis zur beobachteten maximalen Durchwurzelungstiefe für 10 untersuchte Profile berechnet wurde.

Die Beispiele zeigen, dass für die untersuchten Standorte und Baumarten eine Bewertung der verfügbaren Ressourcen, die auf einer untersuchten Profiltiefe von 0,8, 1,0 oder 1,2 m beruht, mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Es ist daher dringend geboten, sich – trotz des großen Aufwandes – mit der Frage des Beitrags tieferer Wurzeln zur Versorgung von Waldbeständen mit Wasser und Nährstoffen intensiver zu beschäftigen.



**Abb. 15:** Verfügbarkeit von Wasser- und Nährstoffen mit den beobachteten maximalen Durchwurzelungstiefen für 10 ausgewählte Profile

## Vergleich Harbütteler Holz – Maaßel (Ingo Siebert 2016)

### Einleitung

Beim Vergleich der beiden Standorte „Harbütteler Holz“ und „Maaßel“ fällt auf, dass sowohl das geologische Ausgangsmaterial, die Bodenmorphologie und die bodenchemischen Eigenschaften nahezu identisch sind. Beide Stand-

orte zeigen die Abfolge von Geschiebedecksand über Geschiebelehmen. Der Geschiebedecksand als weichselzeitliche Bildung ist im Mittel bei beiden Standorten ca. 50 cm mächtig. Die liegenden Geschiebelehme entstammen einer alten drenthestadialen Grundmoräne, die im

aufgegrabenen Bodenprofil carbonatfrei ist, aber im tieferen Unterboden noch carbonathaltig ist.

Die morphologische Ansprache zeigt eine geringe, maximal 20 cm tiefe Säurebleichung im Oberboden, bei der im Harmbütteler Holz schon eine ganz leichte Anreicherung zu finden ist. Ab ca. 50 cm zeigen sich die Stauinflüsse durch die Lehmunterlage, die deutlich reduzierte Leitfähigkeiten aufweist als der überlagernde sandige Geschiebedecksand. Zwischen der Pseudovergleyung und der Podsolierung läuft die Verbraunung als dominanter Bodenprozess ab. Da die Stauwassermerkmale tiefer als

40 cm beginnen, wurde als Bodentyp eine Pseudogley-Braunerde ausgewiesen, die im Harmbütteler Holz noch den Zusatz „schwach podsoliert“ erhält.

Die chemischen Analysen von 2006 (Tab. 1) zeigen bei dem stark sauren Oberboden mit pH-Werten in KCl im Bereich zwischen 3,2 und 3,9 kaum Unterschiede. Die Basensättigungen im Oberboden sind an beiden Standorten vergleichbar und im Oberboden durch Kalkungsmaßnahmen beeinflusst. Die Analyse des tieferen Unterbodens in der Maaßel deutet den Übergang zum Geschiebemergel an.

**Tab. 1:** Horizontbezogene bodenchemische Eigenschaften der Profile 6+7

Horizont	Tiefe cm	pH [H <sub>2</sub> O]	pH [KCl]	C-Geh. [mg/g]	N-Geh. [mg/g]	P-Geh. [mg/g]	KAKE mmol <sub>c</sub> /kg	Na [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Mn [%]	Al [%]	H [%]	Fe [%]	BS [%]
<b>Harmbütteler Holz</b>																
L + Of		5,5	4,8	316,0	11,4	0,74		0,4	3,7	38,0	8,2	8,7	29,6		11,3	50,3
Aeh	8	4,3	3,5	19,5	1,1	0,17	29,0	0,0	2,9	29,5	3,6	7,5	43,5	12,4	0,6	36
Ah-Bv	20	4,6	3,8	4,8	0,3	0,11	18,0	1,0	4,4	22,7	2,5	5,3	57,4	6,7	0,1	30,6
Bv	40	4,6	3,9	2,9	0,2	0,08	15,2	0,6	3,1	20,2	2,5	3,8	64,7	5,0	0,0	26,4
Sw	55	4,4	3,6	1,2	0,1	0,08	22,9	0,5	2,4	15,4	3,0	3,8	69,0	5,9	0,0	21,3
Swd	90	4,5	3,2	1,6	0,2	0,11	82,1	0,5	2,6	33,2	10,2	1,2	47,4	5,0	0,0	46,5
Swd	100	4,7	3,4	0,8	0,1	0,17	60,8	0,7	2,8	58,6	15,8	0,5	16,9	4,5	0,0	77,9
<b>Maaßel</b>																
L + Of		5,7	5,2	222,7	9,5	0,72		0,3	3,9	22,6	7,5	2,0	44,6		19,0	34,3
Aeh	10	4,2	3,3	23,8	1,5	0,24	58,8	0,4	1,9	30,9	9,4	2,0	42,4	10,3	2,7	42,6
Ah-Bv	20	4,2	3,3	10,9	0,7	0,17	48,0	0,3	1,8	21,5	8,6	1,9	54,4	9,9	1,7	32,2
Bv	35	4,2	3,4	7,5	0,6	0,14	44,1	0,5	1,3	12,2	5,0	2,6	71,2	6,6	0,6	19
Sw-Bv	45	4,3	3,4	4,6	0,4	0,11	49,1	0,4	1,4	13,5	4,5	2,7	71,9	5,4	0,3	19,8
Sw	53	4,5	3,3	3,7	0,4	0,09	66,1	0,6	1,9	33,9	6,9	1,7	49,3	5,6	0,1	43,3
II Swd	80	4,6	3,2	1,3	0,2	0,09	81,9	0,6	2,5	61,1	10,5	0,5	19,8	4,9	0,0	74,7
II/III Swd	130	7,0	6,4	8,8	0,2	0,28	534,7	0,3	0,8	96,3	2,5	0,0	0,0		0,0	99,9

Vor dem Hintergrund der morphologischen und bodenchemischen Befunde offenbart die Aufnahme der Vegetation Erstaunliches. Es gibt einen deutlichen Unterschied im Artenspektrum. Während im Harmbütteler Holz die Arten des

Fluttergras-Buchenwaldes mit den Erwartungen, die sich aus den anderen abiotischen Standortsfaktoren ergeben, konform sind, tauchen in der Maaßel Arten auf, die man eher aus dem Kalkbuchenwald kennt: *Allium ursinum*,



Mercurialis perennis, Ranunculus languinosus, Arum maculatum und Ranunculus ficaria sind mit hohen Stetigkeiten auf der gesamten Fläche vertreten, aber auch Adoxa moschatellina und Gagea lutea sind nach dem klassischen Standortverständnis nicht mit den bodenmorphologischen Befunden und den gemessenen bodenchemischen Werten vereinbar. Die Frage stellt sich daher, welche Gründe für das Vorkommen der Arten in der Maaßel verantwortlich sind.

Dazu wurden in den Jahre 2014/15 beide Bestände vergleichend untersucht.

## Versuchsansatz

- volumengerechte Oberbodenproben bis 40 cm
- Tiefenbohrung bis 5 m
- Streusammlung und -analyse
- Streuzersetzungsexperiment
- Vegetationsaufnahmen

**Ergebnisse** (werden auf der Exkursion vorgeführt)

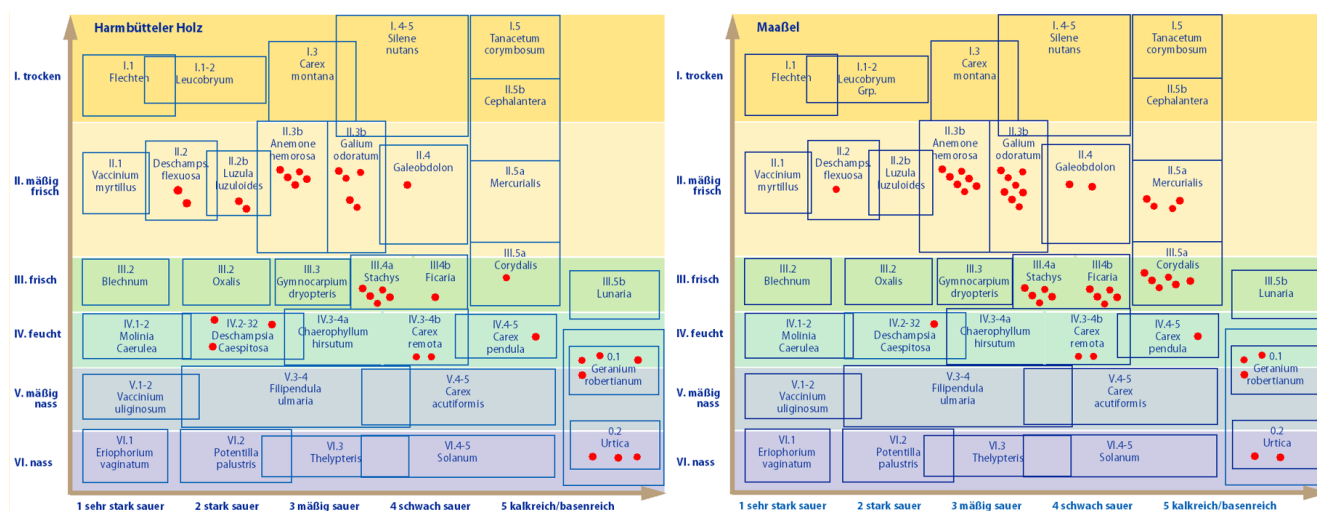


Abb. 16: Vergleich der krautigen Vegetation von Harmbütteler Holz und Maaßel

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass bei gleichem geologischem Ausgangsmaterial und Klima der Unterschied in den Laubbaumarten zu einer signifikanten bodenchemischen Veränderung führt. So zeigen die obersten 5 cm

höhere pH-, C- und N-Werte sowie Basensättigungen. Die erhöhte Basizität im Oberboden wird auf die Wirkung der Linden- und Hainbuchenstreu zurückgeführt, die schneller zersetzbar ist und eine höhere Basizität aufweist. Die krautige Vegetation in beiden Beständen spiegelt diesen unterschiedlichen Oberbodenzustand wider.

## Literatur

Arbeitskreis Standortkartierung (2003): Forstliche Standortsaufnahme. 6. Aufl. IHW-Verlag München

Balzer K (in Vorber.): Humusanreicherungen im Oberboden von alten Heidepodsolen im Nordwestdeut-

- schen Tiefland. Masterarbeit Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen
- Bittmann F (2005): Vegetations- und Landschaftsgeschichte. In: Fansa M, Both F, Haßmann H. Archäologie Land Niedersachsen. 25 Jahre Denkmalschutz - 400 000 Jahre Geschichte: 53–62
- Canadell J, Jackson RB, Ehleringer J, Mooney HA, Sala OE, Schulze E-D (1996): Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108: 583–595
- Ehlers J (2011): Das Eiszeitalter. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 363 S.
- Feldmann L (1999): Hildesheim im Eiszeitalter. Eine Bilderreise. In: Boetzkes M, Schweitzer I, Vespermann J (Hrsg.) *EisZeit. Das große Abenteuer der Naturbeherrschung. Begleitbuch zur gleichnamigen Ausstellung im Roemer- und Pelizaeus-Museum. Thorbecke, Hildesheim, Stuttgart*: 95–106
- Garve E (2004): Rote Liste und Florenliste der Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen. NLÖ: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
- Härdtle W, Ewald J, Hölzel N (2008): Wälder des Tieflandes und des Mittelgebirges. Eugen Ulmer KG, Stuttgart. 252 S.
- <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> (zuletzt abgerufen am 07.02.2017)
- Koperski M (1999): Florenliste und Rote Liste der Moose in Niedersachsen und Bremen. NLÖ: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
- Meschede M (2015): *Geologie Deutschlands - Ein prozessorientierter Ansatz*. Springer Spektrum
- Siebert I (2016): Waldvegetation, chemischer Bodenzustand und Streuqualität auf zwei Standorten des Nordwestdeutschen Tieflands. Masterarbeit Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen
- Steinmann V (2015): Tiefendurchwurzelung von Waldbäumen auf quartären Standorten im Norddeutschen Tiefland. Masterarbeit Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen
- Völksen G (1979): Aspekte zur Landschaftsentwicklung - Entwicklungstendenzen der niedersächsischen Landschaft und ihre ökologischen Auswirkungen. Veröffentlichungen des Niedersächsischen Instituts für Landeskunde und Landesentwicklung an der Universität Göttingen. Aktuelle Themen zu Niedersächsischen Landeskunde, Heft 1. Kommissionsverlag Göttinger Tageblatt GmbH und Co., Göttingen
- Völksen G (1984): Landschaftsentwicklung in der Lüneburger Heide - Entstehung und Wandel einer Kulturlandschaft. In: Brosius D, Fischer G, Manthey H, Völksen G (Hrsg.) *Landschaften Niedersachsens und ihre Probleme. Schriftenreihe der Niedersächsischen Landeszentrale für politische Bildung*. Verlag Gerhard Rautenberg, Leer. ISBN 3-7921-0308-7: 5–33
- Zepp H (2008): *Geomorphologie*. 4. Aufl. Ferdinand Schöningh, Paderborn

# B-04: Böden auf Kalk- und Gipsstein im Kyffhäuser

Reinhold Jahn, Klaus Kaiser, Robert Mikutta

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften – Bodenkunde und Bodenschutz, Von-Seckendorff-Platz 3, 06120 Halle (Saale)

## Exkursionsroute



### 1. Allgemeine Informationen

Allgemeine Informationen zum weiteren Exkursionsraum siehe C-01.

Der **Kyffhäuser** ist ein ca. 19 km langes und 7 km breites Mittelgebirge südöstlich des Harzes im Thüringer Kyffhäuserkreis sowie im sachsen-anhaltischen Landkreis Mansfeld-

Südharz, das eine Höhe von bis 473,6 m ü.NN erreicht und sich über rund 70 km<sup>2</sup> erstreckt.

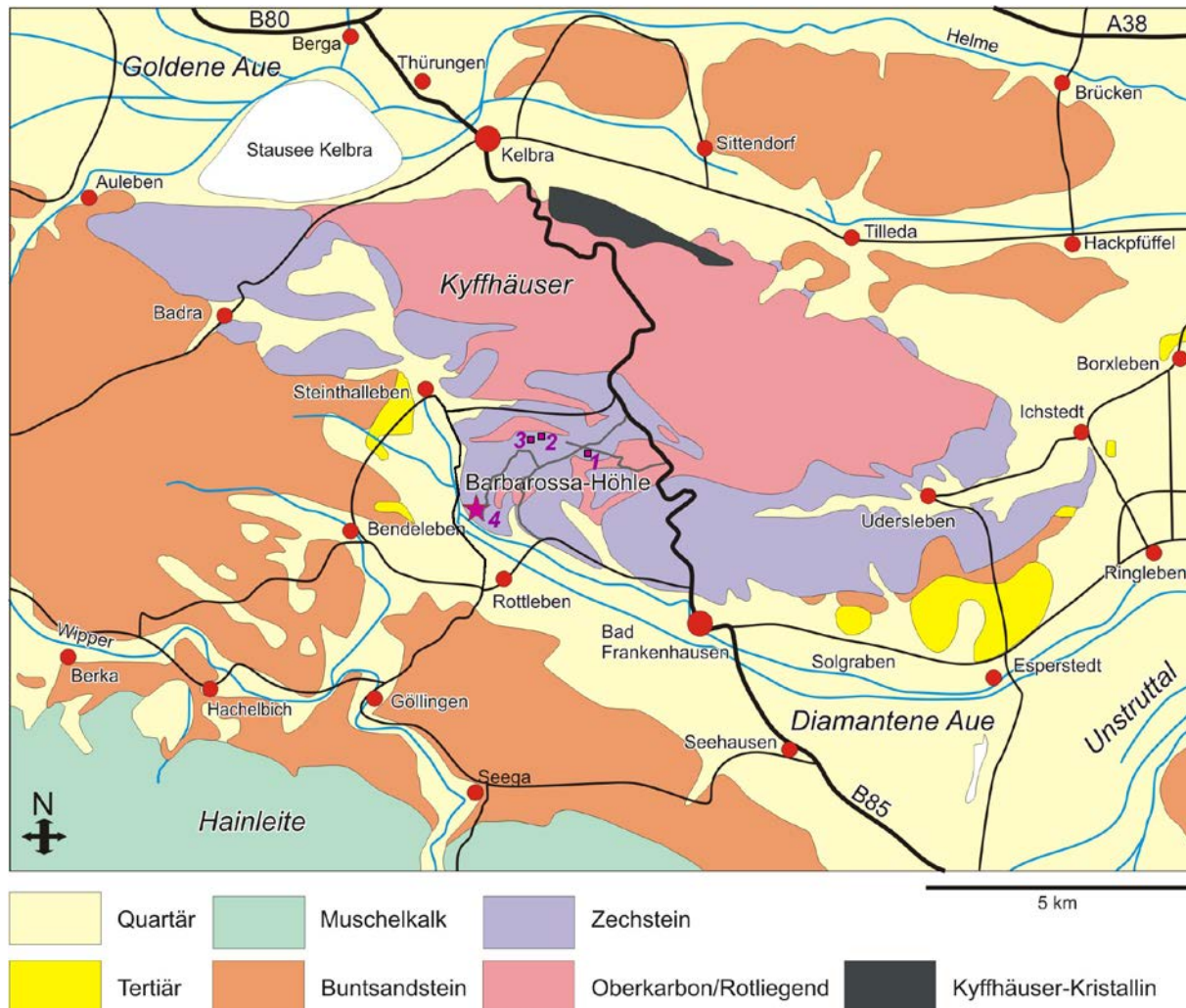
Seine höchste Erhebung ist der Kulpenberg, auf dem seit den 1960er-Jahren der Fernsehturm steht. Auf einem Bergvorsprung im Nordosten befinden sich die Ruinen der Reichsburg Kyffhausen, die Ende des 19. Jahrhunderts



durch das Kyffhäuserdenkmal zu Ehren Kaiser Wilhelms I. ergänzt wurden.

Während ein Großteil des Kyffhäusers mit Wald bedeckt ist, fallen an seinem Süd- und Westrand unbewaldete Hänge auf, die weitgehend auf Gipsgestein liegen. Der Kyffhäuser ist auch Namensgeber des Geoparks Kyffhäuser, der neben dem Kyffhäusergebirge noch weitere Gebiete wie die Windleite, Hainleite, Hohe Schrecke, Schmücke sowie das Unstruttal zwischen Gorsleben und Rossleben umfasst.

Am Fuße des Kyffhäusers, östlich der Reichsburg Kyffhausen bzw. des heutigen Kyffhäuserdenkmals, befindet sich die Königspfalz Tilleda. Als einzige vollständig ausgegrabene Pfalzanlage gilt Tilleda international als das Musterbeispiel einer früh- bis hochmittelalterlichen Herrscherresidenz (8.–13. Jh.). In einem Freilichtmuseum wurden am Originalstandort die wesentlichen Teile dieser imposanten Anlage teilrekonstruiert.



Geologische Karte des Kyffhäusers und Umgebung (Mertmann et al. 2014)

Das Kyffhäusergebirge ist eine geologische Bruch- bzw. Pultscholle am Nordrand der Hermundurischen Scholle. Sie ist zwischen 10 und 12 km breit und begrenzt das Thüringer Becken nach NE. Im NE wird die Hermundurische Scholle von der Kyffhäuser-Crimmitschau-Störungszone begrenzt, im SW von der Finne-Gera-Störung. Die Bildung der Pultscholle mit ihrer typischen Ankipfung im Norden und dem

flachen Abtauchen nach Süden ist auf tektonische Einengung im Mesozoikum zurückzuführen. Tief greifende Erosionsprozesse legten die oberkarbonisch-permo-triassischen Schichtfolgen frei und schnitten das kristalline Basement an, sodass die Höhen des Kyffhäusers im Norden die umliegende Landschaft heute um etwa 300 m überragen (Wunderlich 2005).

Das variszische Grundgebirge ist nur am Nordrand des Kyffhäusergebirges aufgeschlossen. Das ca. 1,5 km<sup>2</sup> große Areal bietet gute Einblicke in den komplexen Innenaufbau der Mitteldeutschen Kristallinzone (Hopf 2000, Franzke et al. 2007) mit metamorphen (z.B. Gneise, Amphibolite, Marmore) und magmatischen Gesteinen (z.B. Granodiorite).

Nach der variszischen Gebirgsbildung fand eine erste Exhumierung des Gebirges statt, die mit tiefgreifender Erosion verbunden war. Das Ergebnis dieses Prozesses ist das Permokarbon des Kyffhäusers. Rot gefärbte Konglomerate, Grobsandsteine, Arkosen, Ton- und Schluffsteine lagern dem Grundgebirge diskordant auf und erstrecken sich über weite Teile des Kyffhäusergebirges. Sie repräsentieren proximale und distale alluviale Schwemmfächer mit Übergängen zu Playaebenen. Die stratigrafische Einstufung im unteren Teil der Abfolge erfolgt auch durch die Bestimmung verkieselter Hölzer, *Oadoxylon schrollianum*, die dem Westfal D zugeordnet werden (Wunderlich 2005). Ob die klastische Serie, die im höchsten Teil das „Zechsteinkonglomerat“ umfasst, auch das Rotliegend repräsentiert, ist nicht bekannt.

Südlich des Permokarbons findet man im Kyffhäusergebirge weitere Sedimente wie Mergel, Karbonate, Sulfate und Salze. Sie entstanden als Ablagerungen und durch Eindampfungen des Zechsteinmeers. Die genannten Gesteine folgen zyklisch mehrfach übereinander. Der sogenannte Kupferschiefer gilt als Indiz für die erste marine Überflutung des Kyffhäusergebietes nach der variskischen Gebirgsbildung durch das Zechsteinmeer (Basis des Zechsteins, Werra-Formation). Darauf folgen in der **Werra-Formation** Zechstein- oder Werra-Kalk, Anhydrit (ca. 30 bis 35 m) und Steinsalz (ca. 10 m). Darüber folgt die **Staßfurt-Formation** mit einem basalen Stinkschieferhorizont (6 bis 8 m), geringmächtigem Anhydrit und Staßfurtsalz, das am Kyffhäuser eine Mächtigkeit von 300 bis 500 m erreicht. Die **Leine-Formation** des Zechsteins setzt mit dem 10 bis 60 m mächtigen Hauptanhydrit ein. Die darauf folgenden, höheren Zechsteinformationen sind nur durch 8 bis 10 m mächtige Rezessivfolgen

roter und grauer Tonsteine mit Einschaltungen von Dolomitbänken vertreten (Wunderlich 2005).

Oberflächlich sind die Halite vollständig aufgelöst. Die Laugung setzte wahrscheinlich bereits in der Oberkreide ein (Wunderlich 2005). Über der Zechstein-Basisfolge (Kupferschiefer-Zechsteinkalk) liegt daher nur ein Subrosionsprofil von mehreren übereinander liegenden, vollständig vergipsten Anhydrithorizonten, die nur vom Stinkschiefer unterbrochen werden.

Die aktive Laugung im Untergrund ist seit dem Tertiär bis heute aktiv. Durch die Subrosion im Untergrund senkten sich Becken ab, sodass Moore und Sümpfe entstanden (Wunderlich 2005). Zur Elsterkaltzeit ragte nur die Spitze des Kyffhäusers aus dem Eis heraus. In den weiteren Eiszeiten war er jedoch nicht durch Eis überdeckt (<http://www.cms.fu-berlin.de/geo/fb/e-learning/geofeld/>).

Mannigfaltige Formen des Gipskarstes, Höhlen, Solquellen und zahlreiche Bauschäden in der Region zeugen von der Auslaugung der Salz-, Anhydrit- und Gipsgesteine. Auffälligstes Beispiel ist der schiefe Turm der Oberkirche in Bad Frankenhausen.

## Literatur

- Franzke H-J, Zeh A, Meier S. (2007): Die metamorph-magmatische und strukturelle Entwicklung des Kyffhäuser Kristallins/Mitteldeutsche Kristallinzone - Vergleich mit der Wippra-Zone und dem Eckergneis/Harz. Z. geol. Wiss. 35, 1/2: 27–61, Berlin
- Hopf H (2000): Geotope des Kyffhäusers als Beispiel einer komplexen geoökologischen Einheit. Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen 10: 137–149, Weimar
- <http://www.cms.fu-berlin.de/geo/fb/e-learning/geofeld/>  
<http://www.geopark-kyffhaeuser.com/>
- Mertmann D, Fischer H-J mit Beiträgen von Adler A, Decker M (2014): Die Barbarossahöhle im Geopark Kyffhäuser. Geologie, Genese, Gesteine und Erdgeschichte
- Wunderlich J (2005): Abriss der Geologie des Kyffhäusers. Geowiss. Exkursionsführer und Mitteilungen 225: 7–11, Berlin/Hannover



## 2. Beschreibung der Standorte, Bodenprofile und Bodendaten

Hinweise zur verwendeten Analytik siehe C-01.

### Exkursionspunkt B-04/1: Kyffhäuser: Braunerde-Terra fusca

#### Standortsbeschreibung

Lokalität: Kyffhäuser (Wegkreuzung Waldweg 1 km von B 85 Richtung Barbarossahöhle)  
 WGS84: E 11.0699, N 51.3835  
 Gauß-Krüger: R: 44.35.358, H: 56.94.714  
 Klima: Mitteltemperatur 7,5 °C, Niederschlag 600 mm  
 Geländesituation: Hochfläche, südwest-exponiert, 1° geneigt, ca. 305 m ü. NN  
 Grundwasser: nicht relevant  
 Vegetation/Nutzung: Buchenwald

#### Profilbeschreibung

L 4-0 lückige Laubstreu, überwiegend Buche  
 Ah 0-3 sehr schwach skeletthaltiger, bräunlich schwarzer (7.5YR 3/2) sandiger Lehm, subpolyedrisches und polyedrisches Gefüge, sehr stark durchwurzelt  
 Bv-Tv -18 sehr schwach skeletthaltiger, brauner (7,5YR 4/4) lehmiger Ton, polyedrisches Gefüge, stark durchwurzelt  
 cmC >18 Frostaufbruch massiven Kalksteins mit zwischengeschalteten Mergellagen, diese: graugelblich brauner (10YR 5/4) sandiger Lehm, kohärentes Gefüge, sehr schwach durchwurzelt  
 Substrat: Residualton aus Kalkstein und Mergel, Sandlöss-beeinflusst  
 Bodensubtyp: Braunerde-Terra fusca  
 Humusform: L-Mull  
 Soil Group WRB: Skeletic, Cambic, Calcaric, Eutric Leptosol

#### Profildaten

(xx) = geschätzte Werte

Tiefe cm	Horizont	X,Gr	Korngrößenverteilung C-frei									C-haltig			Bod. art
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	Ton	OM	CaCO <sub>3</sub>	
0-3	Ah	<1	2,0	4,6	23	19	11	12	27	43	30	(25)	7,9	0,2	Ls
-18	Bv-Tv	<1	1,8	4,6	19	5	6	10	55	20	25	(54)	1,8	0,5	TI
>18	eICv+cmC	>80	1,2	4,0	24	15	10	9	37	34	29	(22)	1,3	39,3	Ls
	eICv	10	3,8	8,3	23	11	8	8	38	27	35	(22)	0,9	40,2	Ls

Tiefe cm	Horizont	pH	pH	EL	Kationenaustausch						BS %
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	mS cm <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al + H	KAK	
0-3	Ah	6,1	5,7	0,04	5,4	1,8	10,6	206	33	257	87
-18	Bv-Tv	5,8	5,3	0,03	3,6	1,6	7,1	110	115	237	52
>18	eICv+cmC	8,3	7,3	0,03	1,4	0,8	3,3	104	0	110	100
	eICv	8,4	7,4	0,02	1,0	1,2	2,7	64	0	69	100

Tiefe cm	Horizont	Fe <sub>d</sub> g/kg	Fe <sub>o</sub> g/kg	Fe <sub>o/d</sub>	Al <sub>o</sub> g/kg	Mn <sub>o</sub> g/kg	Si <sub>o</sub> g/kg
0-3	Ah	13,1	4,0	0,31	3,4	8,4	0,7
-18	Bv-Tv	16,5	3,2	0,19	3,8	4,9	0,4
>18	elCv+cmC	7,3	1,1	0,15	0,9	2,2	0,4
	elCv	5,6	0,9	0,16	0,5	1,5	0,3

Tiefe cm	Horizont	C <sub>tot</sub> g/kg	C <sub>anorg</sub> g/kg	C <sub>org</sub> g/kg	N <sub>tot</sub> g/kg	C/N	N <sub>min</sub> mg/kg	Olsen-P		
								PO <sub>4</sub> -P mg/kg	P <sub>org</sub> mg/kg	P <sub>tot</sub> mg/kg
0-3	Ah	45,9	0,2	45,7	3,2	14,5	27	3,0	7,2	10,2
-18	Bv-Tv	11,1	0,6	10,5	0,8	12,7	12	0,7	2,3	3,0
>18	elCv+cmC	54,8	48,3	6,6	0,5	14,6	9	0,6	0,9	1,5
	elCv	53,2	49,7	3,6	0,2	16,3	7	0,1	0,5	0,7

### Lumbricidenaktivität unter Buchenwald auf Kalkstein und Gips

Formalinanwendung, danach Handauslese bis ca. 10 cm Tiefe

07.11.2008: Lufttemperatur 9,5 °C, Bodentemperatur (5 cm) 9,1 °C

Art	Anzahl	Biomasse [g]	Indiv. Gew. [g]	Anzahl Arten
<b>Kalkstein (3 Teilflächen)</b>				
Aporrectodea rosea (adult)	1	0,13	0,13	
Aporrectodea rosea (juvenil)	11	2,33	0,21	
Lumbricus rubellus	1	0,46	0,46	
Lumbricus terrestris (adult)	4	12,79	3,20	
Lumbricus terrestris (juvenil)	1	1,58	1,58	
<b>Gesamt je m<sup>2</sup>:</b>	<b>18</b>	<b>17,29</b>	<b>0,96</b>	<b>3</b>
<b>Bewertung nach KA5: Lu2, en16, ep16, an67</b>				
<b>Gips (6 Teilflächen)</b>				
Dendrodrilus rubidus (adult)	6	0,51	0,09	
Dendrodrilus rubidus (juvenil)	3	0,11	0,04	
<b>Gesamt je m<sup>2</sup>:</b>	<b>9</b>	<b>0,62</b>	<b>0,07</b>	<b>1</b>
<b>Bewertung nach KA5: Lu1, ep100</b>				

### Exkursionspunkt B-04/2a: Kyffhäuser: Normkolluvisol

#### Standortsbeschreibung

Lokalität:	Kyffhäuser (Spionskopf, nördlich Wanderweg zur Barbarossahöhle)
WGS84:	E 11.0557, N 51.3852
Gauß-Krüger:	R: 44.34.367, H: 56.94.917
Klima:	Mitteltemperatur 7,5 °C, Niederschlag 600 mm
Geländesituation:	Karstsenke, nord-exponiert, 3° geneigt, ca. 305 m ü. NN
Grundwasser:	nicht relevant
Vegetation/Nutzung:	Naturschutzgebiet, Buchenwald

## Profilbeschreibung

L	6-0	Laubstreu (Buche)
Ah	0-15	sehr schwach skeletthaltiger, bräunlich schwarzer (7,5YR 2,5/2) schwach toniger Lehm, subpolyedrisches Gefüge, sehr stark durchwurzelt, undeutlicher Übergang zu
M	-42	sehr schwach skeletthaltiger, bräunlich schwarzer (7,5YR 3/2) schwach toniger Lehm, subpolyedrisches Gefüge, sehr stark durchwurzelt
mCn+M	>42	sehr schwach skeletthaltiger, bräunlich schwarzer (7,5YR 3/2) schwach toniger Lehm als Kluffüllung zwischen massiven Gipssteinen, subpolyedrisches Gefüge, stark durchwurzelt
Substrat:	kolluvialer Lehm aus Gipsresiduum und Sandlöss	
Bodensubtyp:	Normkolluvisol	
Humusform:	L-Mull	
Soil Group WRB:	Eutric Cambisol (Siltic, Colluvic, Humic)	

## Profildaten

(xx) = geschätzte Werte

Tiefe cm	Horizont	X,Gr	Korngrößenverteilung C-frei									C-haltig			Bod. art
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	Ton	OM	CaCO <sub>3</sub>	
0-15	Ah	<1	1,9	5	22	19	11	11	30	42	29	(27)	9,4	0,01	Lt2
-42	M	<1	1,5	4	19	18	11	10	36	39	24	(33)	9,2	0,01	Lt2
>42	Kluffüllung	<1	1,3	4	19	16	9	23	28	48	24	(26)	8,7	0,02	Lt2

Tiefe cm	Horizont	pH	pH	EL	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Kationenaustausch			KAK	BS %
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	mS cm <sup>-1</sup>			Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al + H		
0-15	Ah	7,8	7,4	0,17	0,5	1,2	2,0	200	0	204	100
-38	M	7,7	7,5	0,29	0,4	1,4	1,0	152	0	155	100
>38	Kluffüllung	7,6	7,5	1,23	0,8	1,8	2,6	179	0	184	100

Tiefe cm	Horizont	Fe <sub>d</sub> g/kg	Fe <sub>o</sub> g/kg	Fe <sub>o/d</sub>	Al <sub>o</sub> g/kg	Mn <sub>o</sub> g/kg	Si <sub>o</sub> g/kg
0-15	Ah	7,7	6,5	0,85	11,2	3,8	3,7
-38	M	6,8	4,6	0,67	9,0	2,2	3,2
>38	Kluffüllung	6,2	3,2	0,52	7,2	1,4	2,4

Tiefe cm	Horizont	C <sub>tot</sub> g/kg	C <sub>anorg</sub> g/kg	C <sub>org</sub> g/kg	N <sub>tot</sub> g/kg	C/N	N <sub>min</sub> mg/kg	Olsen-P		
								PO <sub>4</sub> -P mg/kg	P <sub>org</sub> mg/kg	P <sub>tot</sub> mg/kg
0-15	Ah	54,5	0,0	54,5	3,9	13,9	20	2,0	5,3	7,2
-38	M	53,6	0,0	53,6	2,5	21,6	21	1,3	3,9	5,2
>38	Kluffüllung	50,6	0,0	50,5	1,7	29,7	26	1,0	2,7	3,8

## Kennzeichnung der organischen Bodensubstanz in Auflagen (Ofh-Horizonte) und Oberböden (Ah-Horizonte) auf Gipsstandorten des Kyffhäusermassivs

Dichtentrennung bei  $d = 1.6 \text{ g/cm}^3$  nach Ultraschalldispersion, Unterscheidung partikulärer organischer Substanz (POM) und mineralgebundener organischer Substanz (MOM);

Analyse der Ligninkomponenten nach CuO-Oxidation; Bestimmung der freigesetzten Phenole mittels GC-MS (VSC = Summe ligninbürtiger Phenole, S/V = Verhältnis der Syringyl- zu Vanillineinheiten, (ac/al)<sub>v</sub> = Säure zu Aldehyd-Verhältnis der Vanillineinheiten)

Horizonttyp	POM			MOM		
	Masse	C <sub>org</sub> % Gesamtboden	N <sub>tot</sub>	Masse	C <sub>org</sub> % Gesamtboden	N <sub>tot</sub>
Ofh	7,4-34,1	18,3-44,5	9,2-38,7	65,9-92,6	55,5-81,7	61,3-90,8
Ah	0,6-3,0	3,7-9,0	1,3-8,5	97,0-99,4	81,0-96,3	91,5-98,7

Horizonttyp	VSC mg/g C <sub>org</sub>	S/V	(ac/al) <sub>v</sub>
Ofh	18,7-50,9	0,5-0,8	1,6-2,9
Ah	11,6-20,6	0,5-1,0	1,6-2,2

### Exkursionspunkt B-04/2b: Kyffhäuser: Lockersyrosem

#### Standortsbeschreibung

Lokalität: Kyffhäuser (Spionskopf, ca. 10 m oberhalb B-04/2a)  
 WGS84: E 11.0557, N 51.3852  
 Gauß-Krüger: R: 44.34.367, H: 56.94.917  
 Klima: Mitteltemperatur 7,5 °C, Niederschlag 600 mm  
 Geländesituation: Karstsenke, nord-exponiert, 15° geneigt, ca. 310 m ü. NN  
 Grundwasser: nicht relevant  
 Vegetation/Nutzung: Naturschutzgebiet, Buchenwald

#### Profilbeschreibung

Ofh +4-0 fleckenweise bis max. 4 cm mächtige bräunlich schwarze (7,5 YR 2/2) Auflage, fleckenweise Ai (nicht beprobt)

ICv1 0-40 sehr schwach skeletthaltiger, grauoranger (7,5 YR 6/4) angelöster Gips, ca. toniger Lehm, braunfleckig, nicht durchwurzelt, undeutlicher Übergang zu

ICv2 >40 sehr schwach skeletthaltiger, grauoranger (7,5 YR 7/3) angelöster Gips mit etwas festem Gipsgrus, ca. toniger Lehm, nicht durchwurzelt.

Substrat: angelöster Gips  
 Bodensubtyp: Lockersyrosem  
 Humusform: L-Mull  
 Soil Group WRB: Protic, Gypsic, Eutric Regosol



## Profildaten

Tiefe cm	Horizont	X,Gr	Korngrößenverteilung C-frei							C-haltig			
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	Ton	OM
	Ofh	<1	nicht relevant							41,7	0,00		
0-40	ICv1	<1	Dispergierung nicht möglich							1,6	0,00		
>40	ICv2	<2	Dispergierung nicht möglich							0,4	0,02		

Tiefe cm	Horizont	pH	pH	EL	Kationenaustausch						BS %
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	mS cm <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Al + H	KAK	
	Ofh	5,2	5,2	2,3	2,3	6,2	7,4	779	0	795	100
0-40	ICv1	3,8	3,7	1,0	0,2	3,5	1,3	3	0	8	100
>40	ICv2	4,1	4,0	2,2	0,1	1,9	0,6	1	0	3	100

Tiefe cm	Horizont	Fe <sub>d</sub> g/kg	Fe <sub>o</sub> g/kg	Fe <sub>o/d</sub>	Al <sub>o</sub> g/kg	Mn <sub>o</sub> g/kg	Si <sub>o</sub> g/kg
	Ofh	5,1	1,1	0,21	1,3	0,3	0,1
0-40	ICv1	0,1	0,1	0,56	0,1	0,0	0,0
>40	ICv2	0,1	0,0	0,23	0,0	0,0	0,0

Tiefe cm	Horizont	C <sub>tot</sub>	C <sub>anorg</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	N <sub>min</sub>	Olsen-P		
		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg		mg/kg	PO <sub>4</sub> -P mg/kg	P <sub>org</sub> mg/kg	P <sub>tot</sub> mg/kg
	Ofh	242,1	0,0	242,1	14,35	16,9	11	2,3	7,3	9,6
0-40	ICv1	9,2	0,0	9,2	0,32	28,3	11	0,4	0,1	0,6
>40	ICv2	2,2	0,0	2,2	0,07	30,9	6	0,4	0,0	0,4

## Exkursionspunkt B-04/3: Kyffhäuser: Normparabraunerde

### Standortsbeschreibung

Lokalität: Kyffhäuser (Spionskopf)  
 WGS84: E 11.0536, N 51.3847  
 Gauß-Krüger: R: 44.34.226, H: 56.94.870  
 Klima: Mitteltemperatur 7,5 °C, Niederschlag 600 mm  
 Geländesituation: Karstsenke, west-exponiert, 2° geneigt, ca. 300 m ü. NN  
 Grundwasser: nicht relevant  
 Vegetation/Nutzung: Naturschutzgebiet, Buchenwald

## Profilbeschreibung

Ah	0-5	steinfreier, stark toniger Schluff (Ut4), bräunlich schwarz (7,5 YR 2/2), Subpolyeder, stark durchwurzelt, eben-deutlicher Übergang zu
Al	-15	steinfreier, stark toniger Schluff (Ut4), graubraun (7,5 YR 5/4), Subpolyeder, mittel durchwurzelt, eben-deutlicher Übergang zu
Bvt	-40	steinfreier, mittel schluffiger Ton (Tu3), braun (7,5 YR 4/4), Sub- bis Feinpolyeder, schwache Tonbeläge, mittel durchwurzelt, eben-diffuser Übergang zu
Bt	-80	steinfreier, mittel schluffiger Ton (Tu3), braun (7,5 YR 4/6), Polyeder, deutlich Tonbeläge, mittel-schwach durchwurzelt, eben-abrupter Übergang zu
eIC	-110	steinfreier, mittel toniger Schluff (Ut3), grauorange (7,5 YR 6/4), kohärent, sehr schwach durchwurzelt, diffuser Übergang zu
eICc	-130	steinfreier, schwach toniger Schluff (Ut2-3), grauorange (7,5 YR 7/4), kohärent, Lösskindel, sekundäre Kalkausfällungen, sehr schwach durchwurzelt, eben-scharfer Übergang zu massivem Gips
Substrat:		Schluff, Ton und Carbonatschluff aus Löss über tiefem massivem Zechstein-Gips
Bodensubtyp:		Normparabraunerde
Humusform:		L-Mull
Soil Group WRB:		Haplic Luvisol (Siltic, Cutanic, Hypereutric)

## Profildaten

(xx) = geschätzte Werte

Tiefe cm	Hor.	X,Gr	Textur C-frei									C-haltig			Bod. art
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	Ton	OM	CaCO <sub>3</sub>	
0-5	Ah	<2	0,0	0,1	1,5	32	30	10	26	73	1,7	(23)	12,6	0,0	Ut4
-15	Al	<2	0,4	0,1	1,8	36	28	10	23	75	2,3	(23)	2,3	0,0	Ut4
-40	Bvt	<2	0,0	0,2	0,8	35	25	8	32	67	1,0	(31)	1,7	0,0	Tu3
-80	Bt	<2	0,0	0,0	0,0	30	23	9	38	62	0,0	(38)	1,0	0,0	Tu3
-110	eIC	<2	0,0	0,0	2,4	54	20	4	20	78	2,4	(15)	0,8	23,1	Ut3
-130	eICc	<2	0,0	0,4	2,8	58	19	4	17	80	3,2	(12)	0,8	27,0	Ut2-3

Tiefe cm	Hor.	Ld g/cm <sup>3</sup>	Ld <sub>eff</sub>	d g/cm <sup>3</sup>	GPV	Wasservolumen bei pF				kf cm/d	pH		
						1,8	2,5	3	4,2		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	
0-5	Ah	0,7	0,9	s.g.	2,38	69	45	29	25	15	182	6,2	5,5
-15	Al	1,3	1,5	s.g.-g.	2,58	51	41	32	25	20	17	4,7	4,1
-40	Bvt	1,3	1,6	mi-ho	2,61	45	41	30	26	23	22	5,3	4,4
-80	Bt	1,5	1,8	mi-ho	2,64	44	41	36	33	29	5	4,7	4,3
-110	eIC	1,3	1,4	s.g.-g.	2,66	53	48	33	22	17	19	8,0	7,5
-130	eICc	1,2	1,3	s.g.	2,67	54	49	35	23	16	16	8,0	7,5

Tiefe cm	Hor.	Oxide				C- und Oxid-freier Ton							
		Fe <sub>d</sub> g/kg	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o/d</sub>	Mn <sub>d</sub> g/kg	Chlor	chl.SV	Smek	Verm	WL	Illit	Kaolin	Quarz
0-5	Ah	3,7	0,8	0,2	0,1	12	3	0	1	19	40	1	23
-15	Al	3,7	0,5	0,2	0,1	7	7	19	37	0	10	3	17
-40	Bvt	4,3	0,4	0,1	0,4	0	7	31	15	0	39	2	4
-80	Bt	5,0	0,4	0,1	0,0	0	7	20	2	7	55	4	5
-110	eIC	2,9	0,2	0,1	0,0	0	10	45	0	0	34	5	6
-130	eICc	2,5	0,2	0,1	0,1	0	11	30	2	0	43	6	9

Tiefe cm	Hor.	Kationenaustausch								Nmin		Doppellaktat	
		Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S-Wert mmol <sub>c</sub> /kg	H+Al	KAK	BS %	NO <sub>3</sub> mg N/kg	NH <sub>4</sub> mg N/kg	P mg/kg	K mg/kg
0-5	Ah	9	149	1	1	160	2	162	99	40	13	27	48
-15	Al	6	64	1	1	72	36	108	67	1,4	16	20	35
-40	Bvt	10	91	1	1	103	25	128	80	0,4	13	23	42
-80	Bt	10	102	1	2	115	26	141	81	20	14	23	71
-110	eIC	9	144	2	1	156	0	156	100	0,3	9	20	26
-130	eICc	7	135	1	1	144	0	144	100	0,4	14	22	26

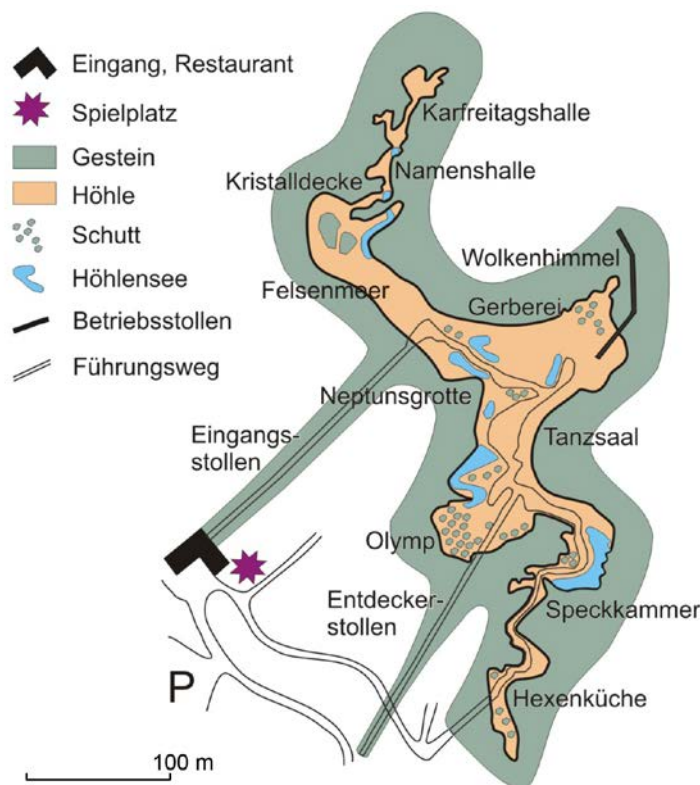
Tiefe cm	Hor.	Kohlenstoff Verbindungen					Mikrobielle Biomasse und Aktivität					
		C <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	C <sub>anorg</sub> g/kg	N <sub>t</sub>	C/N	Cmic (SIR) mg/kg Boden	Basal- atm. C <sub>org</sub> C/kg/h	qCO <sub>2</sub>	Katalase- zahl	Glucosidase Saligenin/kg Boden 3h	
0-5	Ah	63	63	0,0	3,6	17	430	6,8	3,4	8,0	61,5	73,2
-15	Al	12	12	0,0	0,8	14	47	4,1	0,9	18,5	4,2	10,3
-40	Bvt	9	9	0,0	0,7	12	26	3,0	0,6	21,2	2,4	7,2
-80	Bt	5	5	0,0	0,5	9	18	3,5	0,2	9,4	0,3?	9,8
-110	eIC	32	4	28	0,4	9	17	4,1	0,2	11,8	4,5?	5,2
-130	eICc	37	5	32	0,4	10	-	-	-	-	-	0,6

### Exkursionspunkt B-04/4: Kyffhäuser: Barbarossahöhle

Im Norden Thüringens, 6 km vom Soleheilbad Bad Frankenhausen entfernt, liegt im Kyffhäusergebirge die 13.000 m<sup>2</sup> große Barbarossahöhle. Sie ist eine von weltweit nur zwei exi-

stierenden Schauhöhlen im Anhydritgestein und damit eine absolute geologische Rarität. Am 20. Dezember 1865 wurde die Höhle zufällig von Bergleuten bei der Suche nach Kupferschiefer entdeckt und bereits wenige Wochen später als Schauhöhle freigegeben.

Die Barbarossahöhle entstand durch Verkarstung von Sulfaten des Zechsteins, die im südlichen Kyffhäuser weit verbreitet sind. Vom Typ her wird die Höhle den „Mansfeldischen Schloten“, genauer dem Wimmelburger Typ, zugeordnet (Brust 2005, 2008). Die nomenklatorische Einordnung erfolgte aufgrund der großen, miteinander verbundenen Räume, die niedrige, breite, teilweise labyrinthartige Verbindungen aufweisen. Höhlen dieses Typs befinden sich meist ca. 70 bis 150 m unterhalb der Erdoberfläche (Kempe 2008). Die Barbarossahöhle ist zudem als typische Laughöhle anzusprechen, da sie flache Laugdecken aufweist (Kempe 2008). Kleinere Hohlräume zeigen im Allgemeinen schnelle Lösungsvorgänge durch primär gipsuntersättigtes Wasser an. Größere Hohlräume entstehen, wenn die Gipsättigung des Wassers weiter vorangeschritten ist (Kempe



2008). Es lassen sich daher zwei Arten von Laughöhlen unterscheiden: flach-phreatische auf oder knapp unter dem Grundwasserspiegels sowie tief-phreatische weit unterhalb des Grundwasserleiters (Kempe 2008).

Neben der Höhle gibt es in ihrer Umgebung an der Erdoberfläche eine Reihe von Verkarstungserscheinungen wie Dolinen und Erdfälle, Karrenfelder und Kuppen (Gipsbuckel und Residualberge). Die Verkarstungsprozesse sind auch in der Gegenwart aktiv, wie an einem unerwartet erfolgten Erdfall bei Rottleben im Jahr 2009 zu erkennen ist.

## Literatur

- Brust M (2005): Die Erschließung und Entwicklung der Barbarossahöhle als Schauhöhle. Geowiss. Exkursionsführer und Mitteilungen 225: 18–3, Berlin/Hannover
- Brust M (2008): Die „Mansfeldischen Kalkschlotten“ und ihre Bedeutung für den historischen Kupferschiefer-Bergbau. Exkursionsführer und Veröffentlichungen DGG 235: 10–18, Hannover
- <http://www.barbarossahoehle.de/>
- Kempe S (2008): Gipskarst - Ein Überblick. Exkursionsführer und Veröffentlichungen DGG 235: 30–41, Hannover
- Mertmann D, Fischer H-J mit Beiträgen von Adler A, Decker M (2014): Die Barbarossahöhle im GeoPark Kyffhäuser. Geologie, Genese, Gesteine und Erdgeschichte

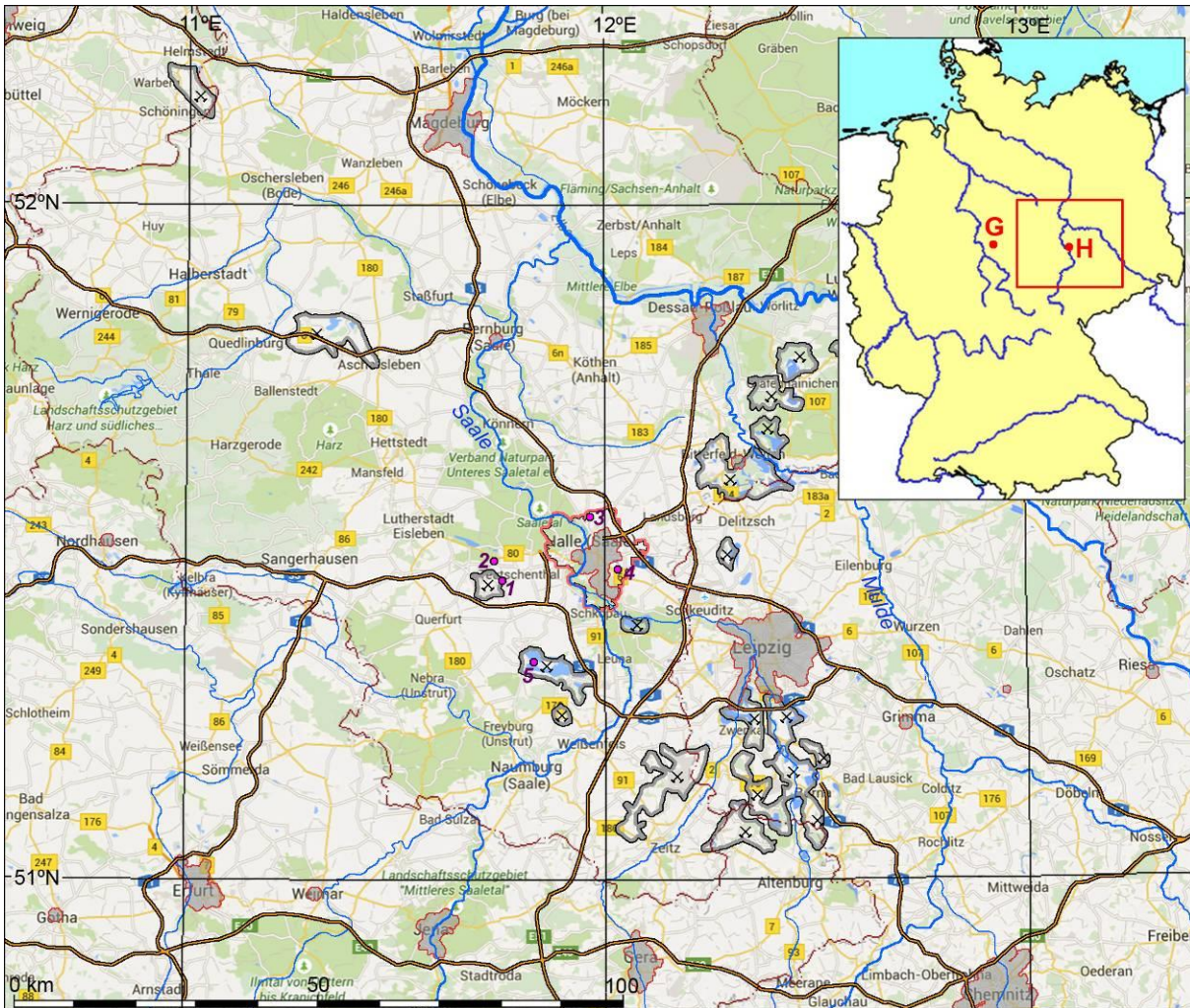
# C-01: Schwarze Böden in und um Halle (Saale)

Reinhold Jahn<sup>1</sup>, Klaus Kaiser<sup>1</sup>, Bruno Glaser<sup>2</sup>, Katja Wiedner<sup>2</sup>, Galina Machulla<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften – Bodenkunde und Bodenschutz, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 3, 06120 Halle (Saale)

<sup>2</sup> Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften – Bodenbiogeochemie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 3, 06120 Halle (Saale)

## Exkursionspunkte









Das Kristalline Grundgebirge besteht aus stark konsolidierten und gefalteten Gesteinen des Proterozoikums und Paläozoikums. Es ist Teil des Variszischen Grundgebirges, welches, dem herzynischen Trend folgend, generell NW-SE ausgerichtet ist.

Paläozoische kristalline Schiefer und Tiefengesteine des Saxo-Thuringikums sind nur am Kyffhäuser aufgeschlossen. Nordwärts schließt sich die Rhenoherynische Zone an. Sie besteht aus Grauwacken, Tonschiefern und mit Diabasen und Tuffen assoziierten Quarziten. Lokale Aufschlüsse des Rhenoherynikums sind im Harz zu finden. Der Harz, mit einer maximalen Höhe von 1.141 m ü. NN (Brocken), ist das nördlichste Mittelgebirge Deutschlands. Seine Entstehung begann im Devon während der Variszischen Orogenese und wurde während der sub-herzynischen Hebungsphase in der Oberen Kreide abgeschlossen.

Die Oberfläche des kristallinen Grundgebirges bildet die Basis des Saale-Beckens. In dieses Molassebecken lagerten sich während des Permokarbons mächtige Wechselfolgen von Sand-, Schluff- und Tonsteinen ab. Zwischengeschaltet in die Sedimentpakete sind vulkanische Tuffe und vereinzelt Kohle. Im Großraum Halle/Saale und südöstlich des heutigen Harzes kam es während des Perms zu magmatischer Aktivität, wobei felsische bis intermediäre Vulkanite oberflächennah in die umliegenden Sedimente eindrangen. Die Vorkommen der permischen Rhyolithe werden in Halle/Saale als Hallescher Porphyry bezeichnet und sind in Form von rezenten Inselbergen charakteristisches Merkmal der Landschaft des südlichen Sachsen-Anhalts.

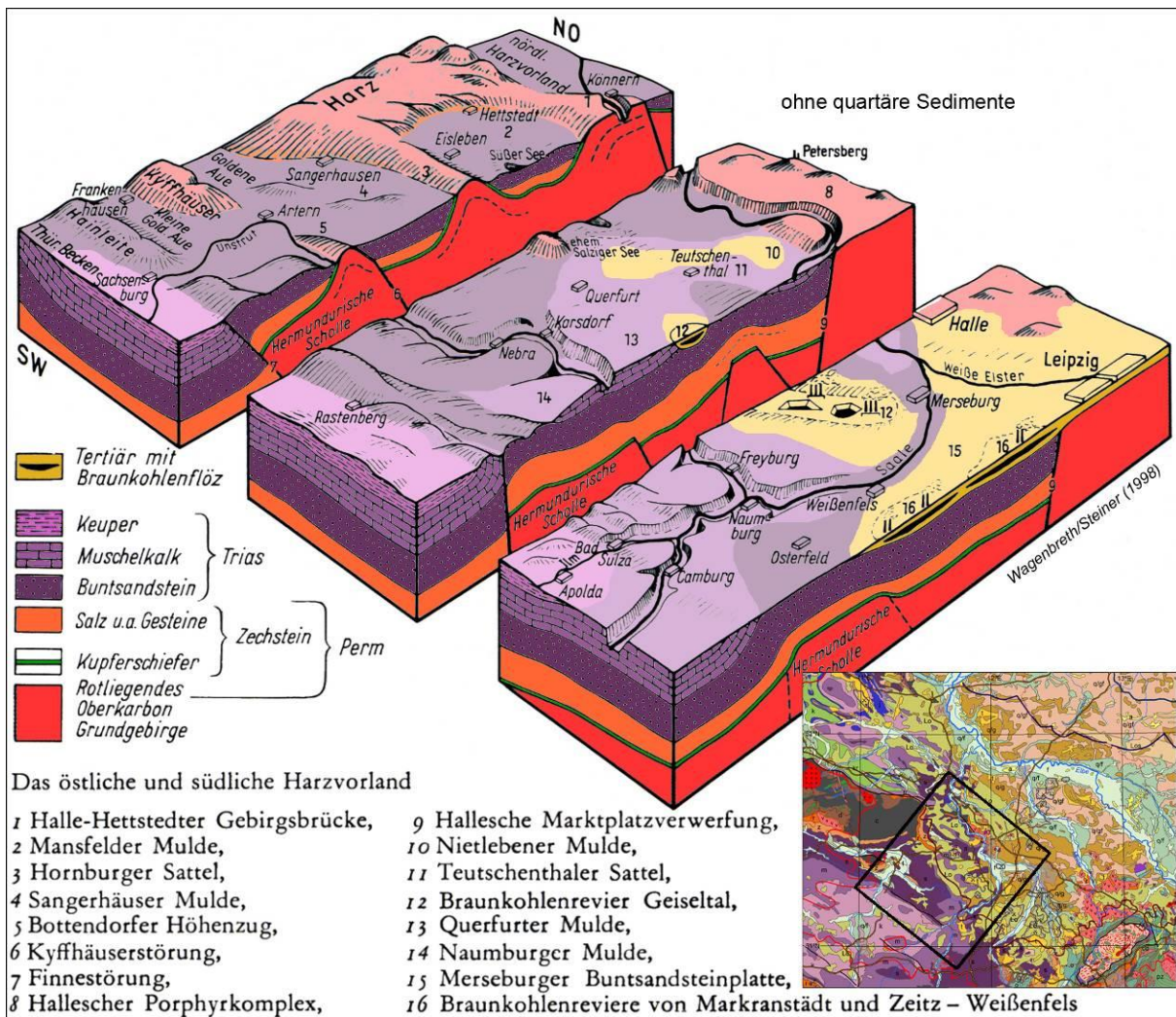


Abb. 2: Geologie des östlichen und südlichen Harzvorlandes

Das variszische Übergangsstockwerk (Molasse) wird vom Tafelgebirgsstockwerk überlagert, welches aus einer ca. 1.500 m mächtigen Schichtenfolge vom Zechstein bis zum Muschelkalk besteht (Blumenstengel et al. 2006). Die Struktur des Tafeldeckgebirges ist im Wesentlichen durch saxonische Tektonik geprägt. Geringmächtige Lagen von Kupferschiefer (~275 Ma) bilden die Basis des Zechsteins. Sie werden von mächtigen Wechselfolgen aus Salzen, Anhydrit, Gips und Karbonaten überlagert (Abb. 2). Die späte extensive saxonische Tektonik führte zu lateralen und horizontalen Bewegungsmustern der einzelnen Schollen. In Arealen mit Salzablagerungen wurden diese Bewegungen durch Salzfluss kompensiert, in dem das Salz entlang der Störungsbahnen aufstieg und Salzkissen und Salzstöcke formte.

Triassische Sedimente sind in Sachsen-Anhalt gut entwickelt, doch teilweise von Ablagerungen des Juras und der Kreide überlagert. Sie können insbesondere südlich des Harzes und im Thüringer Becken oberflächennah gefunden werden.

Weite Teile Sachsen-Anhalts sind von känozoischen Lockergesteinen bedeckt. Im Norden und Osten dominieren Sande und Tone des Paläozäns und Miozäns, in denen lokal Kohlen gefunden wurden. Mächtige Braunkohlenlagerstätten bildeten sich während des Eozäns bis ins Oligozän in den Senken im südlichen Sachsen-Anhalt (Geiseltal).

Die tertiären Lockergesteine sind wiederum häufig von quartären fluviatilen und eiszeitlichen Sedimenten überlagert. Die Überprägungen durch die Elster-, Saale- und Weichsel-Eiszeiten formten das heute durch Grundmoränen, Endmoränen und Sanderflächen gekennzeichnete Landschaftsbild. Allerdings treten die Geschiebe der Weichsel-Eiszeit nur im Nordosten von Sachsen-Anhalt auf. Weiter nach Süden gehend, dominieren mächtige Lössablagerungen, deren Körnungsspektrum von West (Löss mit >70 % Schluff) nach Ost (Sand-Löss mit <70 % Schluff) gröber wird.

## 1.2 Geologie von Halle (Saale)

Die vorherrschenden geologischen Strukturen im Raum Halle/Saale sind Ergebnis des für die Gegend typischen geologischen Stockwerkbau, der sich bis in das Proterozoikum zurückverfolgen lässt. Obwohl weite Teile des heutigen Reliefs durch tertiäre und quartäre Sedimente überlagert sind, ermöglichen die geologischen Einheiten des Harzes und des Kyffhäusers einen tieferen Blick in die Vergangenheit. Die Stadt Halle selbst befindet sich über dem kristallinen Kern der östlichen Mitteldeutschen Kristallinzone (Schwab 1999), an die sich in Richtung Süden die lithologischen Einheiten des Saxothuringikums anschließen. Die Mitteldeutsche Kristallinzone baut sich aus Plutoniten auf, welche während der Variszischen Orogenese vor etwa 330 Ma in Paragneise und Amphibolite intrudierten (Bachmann u. Ehling 2006).

Das Stadtgebiet von Halle wird durch die Hallesche Störung in die gehobene Scholle des Halle-Wittenberg-Blocks im NE und die abgesenkte Scholle der Mansfelder und Nietlebener Mulde im SW unterteilt. Gesteine des Permokarbons, überdeckt von geringmächtigen känozoischen Sedimenten, sind die typischen lithologischen Einheiten der Halle-Wittenberg-Scholle. Der tiefere Merseburg-Block wird von Sedimenten des Perms (Zechstein) und der Trias bedeckt. Entlang der Störungszone gelangten salzhaltige Wässer an die Oberfläche, die bereits seit der Bronzezeit zur Salzgewinnung genutzt wurden und der Stadt Halle ihren Namen gaben.

Weitere auffällige Merkmale der Region Halle sind die aus der sonst eher flachen Morphologie herausragenden Inselberge. Sie bestehen aus Rhyolithen des Perms und werden aufgrund ihrer Struktur und lokalen Verbreitung als Hallescher Porphyry bezeichnet. Durch tektonische Hebungsaktivitäten während des Übergangs von der Kreide zum Tertiär wurden die Gesteine des oberen Mesozoikums im Gebiet um Halle erodiert und sind heute nicht mehr auffindbar.

Die jüngeren Sedimente des Eozäns und Oligozäns bestehen aus Sanden und kohlehalti-



gen Tonen. Die ältesten quartären Gesteine des Exkursionsgebietes sind präglaziale Fluss-schotter. Alle weiteren Ablagerungen weisen glazigene Merkmale auf. Während der Elster-Vereisung im Pleistozän wurden Geschiebemergel mit eingeschalteten glaziofluvialen Sanden abgelagert. Gebänderte Tone und

mächtige Lössablagerungen sind die Hinterlassenschaften der Saale- und der Weichsel-Vereisung. Des Weiteren wurden die rhyolithischen Inselberge durch das Eis abgerundet und Gletscherschliffe angelegt, welche noch heute auf dem kleinen Galgenberg in Halle sichtbar sind.

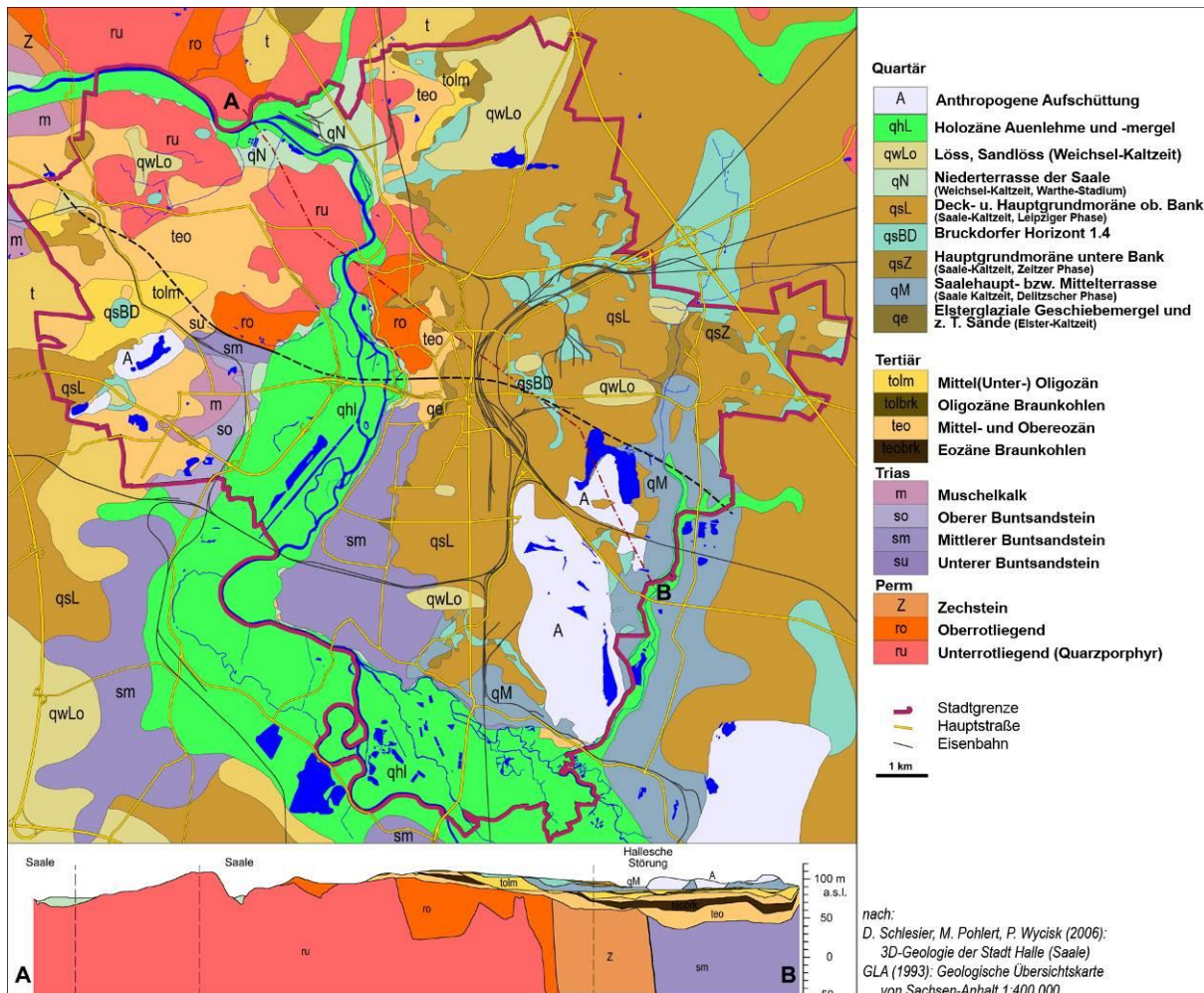


Abb. 3: Geologische Karte von Halle (Saale) und Umgebung

### 1.3 Bergbau in und um Halle (Saale)

Weite Teile der heutigen Landschaft innerhalb und um das Stadtgebiet von Halle sind nicht natürlichen Ursprungs, sondern wurden durch menschliche Aktivitäten geformt und verändert. Hauptgrund dafür waren die abbauwürdigen Vorkommen verschiedener Rohstoffe, die seit über 800 Jahren in intensiv betriebenem Bergbau gefördert wurden.

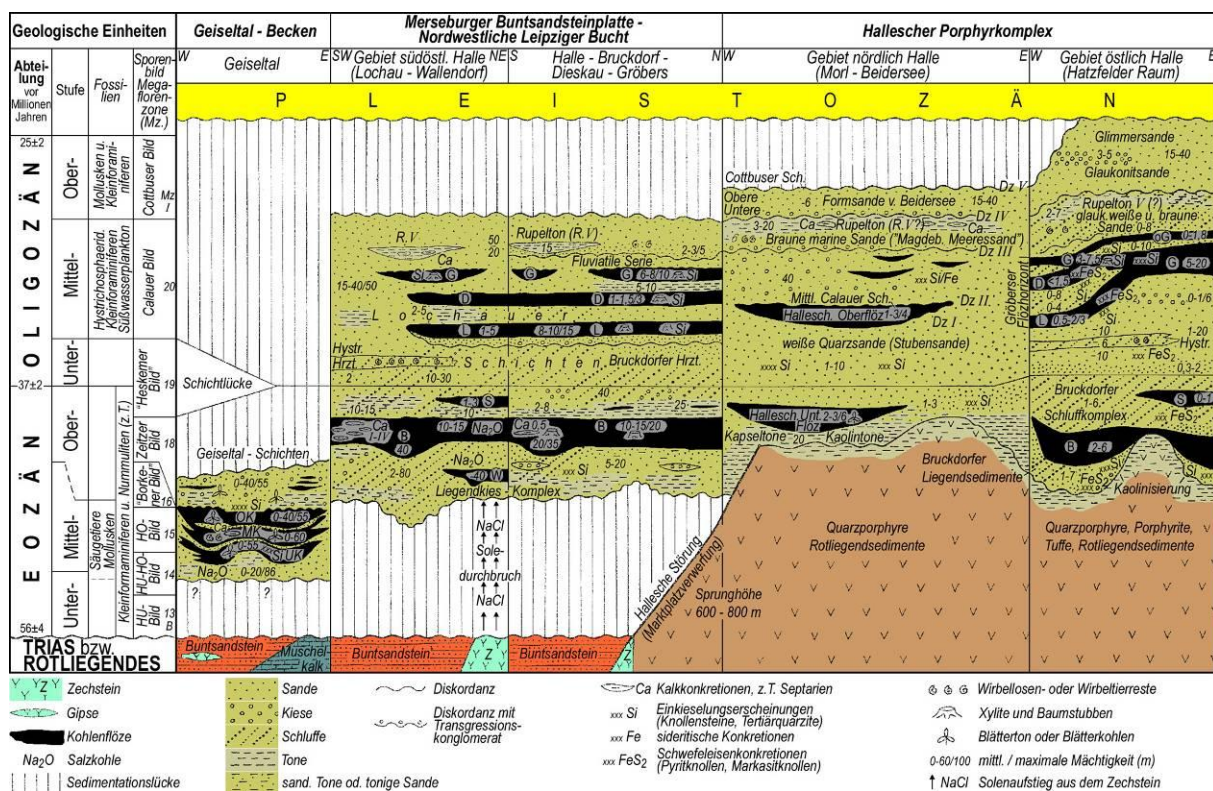
Bis vor einigen Jahren wurde Kupfer in der Gegend um Eisleben und Sangerhausen abgebaut. Die primäre Vererzung war an den Kupferschiefer (Perm) gebunden. Obwohl nur

50 cm mächtig, erwies sich der Kupferschiefer aufgrund hoher Gehalte an Kupfer, Blei, Zink, Gold, Silber und Platin als abbauwürdig. Schon vor über 1.200 Jahren begann der Abbau, sichtbar an kleinen Schürffgruben aus dem Mittelalter. Mithilfe moderner Fördermethoden wurde der Kupferschiefer bis in Tiefen von 1.000 m abgebaut. Unverkennbares Zeichen dieser Aktivitäten sind die bis zu 100 m hohen und weithin sichtbaren Kupferschieferhalden.

In Bernburg und Teutschenthal wurden Steinsalz (NaCl) und K-Salze (Sylvin KCl, Carnallit

KMgCl<sub>3</sub>·6 H<sub>2</sub>O) unter Tage abgebaut. Die gefördert Salze entstammen der Zechstein-Formation, welche aus einer mächtigen Wechselfolge von Anhydrit, Gips und Karbonaten aufgebaut ist. Durch die unterirdische Förderung wurden ca. 12 Mio. m<sup>3</sup> an Höhlen und Stollen geschaffen, die mittlerweile größtenteils verfüllt wurden. Zwischen Teutschenthal und Bad Lauchstädt werden die ehemaligen Salzkavernen als Gasspeicher verwendet. Die unübersehbare Spülhalde von Teutschenthal erinnert heute an den einst so wichtigen Salzabbau.

Noch wichtiger als die Salzgewinnung war die Förderung von Braunkohle. Selbst innerhalb der Stadtgrenzen wurde die Kohle in kleinen Tagebauen gewonnen. Die Braunkohle ist tertiären Ursprungs und war aufgrund ihrer oberflächennahen Lage besonders im W, SW (Geiseltal) und S von Halle leicht zu fördern. Die Ablagerung der Braunkohle im mittlerweile gefluteten Geiseltal begann im Mittleren Eozän und setzte sich im Mittleren Oligozän in Richtung NE fort (Abb. 4). Zwischen 1698 (Geiseltal) und 1790 (Halle) begann die Förderung der Braunkohle. Heute sind alle Tagebaue geschlossen.



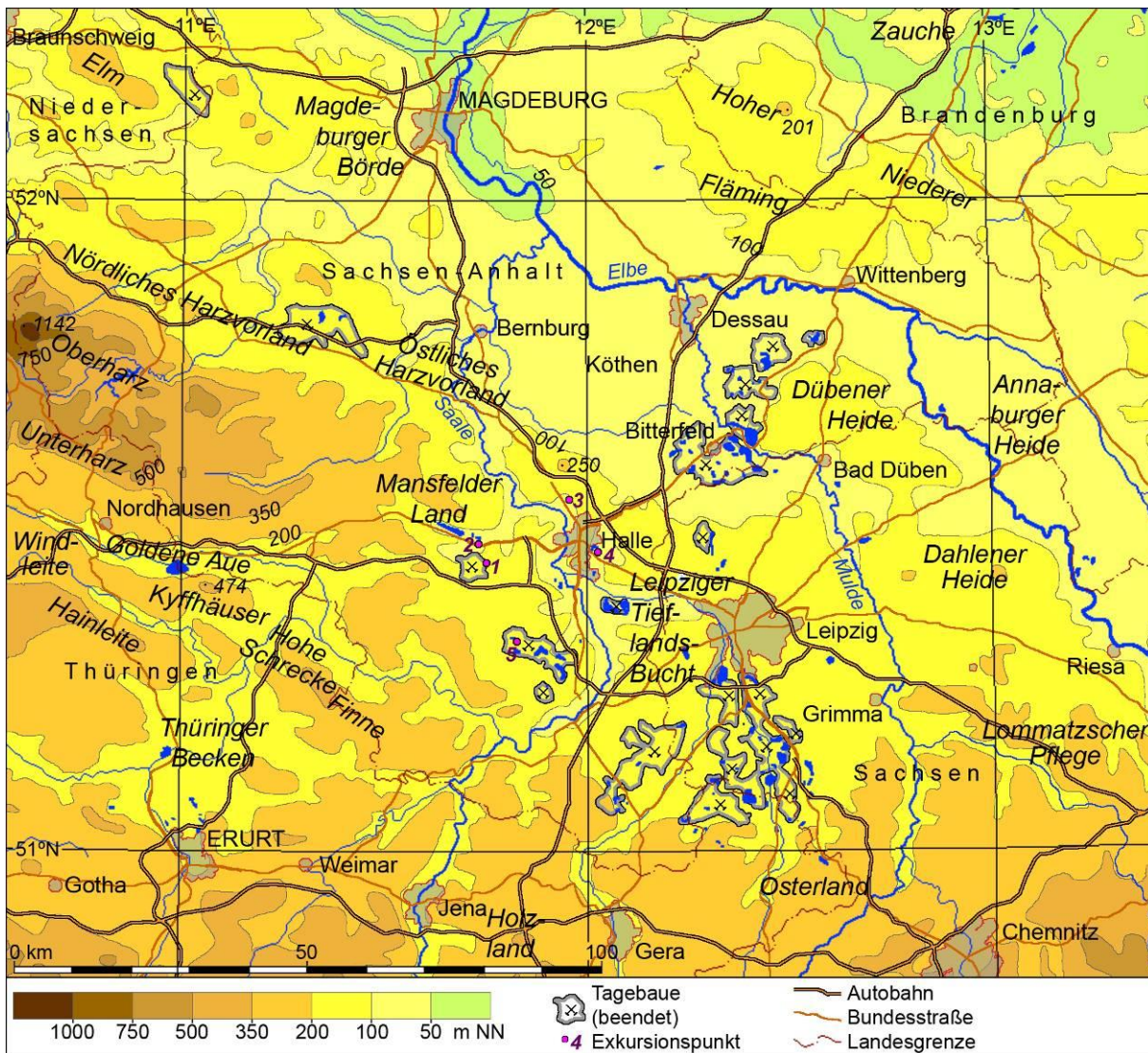
**Abb. 4:** Schematische Schichtenfolge und Faziesverhältnisse im Tertiär des Gebietes in und um Halle (Saale) (nach G. Krummbiegel in Krummbiegel u. Schwab 1974)

Aufgrund des warmen Klimas während des Tertiärs setzte eine starke Verwitterung der permischen Rhyolithe ein, die zur Ausbildung mächtiger Kaolinitkrusten führte. Nördlich von Halle entstanden Kaolinlagerstätten, die teilweise bis heute im Tagebaubetrieb abgebaut werden (z. B. bei Morl).

Von geringerer lokaler Bedeutung war die Förderung von Steinkohle. Der Quarzporphyr wurde primär als Schotter, aber auch als Baustein zur Verkleidung von Bauwerken abgebaut. Momentan ist nur noch ein Steinbruch am Petersberg, 12 km nördlich von Halle, in Betrieb.



## 1.4 Topografie des weiteren Exkursionsraumes



**Abb. 5:** Topografie und Landschaften des weiteren Exkursionsraumes

Sieht man von der Erhebung des Harzes (Brocken 1.141 m ü.NN) ab, sind die Höhenunterschiede in der Region sehr gering (Abb. 5). Die Elbaue liegt bei Wittenberg auf 70 m ü.NN und die westlich daran anschließende Bördenlandschaft um 100 m ü.NN. In und um Halle ist eine Porphyrkuppenlandschaft entwickelt, deren herauspräparierte Porphyrkuppen deutliche Landmarken sind. Der Petersberg ist mit 250 m ü.NN die höchste Erhebung der Region.

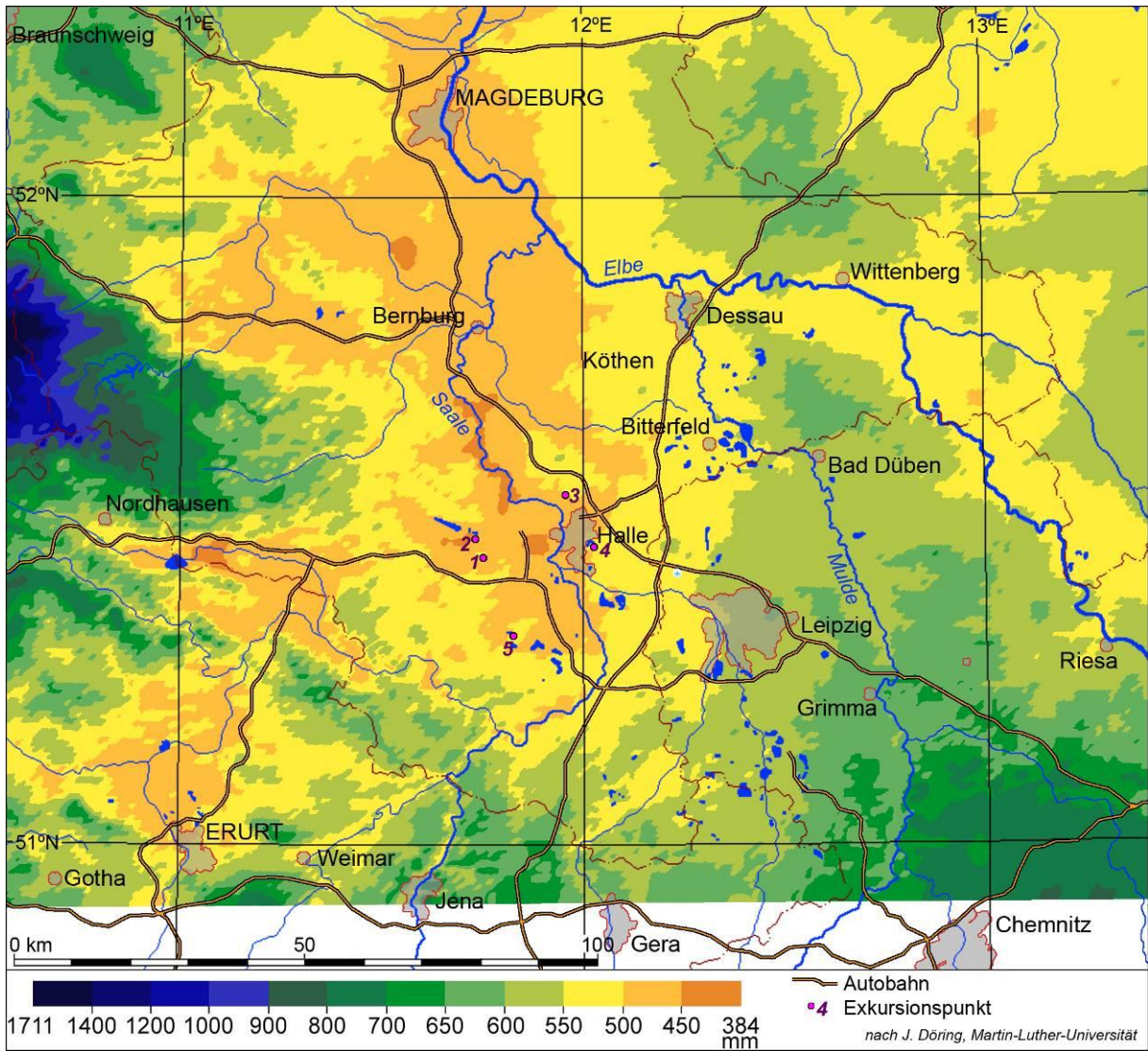
## 1.5 Klimatische Bedingungen

Die höchsten Niederschläge des weiteren Exkursionsraumes können mit >1.500 mm an der Westabdachung des Harzes gefunden werden. Wegen der vorherrschenden Westwinde (siehe Abb. 7) liegt das engere Exkursionsgebiet im

Regenschatten des Harzes. Mit ca. 450-500 mm Jahresniederschlag (siehe Abb. 6) gehört das Gebiet in und um Halle zu den trockensten Regionen Deutschlands.

Die durchschnittlichen Jahresmitteltemperaturen liegen im Flachland bei 9.4 °C (siehe Abb. 7). In der Soil Taxonomy (USDA 1999) werden die Klimadaten von Halle-Kröllwitz genutzt, um ein ustic soil moisture regime und ein mesic soil temperature regime zu illustrieren. Daten des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung UFZ (Bad Lauchstädt) belegen, dass in den weit verbreiteten Tschernosemen die Bodentemperatur im Jahresmittel ca. 1 °C höher liegt als die Lufttemperatur.





**Abb. 6:** Durchschnittliche jährliche Niederschlagssummen im weiteren Exkursionsgebiet (1961–1990)

Grundwassererneubildung kann nur im Zeitraum September bis März erwartet werden. Das stärkste Wasserdefizit tritt zwischen Mai und August auf. Für die nächsten 50 Jahre ist ein Rückgang des Jahresniederschlags um 100 bis 150 mm für die Region Magdeburg-Bernburg und ein Rückgang um 50 bis 100 mm für

die Region um Halle und die meisten anderen Flachländer der Region prognostiziert (Gerstengarbe et al. 2003).

Eine Zunahme der mittleren Jahreslufttemperatur um ca. 1,7 °C seit 1900 konnte in Bad Lauchstädt ermittelt werden (Abb. 8).

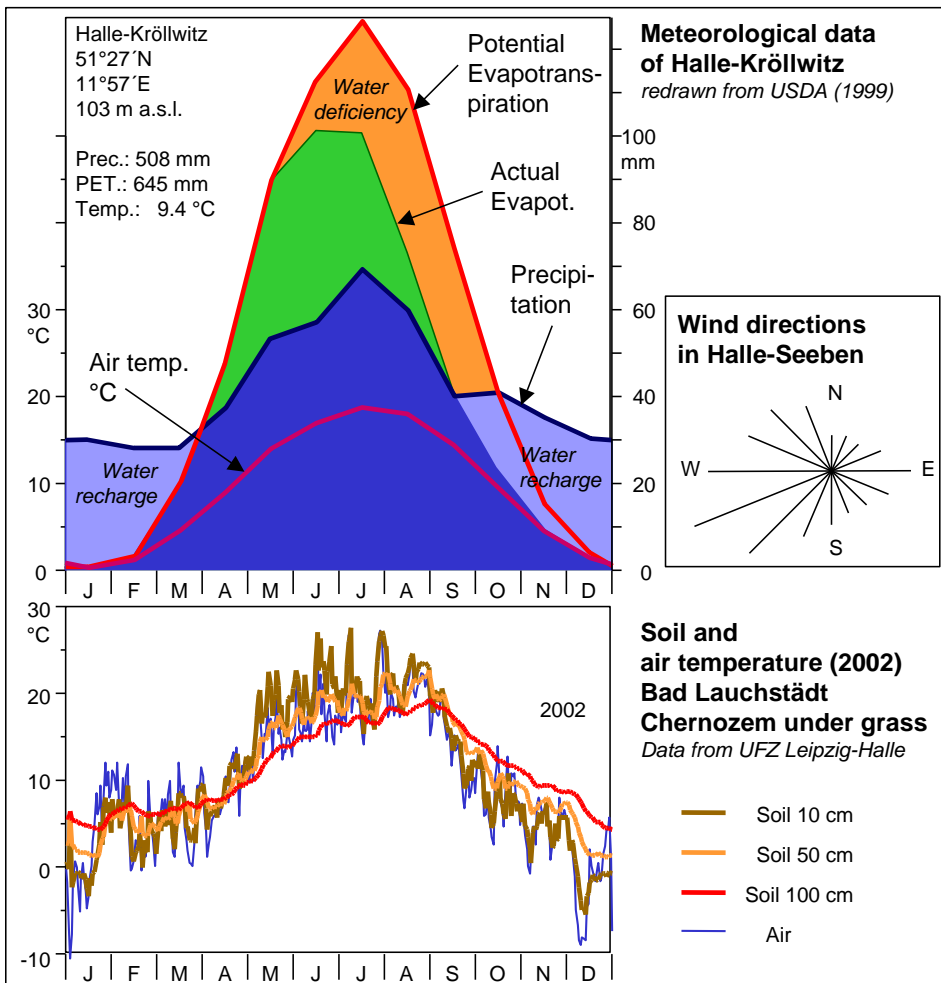


Abb. 7: Klimadaten von Halle (Saale) und Umgebung

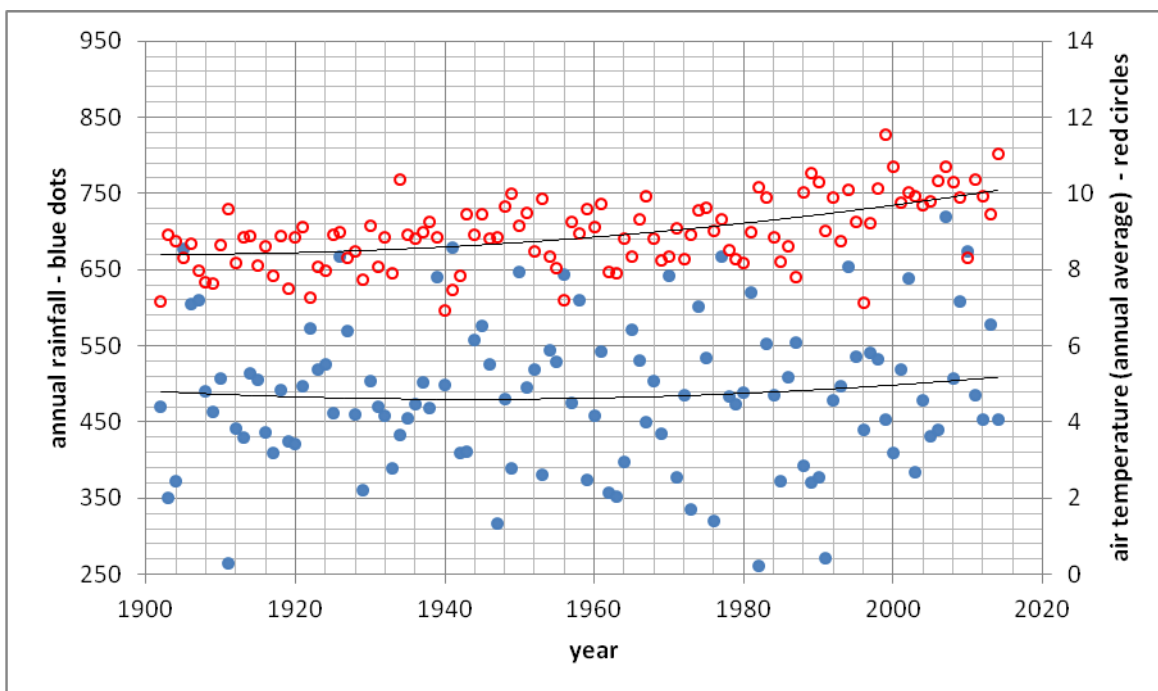


Abb. 8: Entwicklung von Jahreslufttemperatur und Jahresniederschlag seit 1900 in Bad Lauchstädt (Daten von UFZ Leipzig-Halle)



## 1.6 Böden und Bodengesellschaften im weiteren Exkursionsraum

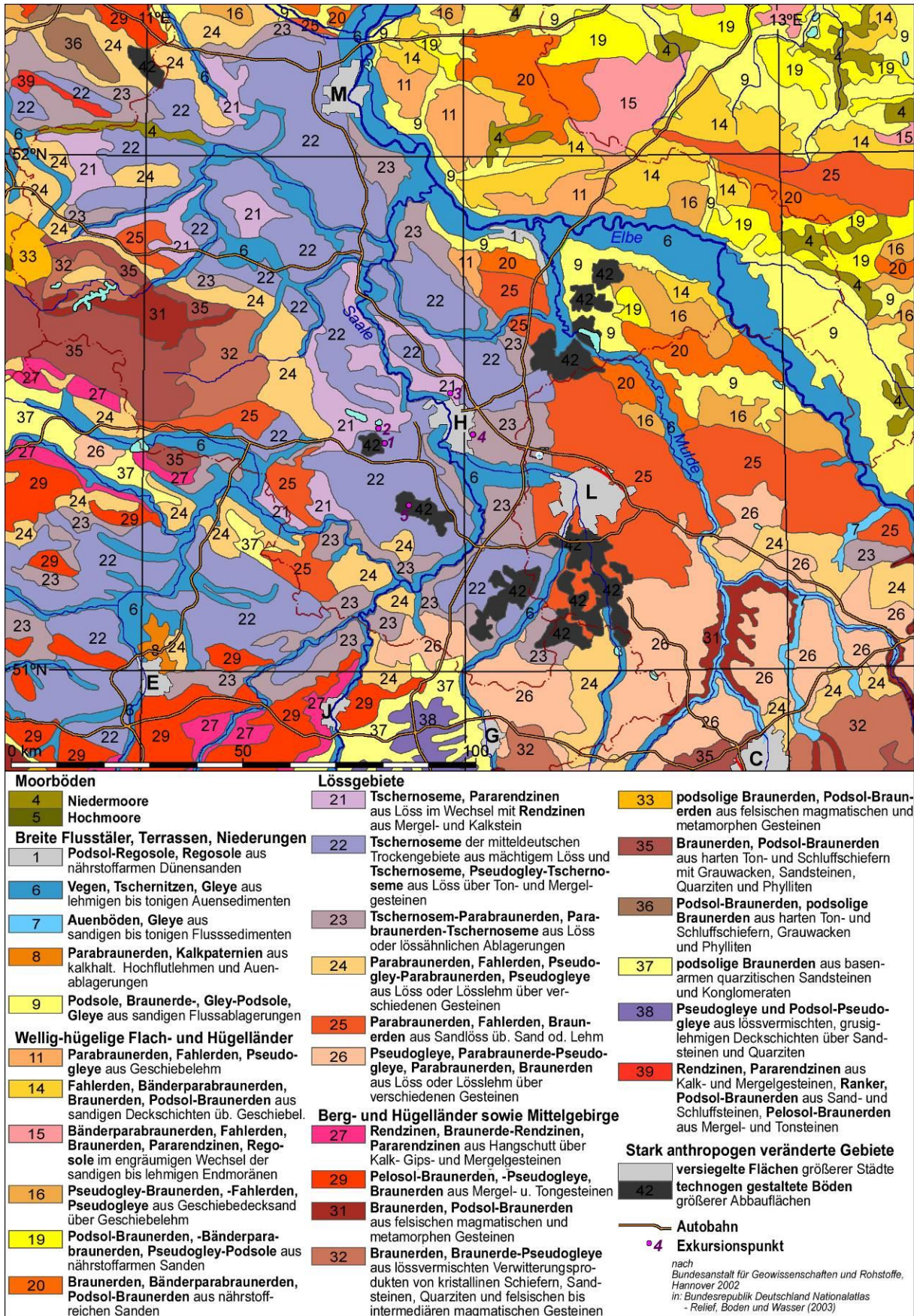


Abb. 9: Böden und Bodengesellschaften mit Leitbodentypen und ihren Ausgangsgesteinen (BGR 2002)

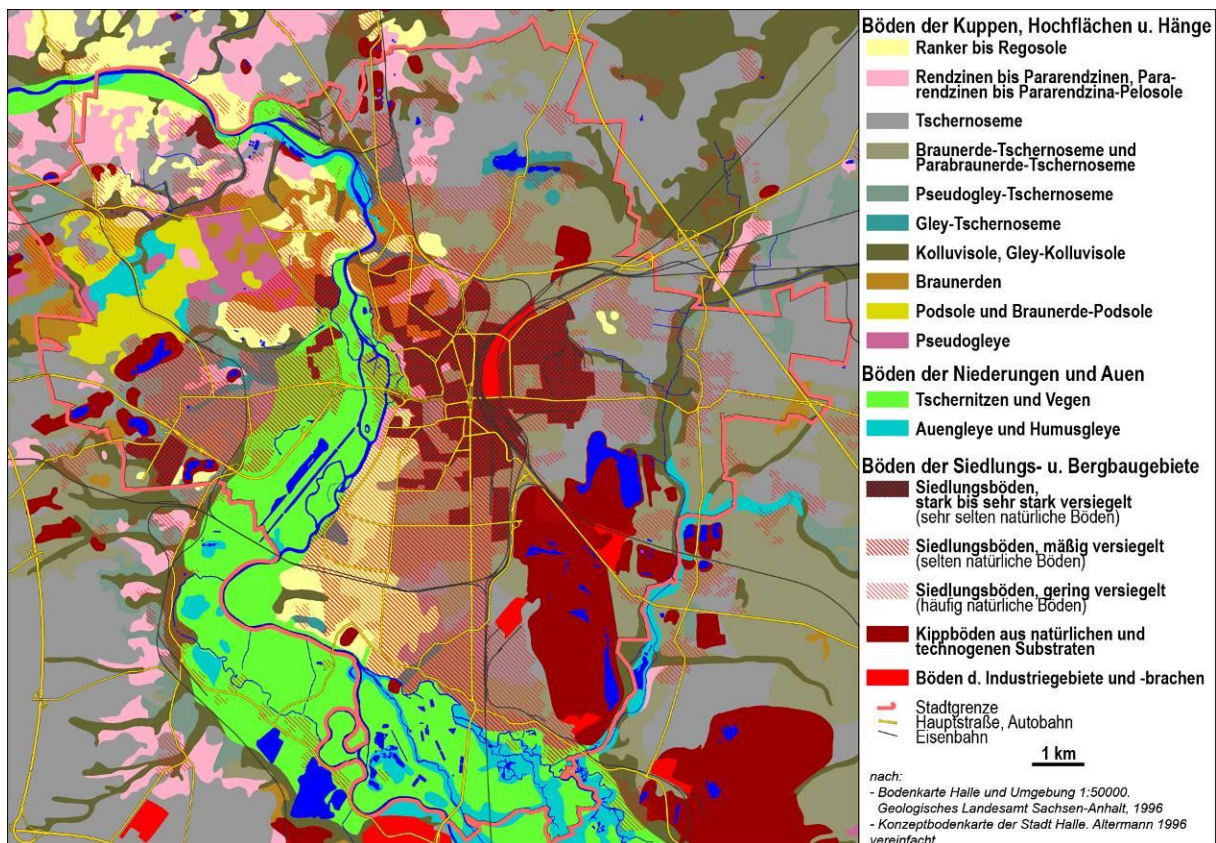


Die wichtigsten bodenbildenden Substrate bildeten sich im späten Pleistozän und im Holozän: periglaziale Schuttdecken in den Mittelgebirgen mit unterschiedlichen Beimengungen an Löss, Löss und Sandlöss in den schwach reliefierten Flachländern westlich der Elbe, äolische und glaziofluviale Substrate auf den saalezeitlichen Ablagerungen östlich der Elbe sowie fluviale Substrate in den Flusstälern (Abb. 9).

Weit verbreitet sind Tschernoseme und tschernosemähnliche Böden auf lössbedeckten Geschiebelehmen/-mergeln und mesozoischen Gesteinen, welche sich in den Bördelandschaften hufeisenförmig um den Harz schlingen. Die Tschernoseme, vergesellschaftet mit Pararendzinen (erodierte Tschernoseme), werden weitgehend landwirtschaftlich genutzt. Östlich der Saale (mit grobkörnigeren Lösssubstraten) sind Tschernosem-Übergangstypen zu Braun-

erden, Parabraunerden und Fahlerden zu finden. Sandige und saure Braunerden, vergesellschaftet mit podsolierten Braunerden, Podsolon und Niedermooren, sind dominante Böden östlich der Elbe. Braunerden mit unterschiedlichen Podsolierungsgraden bis Podsole aus silikatischen Gesteinen dominieren die Harzregion. Vegen, Tschernitzen und Auenogleye dominieren in den weiten Flusstälern. Kalkhaltige Auenböden sind dort zu finden, wo Flüsse wie die Saale und die Unstrut durch mesozoische Gesteine (v. a. Muschelkalk) fließen. Pseudovergleyte Böden sind insbesondere im sächsischen Hügelland zu finden. Regosole sind weit verbreitet in den ehemaligen Braunkohlentagebauen nördlich und südlich von Halle-Leipzig und den damit entstandenen Aufschüttungen. Mit der zunehmenden Flutung der ehemaligen Tagebaue entstehen nun subhydrische Böden.

### 1.7 Böden in Halle (Saale)



**Abb. 10:** Böden in Halle (Saale) und Umgebung

Innerhalb der Stadtgrenzen von Halle können fünf Bodengesellschaften unterschieden werden (siehe Abb. 10).

- (1) Auf den Plateaus östlich und westlich des Zentrums dominieren Tschernoseme und

tschernosemähnliche Böden aus Lössen (ca. 45 % der Stadtfläche). Übergänge zu Braunerden und Parabraunerden sind vor allem auf Sandlössen östlich der Saale zu finden. Übergänge zu Pseudo-

gleyen finden sich auf von geringmächtigen Lösslagen überlagerten Geschiebelehmen/-mergeln. Tschernosemähnliche Kolluvisole, als Folge langwährender landwirtschaftlicher Tätigkeit auf den Tschernosemen, dominieren die Unterhänge zu den Tälern. Rendzinen und Pararendzinen sind an den Schichtstufenrändern zu finden

- (2) Im nördlichen hügeligen Stadtgebiet mit herausragenden Porphyrhügeln und unterschiedlichen pleistozänen und holozänen Sedimenten (ca. 20 %) findet sich ein Bodenmosaik aus Rankern, Regosolen, Braunerden, Podsolen und Pseudogleyen.
- (3) Vegen, vergleyte Tschernoseme und Braunerden, Gleye, anmoorige Böden und Niedermoore sind im weiten Tal der Saale verbreitet (ca. 15 % der Fläche).
- (4) Tschernosemähnliche Böden, vergesellschaftet mit unterschiedlichen Anteilen an Rankern, Pararendzinen und Hortisolen, dominieren im Innenstadtbereich mit hohen Anteilen versiegelter Flächen (ca. 40 %).
- (5) Pararendzinen und Regosole aus natürlichen und technogenen Substraten sind im Süden der Stadt weit verbreitet, finden sich jedoch auch im nördlichen Teil in Bereichen ehemaliger Tagebaue und Tongruben sowie Aufschüttungen.

### 1.8 Kurze Historie von Halle (Saale)

Die Region von Halle (Saale) ist seit mindestens 7.000 Jahren bewohnt. So konnten beispielsweise keltische Wohnhügel in der Nähe von Oberröblingen (21 km W von Halle) nachgewiesen werden. Weitere archäologische Befunde und Meilensteine in der Besiedlung des Raumes sind:

- ältestes (7.000 Jahre vor heute) bekanntes Sonnenobservatorium von 75 m  $\varnothing$  in Goseck (31 km SSW von Halle, Abb. 11)
- älteste (3.600 Jahre vor heute) bekannte Darstellung des Nachthimmels auf der Nebra-Scheibe (gefunden 38 km SW von Halle, Abb. 12)

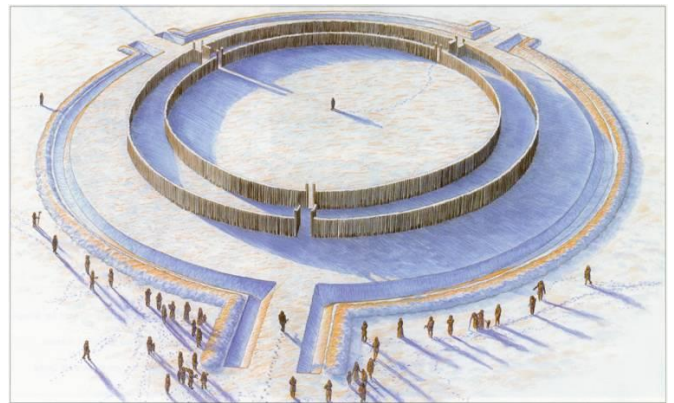


Abb. 11: Rekonstruktion des ältesten bekannten Sonnen-Observatoriums in Goseck

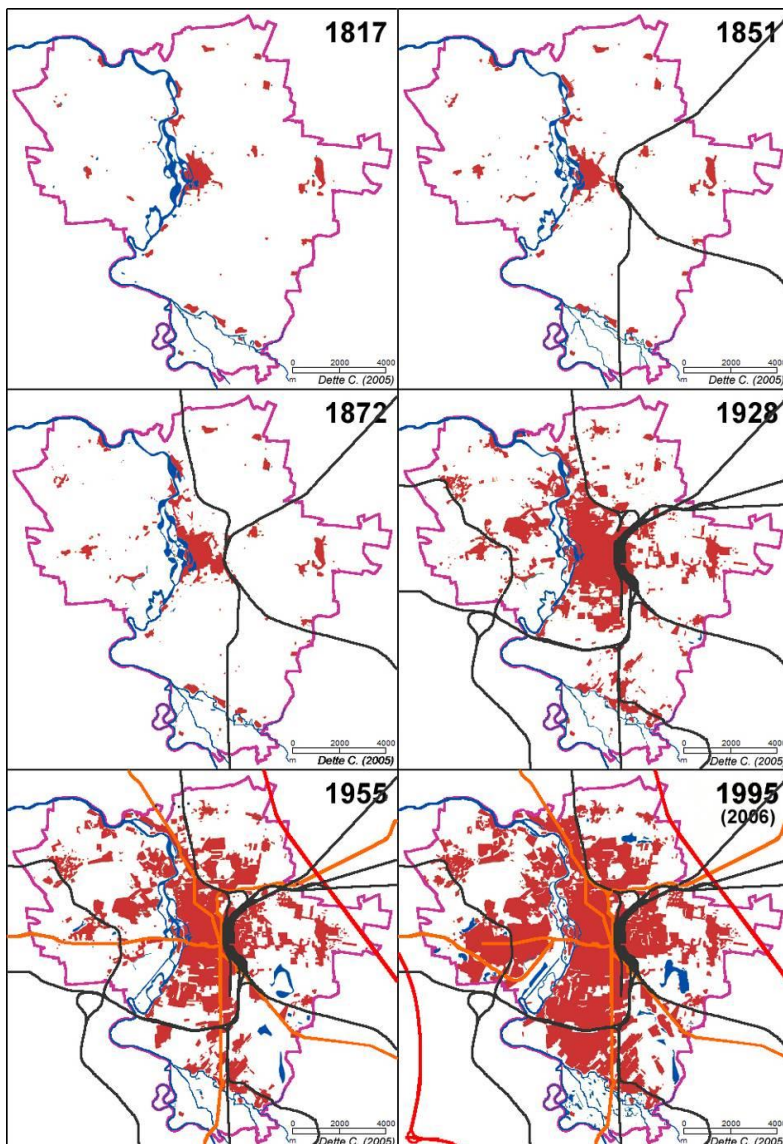


Abb. 12: Die Nebra-Scheibe

- frühe Salzgewinnung in Bronze- und Eisenzeit
- 806: erste schriftliche Erwähnung von „Halla“ (= Salz) und Gründung einer karolingischen Befestigung (genaue Lokalität nicht bekannt)
- ca. 930: Gründung der Burg Giebichenstein unter König Heinrich I.
- 961: Dokumentation von Salzgewinnung und Siedlung
- seit 1150: Stadtrecht
- ca. 1300: ca. 4.000 Einwohner
- seit Mittelalter: (Stein-)Kohlegewinnung
- ca. 1600: ca. 10.000 Einwohner
- 1618-1648: Dreißigjähriger Krieg, starker Rückgang der Bevölkerungszahl
- 1682: ca. 4.000 Einwohner
- 1696: Gründung der Universität
- seit 1790: Gewinnung von Braunkohle in Halle, im Geiseltal dokumentiert seit 1698
- 1817: Eingemeindung von Glaucha und Neumarkt



- 1820: ca. 23.000 Einwohner
- 1840: Anschluss an die Eisenbahn
- 1860: ca. 40.000 Einwohner ~ Beginn der Industrialisierung
- 1891: Eingemeindung von Gutsbezirk Freimfelde
- 1900: Eingemeindung von Giebichenstein, Trotha, Kröllwitz und Gimritz, ca. 156.000 Einwohner
- 1950: Eingemeindung der Stadt Ammendorf und der Dörfer Bruckdorf, Büschdorf, Dörlau, Diemitz, Kanena, Lettin, Mötzlich, Nietleben, Reideburg, Seeben, Wörmnitz-Böllberg, Tornau und Passendorf
- 1965: Gründung von Halle-Neustadt, der „Stadt der Chemiewerker“; auf der Grundlage der Braunkohlevorkommen in der Region entwickelte sich Halle und Umgebung zu einem Zentrum der chemischen Industrie (Schkopau [Buna], Leuna, Wolfen-Bitterfeld, z. B. in Leuna bis 1990 30.000 Beschäftigte) der DDR
- 1967: Ausgemeindung von Halle-Neustadt
- 1988: Halle und Halle-Neustadt: 329.000 Einwohner
- 1990: Wiedereingliederung von Halle-Neustadt, 310.000 Einwohner, Hauptstadt von Sachsen-Anhalt wird jedoch Magdeburg
- heute (2015): ~ 237.000 Einwohner, 135 km<sup>2</sup>.



**Abb. 13:** Wachstum der bebauten Fläche (nach Dette 2005), Eisenbahnen und Fernstraßen in Halle (Saale), Stadtgrenze von heute

## 2. Beschreibung der Standorte, Bodenprofile und Bodendaten

### Profil C-01/1: Teutschenthal-Etzdorf: Normtschernosem aus Löss



Das Exkursionsgebiet, im Regenschatten des Harzes (bis 1.141 m ü.NN) gelegen, zählt neben dem Mainzer Becken und dem Oberrheingraben zu den trockensten Gebieten Deutschlands (Jahresniederschlag <500 mm). Die Profilwand am Rande eines Braunkohlentagebaus zeigt die typische Situation für große Teile des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. Unter einer >1 bis ca. 2 m mächtigen weichselzeitlichen Lössdecke folgen saalezeitliche Sedimente, meist Geschiebemergel, welche auch durch Schmelzwassersande ersetzt sein können. Das Bodenprofil zeigt eine ausgeprägte stone line an der Obergrenze des Moränenmaterials (relative Denudationsanreicherung).

Während die meisten Tagebaue inzwischen geschlossen sind, ist ein Teil dieses Tagebaus noch aktiv. In diesem Tagebau wird eine sehr bituminöse Braunkohle gefördert, welche zur Herstellung von Montanwachs genutzt wird. Den Tagebau betreibt die ROMONTA GmbH in Amsdorf, welche ca. 80 % des Weltbedarfs an Montanwachs herstellt.

#### Literatur

Altermann u. Kühn (1995), [http://kupferspuren.artwork-agentur.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=335&Itemid=58](http://kupferspuren.artwork-agentur.de/index.php?option=com_content&task=view&id=335&Itemid=58),  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Tagebau\\_Amsdorf](https://de.wikipedia.org/wiki/Tagebau_Amsdorf)



## Profil C-01/1: Teutschenthal-Etzdorf: Normtschernosem aus Löss



**Lokalität:** Teutschenthal-Etzdorf (Tagebaurand Etzdorf)

**WGS84:** E 11.7563, N 51.4379

**Gauß-Krüger:** R: 44.83.161, H: 57.00.387

### Standortbeschreibung

**Substrat:** Schluff aus Löss (weichselzeitlich) über sehr tiefem Carbonatlehm aus Geschiebemergel (saalezeitlich)

**Relief:** Plateaurand, Braunkohle-Tagebaurand

**Nutzung:** aktuell nicht genutzt

**Ehem. Nutzung:** Ackerbau

**Vegetation:** Gras

**Höhe:** 131 m ü. NN, Hangneigung: eben, Exposition: - -, Grundwassertiefe: >10 m

**Mittl. Jahresniederschlag:** 488 mm

**Jahresmitteltemperatur:** 8,8 °C (Bad Lauchstädt)

**Datum Profilbeschreibung und Probenahme:** 10.2010 (Kaiser u. Kühn)

### Profilbeschreibung

- |          |      |                                                                                                                                                                                                    |
|----------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| rAxp     | -30  | steinfreier, schluffiger Lehm (Lu), 10 YR 3/2, stark durchwurzelt, Bröckel- bis Plattengefüge, verdichtet durch Befahrung                                                                          |
| Axh      | -40  | steinfreier, stark schuffiger Lehm (Tu4), 10 YR 3/2, stark durchwurzelt, Krümel- bis Subpolyedergefüge, Krotowinen, Wurzelröhren                                                                   |
| elCc+Axh | -65  | steinfreier, stark toniger Schluff (Ut4), 10 YR 6/4 + 10 YR 3/4, schwach durchwurzelt, Subpolyeder, Krotowinen, Wurzelröhren                                                                       |
| elCc     | -145 | steinfreier, mittel toniger Schluff (Ut3), 10 YR 5/6, schwach durchwurzelt, Subpolyeder- bis Kohärentgefüge, Krotowinen, Wurzelröhren, sekundäre Kalkausfällungen (Kalkmycel), Steinsohle an Basis |
| llelCc   | -180 | schwach grobkiesiger, schwach steiniger, stark sandiger Lehm (Ls4), 7.5 YR 6/3, Platten- bis Polyedergefüge, Wurzelröhren, sekundäre Kalkausfällungen (Kalkmycel)                                  |

**Klassifikation** Deutsche Bodensystematik (KA5):  
 Normtschernosem  
 Schluff aus Löss über sehr tiefem kiesführendem Kryocarbonatlehm  
 (Geschiebemergel)  
 Humusform: Mull  
 WRB 2014: Haplic Chernozem (Loamic, Humic, Pachic);  
 silty clay loam from loess over very deep skeletal sandy loam from  
 glazial till  
 Soil Tax 2014: Fine-silty, Illitic, Mesic, Typic Haplustoll

**Analysendaten**

Tiefe cm	Horizont	X,Gr	Korngrößenverteilung C-frei									C-haltig			Bod. art
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	Ton	OM	CaCO <sub>3</sub>	
0-30	rAxp	1	1	2	3	32	22	9	31	63	6	(24)	4,4	0,0	Lu
-40	Axh	0	1	1	3	34	24	9	28	67	5	(27)	4,0	0,0	Tu4
-65	eICc+Axh	0	1	1	3	34	24	10	27	68	5	(24)	2,9	1,3	Ut4
-145	eICc	0	1	1	3	56	21	5	15	82	3	(14)	1,4	10,3	Ut3
-180	eICc	19	8	27	24	10	6	5	20	21	59	(18)	0,8	5,7	Ls4

Tiefe cm	Horizont	Ld g/cm <sup>3</sup>	Ld <sub>eff</sub>	d g/cm <sup>3</sup>	GPV	Wasservolumen bei pF*				pH		
						1,8	2,5	3	4,2	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	
0-30	rAxp	1,07	1,31	ge	(2,6)	(58)	38			20	7,9	7,1
-40	Axh	1,21	1,58	mi	(2,6)	(53)	37			25	8,0	7,3
-65	eICc+Axh	1,13	1,41	mi	(2,6)	(56)	37			25	8,0	7,6
-145	eICc	1,41	1,55	mi	(2,6)	(46)	37			16	8,1	7,8
-180	eICc	1,67	1,84	di	(2,6)	(37)	33			16	8,4	7,9

\*nach Bachmann u. Hartge (1992)

Tiefe cm	Horizont	Oxide				C- und Oxid-freier Ton				
		Fe <sub>d</sub> g/kg	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o/d</sub>	Al <sub>o</sub> g/kg	Smec	Verm	14-10 Å	Illit	Kaolinit
0-30	rAxp	5,9	0,8	0,14	0,74	0	3	0	82	15
-40	Axh	6,2	1,0	0,16	0,95	0	6	0	74	20
-65	eICc+Axh	5,8	0,8	0,13	0,99	10	12	0	57	21
-145	eICc	4,1	0,4	0,10	0,24	20	3	0	48	30
-180	eICc	6,1	0,1	0,02	0,07	27	3	0	52	18

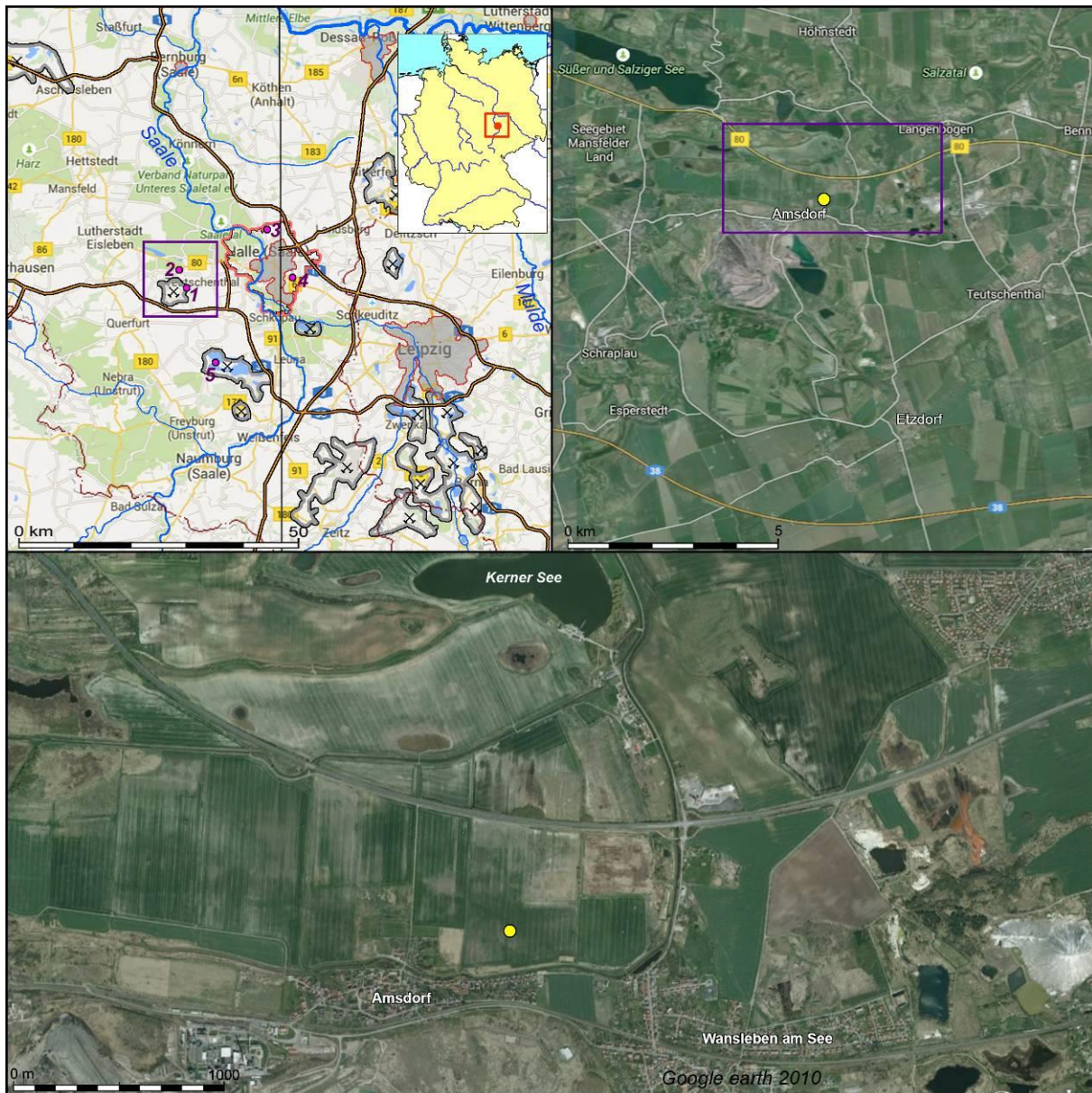
Tiefe cm	Horizont	Kationenaustausch							Doppellaktat	
		Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S-Wert	KAK <sub>pot</sub>	BS %	K	P
0-30	rAxp	31	182	2	5	220	220	100	153	68
-40	Axh	28	141	6	4	179	179	100	129	11
-65	eICc+Axh	18	92	5	3	118	118	100	112	7
-145	eICc	11	38	2	1	52	52	100	74	0
-180	eICc	5	33	1	2	41	41	100	98	0

Tiefe cm	Horizont	Kohlenstoff-Verbindungen					Mikrobielle Biomasse			
		C <sub>t</sub>	C <sub>anorg</sub>	C <sub>org</sub> g/kg	N <sub>t</sub>	C/N	C <sub>mic</sub> (SIR) mg/kg Boden	g/kg C <sub>org</sub>	Basalatm. gCO <sub>2</sub> C/kg/h	qCO <sub>2</sub>
0-30	rAxp	22	0	22	1,7	13	213	9,7	1,4	6,7
-40	Axh	20	0	20	1,4	14	124	6,2	0,8	6,2
-65	eICc+Axh	16	2	14	0,9	15	58	4,0	0,4	7,5
-145	eICc	20	16	4	0,2	17	31	4,2	0,4	11,6
-180	eICc	12	10	2	0,1	18	13	3,2	0,2	13,1

Tiefe cm	Horizont	Schwermetall-Gehalte (Königswasser)					
		Pb	Cu	Co	Cr	Ni	Cd
0-30	rAxp	26,7	38,6	7,8	22,9	19,7	0,37
-40	Axh	14,2	13,2	7,7	22,3	19,8	0,22
-65	eICc+Axh	10,4	9,9	7,2	20,0	18,9	0,15
-145	eICc	6,7	6,8	5,4	15,3	14,2	0,15
-180	eICc	8,6	8,7	5,7	16,5	16,8	0,15



## Profil C-01/2: Amsdorf: Pararendzina über fossilem Gley-Tschernosem



Der ehemalige Salzige See hatte ursprünglich eine Größe von ca. 8,8 km<sup>2</sup> und eine durchschnittliche Tiefe von 7–8 m (vereinzelt auch bis zu 17 m). Der hohe Salzgehalt des Gewässers war namensgebend. Die Niederung ist Resultat der Auslaugung mächtiger Gips- und Anhydritschichten des Zechsteins. Ab 1892 traten große Wasserverluste auf, wobei das Wasser in Kavernen und Stollen des Zechsteins und des Kupferschiefers versickerte. Bereits 1894 war der See weitgehend trockengelegt. Seit dieser Zeit wird das Gelände drainiert, und die umliegenden Schächte werden durch Abpumpen trocken gehalten. Bis heute wird das Gelände landwirtschaftlich genutzt.

Während des Holozäns sedimentierten bis zu 5 m mächtige Seemergel auf den darunterlie-

genden Löss. Nach Pollenanalysen von Müller (1953) bildeten sich die ältesten Seemergel während des Atlantikums (ca. 10.000 bis 6.000 BP). Da unter dem Seemergel Schwarzerden begraben sind, kann angenommen werden, dass die Schwarzerde-Entwicklung bereits im jüngeren Atlantikum entwickelt war (Altermann u. Kühn 1995).

### Literatur

Altermann u. Mania (1968), Altermann u. Kühn (1995)  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Salziger\\_See](https://de.wikipedia.org/wiki/Salziger_See)



## Profil C-01/2: Amsdorf: Pararendzina über fossilem Gley-Tschernosem



**Lokalität:** Amsdorf (ehemaliger Salziger See)

**WGS84:** E 11.7362, N 51.4674

**Gauß-Krüger:** R: 44.81.775; H: 57.03.668

**Klassifikation** Deutsche Bodensystematik (KA5):

Pararendzina über fossilem Gley-Tschernosem  
aus Limnosand bis -lehm (Seemergel) über Schluff aus Löss

WRB 2014: Calcaric Regosol (Loamic, Aric, Drainic, Humic) over Relictigleyic  
Chernozem (Siltic);

loam from lacustrine marl over silt loam from loess

Soil Tax 2014: Fine-loamy, Illitic, Mesic, Typic Haplustept

### Standortbeschreibung

Substrat: Limnosand bis -lehm aus Seemergel über Schluff aus Löss

Relief: ebener Tiefenbereich

Nutzung: Ackerbau

Ehem. Nutzung: See

Vegetation: Mais (abgeerntet)

Höhe: 83 m ü. NN, Neigung: eben, Exposition: - -, Grundwassertiefe: >1 m

Mittl. Jahresniederschlag: 488 mm

Mittl. Jahrestemperatur: 8,8 °C (Bad Lauchstädt)

Datum Profilbeschreibung und Probenahme: 27.11.2009 (Jahn u. Glaser)

## Profilbeschreibung

Ap	-40	sehr schwach grusführender SI, gräulich gelbbraun (10 YR 4/2), krümelig und subpolyedrisch, mittel durchwurzelt, sehr carbonatreich
reFh1	-50	sehr schwach grusführender Us, bräunlich schwarz (10 YR 3/2), subpolyedrisch, mittel durchwurzelt, stark carbonatisch
reFh2	-60	schwach grusführender Us, bräunlich schwarz (10 YR 2/2), subpolyedrisch, schwach durchwurzelt, carbonatarm
llfAxh1	-70	begraben, sehr schwach grusführender Us, bräunlich schwarz (10 YR 2/2), subpolyedrisch, schwach durchwurzelt, carbonatfrei
fAxh2	-80	sehr schwach grusführender Us, bräunlich schwarz (10 YR 2/2), subpolyedrisch, schwach durchwurzelt, carbonatfrei
fAxh3	-90	sehr schwach grusführender Us, schwarz (10 YR 1.7/1), subpolyedrisch, schwach durchwurzelt, in Hohlräumen Gipsnadeln, wenig Rostflecken, bioturbat
elCv(Go)	->95	sehr schwach grusführender Us, stumpf gelblich orange (10 YR 6/4), kohärent, schwach durchwurzelt, stark carbonatisch, rostfleckig

## Analysendaten

Tiefe cm	Horizont	X,Gr	Korngrößenverteilung C-frei									C-haltig			Bod. art
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	Ton	OM	CaCO <sub>3</sub>	
0-40	Ap	2	3,9	8	23	25	10	3	27	39	35	(13)	6,0	43,8	SI4
40-50	reFh1	2	0,4	1	3	44	21	8	23	72	4	(3)	4,0	7,9	Us
50-60	reFh2	5	0,4	3	5	45	20	7	20	72	8	(1)	4,3	1,4	Us
60-70	llfAxh1	2	0,4	2	8	42	20	7	22	68	10	(1)	3,8	0,0	Us
70-80	fAxh2	2	0,4	2	6	47	16	7	21	70	8	(1)	3,0	0,0	Us
80-90	fAxh3	2	0,4	2	4	49	13	5	27	67	6	(1)	2,6	0,0	Us
90->95	elCv(Go)	2	0,3	2	5	52	10	5	25	67	8	(2)	2,0	7,5	Us

Tiefe cm	Horizont	Oxide				C- und Oxid-freier Ton				
		Fe <sub>d</sub> g/kg	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o/d</sub>	Al <sub>o</sub> g/kg	Smec %	Verm	Chlorit	Illit	Kaolinit (semiquantitativ, gewichtete Peakflächen)
0-40	Ap	4,0	0,9	0,23	0,4	4	4	2	65	25
40-50	reFh1	8,7	2,6	0,30	0,4	3	4	2	60	30
50-60	reFh2	8,1	2,5	0,31	1,1	0	5	4	76	14
60-70	llfAxh1	8,5	2,1	0,24	0,7	0	5	0	77	18
70-80	fAxh2	9,9	1,4	0,14	0,3	0	3	0	78	19
80-90	fAxh3	10,0	1,4	0,14	0,6	2	7	0	71	20
90->95	elCv(Go)	6,8	0,9	0,13	0,9	4	2	2	65	27

Tiefe cm	Horizont	pH CaCl <sub>2</sub>	Kationenaustausch						BS %	Doppellaktat	
			Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S-Wert	KAK <sub>pot</sub>		K	P
			mmol <sub>e</sub> /kg						mg/kg		
0-40	Ap	7,6	6	476	1	6,9		119	100	47	
40-50	reFh1	7,6	30	1054	7	2,8		172	100	14	
50-60	reFh2	6,7	48	956	17	2,2		166	100	20	
60-70	llfAxx1	5,2	40	241	25	2,6		166	100	28	
70-80	fAxx2	4,9	41	239	31	2,9		154	100	30	
80-90	fAxx3	4,9	43	230	40	4,5		194	100	26	
90->95	elCv(Go)	7,2	46	549	42	5,5		168	100	11	

Tiefe cm	Horizont	Kohlenstoff-Verbindungen					Mikrobielle Biomasse			
		C <sub>t</sub>	C <sub>anorg</sub>	C <sub>org</sub> g/kg	N <sub>t</sub>	C/N	C <sub>mic</sub> (SIR) mg/kg Boden	g/kg C <sub>org</sub>	Basal atm. gCO <sub>2</sub> C/kg/h	qCO <sub>2</sub>
0-40	Ap	82,7	52,6	30,1	1,9	15,9	272	0,33	1,68	6,1
40-50	reFh1	30,1	9,5	20,5	1,6	12,8	82	0,27	0,67	8,1
50-60	reFh2	24,5	1,7	22,8	1,7	13,4	72	0,29	1,54	21,5
60-70	llfAxx1	19,5	0,0	19,5	1,3	15,0	33	0,17	0,42	12,1
70-80	fAxx2	15,6	0,0	15,6	1,0	15,6	27	0,17	0,47	17,6
80-90	fAxx3	13,2	0,0	13,2	1,0	13,9	25	0,19	0,27	11,0
90->95	elCv(Go)	19,1	9,0	10,1	0,6	16,9	31	0,16	0,15	5,1

Tiefe cm	Horizont	Schwermetall-Gehalte (Königswasser)						
		Co	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu
		mg kg <sup>-1</sup>						
0-40	Ap	3,0	17,5	12,5	0,24	9,5	8,6	10,5
40-50	reFh1	5,4	16,9	8,8	0,17	15,1	12,1	9,8
50-60	reFh2	8,9	17,9	9,6	0,17	20,8	13,7	10,7
60-70	llfAxx1	3,6	17,8	10,0	0,07	9,2	14,9	11,5
70-80	fAxx2	3,7	18,0	10,7	0,07	9,0	14,6	10,6
80-90	fAxx3	4,8	25,0	11,2	0,10	12,4	18,9	10,5
90->95	elCv(Go)	7,8	22,0	10,2	0,24	26,3	16,5	7,8

### Black Carbon in Schwarzerden und schwarzerdeähnlichen Böden Mitteldeutschlands

Black Carbon in Schwarzerden und schwarzerdeähnlichen Böden wurde erstmals von Schmidt et al. (1999) beschrieben. Weitere Arbeiten von Kleber et al. (2003) und Tanneberg et al. (2003) erbrachten, dass ungefähr 20 % der organischen Substanz in Schwarzerden und ähnlichen Böden Mitteldeutschlands aus Black Carbon bestehen (s. Tab. unten). Die begrabene Schwarzerde von Amsdorf eröffnet eine gute Möglichkeit zu prüfen, ob der Black Carbon in Schwarzerden bereits mit der Gene-

se dieser Böden verknüpft ist oder ob dieser durch spätere Brandereignisse in die Böden kam (Brodowski et al. 2007). Unsere Analysen in der begrabenen Schwarzerde erbrachten einen Black-Carbon-Gehalt von 3–4 g kg<sup>-1</sup> bzw. von 20–30 % des organischen Kohlenstoffs. Damit sind in der begrabenen Schwarzerde ähnliche Verhältnisse zu verzeichnen wie in nicht begrabenen Schwarzerden, obwohl der Zeitraum der Black-Carbon-Bildung maximal 4.000 Jahre betrug. Daher gehen wir davon

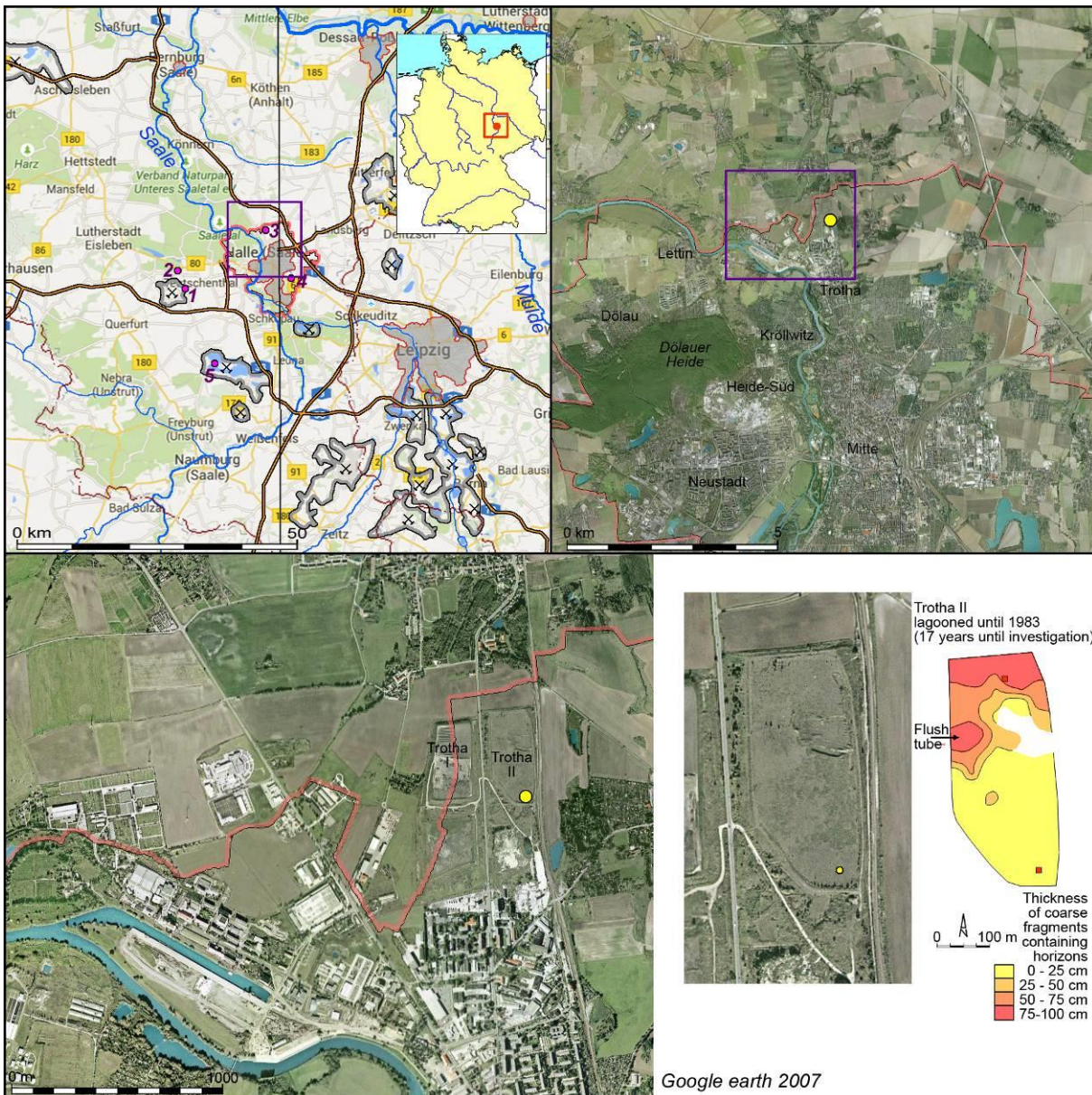
aus, dass Black Carbon in Tschernosemen vor allem biologisch gebildet wurde (Glaser u. Knorr 2008).

**Tabelle:** Black Carbon in Schwarzerden und schwarzerdeähnlichen Böden Mitteldeutschlands

		Tiefe	TOC	Black Carbon		% of TOC	
		cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	St.Abw.	St.Abw.	St.Abw.
<b>Chernozemic Soils in the Halle (Saale) and Hildesheim-Braunschweig area</b> (Schmidt et al.1999)							
Haplic Phaeozem (5)	Axp	0-20	23.7	2.7		11	
north of Halle/S. (Seeben)	Axh	20-50	22.6	3.1		14	
Haplic Chernozem (6)	Axp	0-20	23.6	4.1		17	
Hildesheim-Braunschweig	Axh	20-60	17.8	7.6		43	
Haplic Chernozem (7)	Axp	0-20	18.3	3.2		17	
Hildesheim-Braunschweig	Axh	20-45	11.9	3.2		27	
Haplic Greyzem (8)	Axp	0-20	5.0	0.4		8	
Hildesheim-Braunschweig	Axh	20-45	12.8	0.6		5	
Haplic Greyzem (9)	Axp	0-20	13.5	0.4		3	
Hildesheim-Braunschweig	Axh	20-45	13.3	0.7		5	
<b>Chernozemic Soils in the Halle (Saale) area</b> (Kleber et al. 2003)							
Haplic Chernozem Halle-Seeben	Axp	0-28	33.5	2.2		7	
	Axh	28-58	18.1	2.4		14	
Haplic Kastanozem Halle-Zöberitz	Axp	0-22	17.0	0.5		3	
	Axh	22-40	8.6	0.2		3	
<b>Chernozemic Soils in the Magdeburg area</b> (Tanneberg et al. 2003)							
Durchschnitt von							
8 Oberböden Dahlenwarsleben			15.2	1.1	2.1	0.2	14
8 Unterböden Dahlenwarsleben			9.8	1.5	2.2	0.3	23
8 Oberböden Klein Rodensleben			17.1	1.4	3.0	0.8	17
8 Unterböden Klein Rodensleben			12.5	2.5	2.6	0.6	20
5 Oberböden Schlanstedt			22.4	4.8	4.1	0.8	18
5 Unterböden Schlanstedt			17.9	5.2	2.9	0.7	17
<b>Laborstandards Bodenkundelabor Halle (Saale) - (Oberböden)</b>							
Bad Lauchstädt	Axp		19,6		4,1		21
Etzdorf	Axp		19,3		2,7		14
<b>Standort C-01/2 Pararendzina über fossilem Gley-Tschernosem</b>							
	Ap	0-40	30,1		0,4		2
	reFh1	40-50	20,5		1,5		6
	reFh2	50-60	22,8		2,5		13
	llfAxh1	60-70	19,5		3,4		21
	fAxh2	70-80	15,6		2,9		21
	fAxh3	80-90	13,2		0,8		15
	eCv(Go)	90->95	10,1		n.d.		--



## Profil C-01/3: Halle (Saale)-Trotha: Normpararendzina aus Braunkohlenkraftwerksasche



Sachsen-Anhalt und speziell die Regionen Halle (Saale) und Bitterfeld zählen zu den älteren industriellen Regionen Deutschlands. Über mehr als ein Jahrhundert war die Region sehr stark durch den Braunkohlentagebau und die chemische Industrie beeinflusst. Etwa 52 Mio. Tonnen Kraftwerksasche wurden während der letzten 100 Jahre in der Region Bitterfeld produziert (Neumeister et al. 1991). Allein 1989 fielen in der Tagebauregion Halle-Leipzig ca. 4,9 Mio. Tonnen Kessel- und Flugasche an. Hierdurch sind in Sachsen-Anhalt heute ca. 6.000 ha von Asche-Depositionen bedeckt. Wesentlich größere Areale sind durch Flugasche beeinflusst. Insbesondere während der letzten Jahre der DDR verschlechterte sich die Qualität der verbrannten Braunkohle (Asche-

Gehalte bis zu 30-40 %), und der Anfall an Asche stieg stark an. Die Braunkohlenasche wurde weitgehend in Restlöchern der Tagebaue deponiert, entweder trocken durch Verkippen oder durch Verspülung. Ab 1990 gingen die Braunkohlenverbrennung und der Ascheanfall stark zurück, sodass die meisten Deponien nicht mehr in Betrieb sind. Soweit die Deponien nicht abgedeckt sind, unterliegen sie nun der Verwitterung und Bodenbildung.

Der gezeigte Standort ist eine ehemalige Kaolingrube, welche in den Jahren 1976 bis 1982 mit Kessel- und Flugasche aus dem benachbarten Heizkraftwerk Trotha verfüllt wurde. Das Kraftwerk wurde bereits 1924–1926 errichtet und in den Jahren 1930, 1937, 1942, 1946 und



1954 erweitert oder verändert. Von 1965 bis 1971 wurde das Kraftwerk neu erbaut, um den gesteigerten Bedarf an Energie zu decken, und war bis 1993 in Betrieb. 1990 wurden neue Filtertechniken eingesetzt und Braunkohle höherer Qualität verwendet, was die Staubemissionen von  $2.000 \text{ t a}^{-1}$  (1989) auf  $1.000 \text{ t a}^{-1}$  (1990) und die von  $\text{SO}_2$  von 17.000 t auf 13.500 t senkte (pers. Information der Kraftwerksdirektion).

Die Wasser/Asche-Suspension wurde über eine Pipeline vom Kraftwerk zur Deponie gepumpt. Nach Deposition wurde das frei werdende Wasser zur Wiederverwendung im Spülvorgang zurückgepumpt.

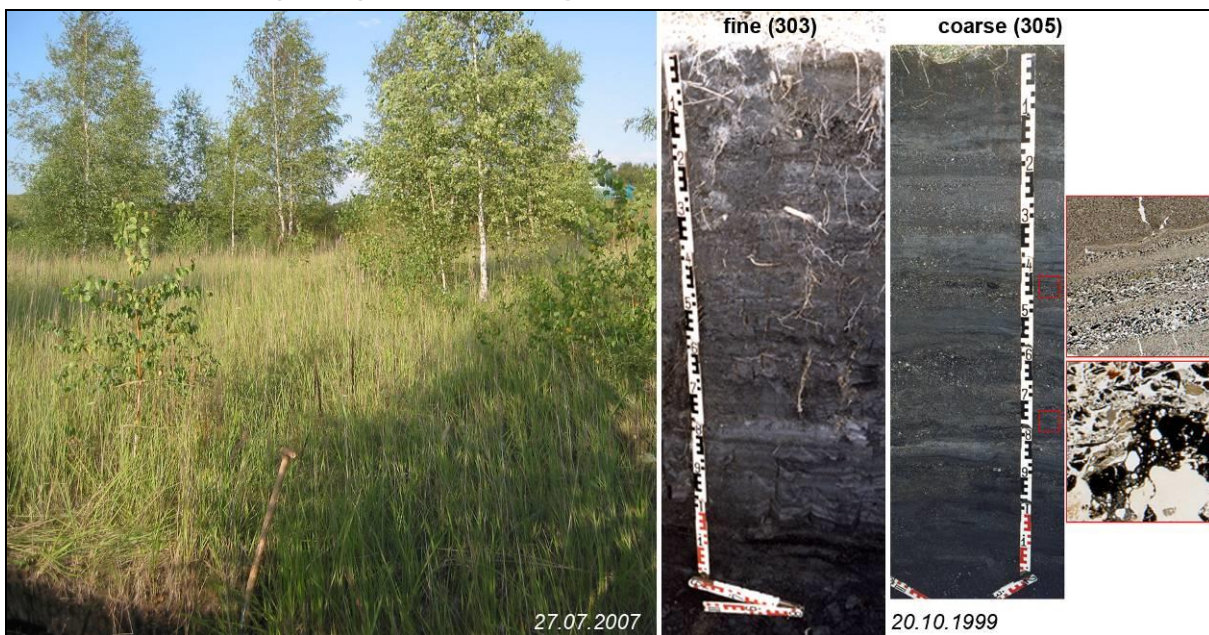
Der Standort östlich der Straße (Exkursionspunkt) wurde von 1976 bis 1982 als Deponie genutzt (Zeit der Bodenbildung bis zur Probenahme 1999 17 Jahre), während der Standort westlich der Straße von 1984 bis 1995 als De-

ponie in Betrieb war. Die ehemalige Kaolingrube wurde durch einen Damm erhöht, sodass eine Deposition bis auf 92 m ü.NN und bis zu 15 m Mächtigkeit möglich wurde. Das Volumen der verspülten Asche beträgt ca.  $1.6 \text{ Mio. m}^3$  und die Fläche 7 ha. Nach einer Periode der Drainage und Setzung wurde die Oberfläche mit einer Latex-Bitumen-Mixtur stabilisiert und eine Grasmischung (Rotschwengel, Rauer Schwengel) ausgesät. Die Deponie westlich der Straße wurde später mit Bodenmaterial abgedeckt.

### Literatur

Zikeli, Jahn u. Kastler (2002), Machulla, Zikeli, Kastler u. Jahn (2004), Zikeli (2004), Zikeli, Kastler u. Jahn (2004), Zikeli, Kastler u. Jahn (2005), Kastler (2006)

### Profil: C-01/3 Halle (Saale)-Trotha: Normpararendzina aus Braunkohlenkraftwerksasche



**Lokalität:** Halle-Trotha (Profil 303/S1f Diss. Zikeli/Kastler)

**WGS84:** E 11.9589, N 51.5323

**Gauß-Krüger:** R: 44.97.251, H: 57.10.858

**Klassifikation** Deutsche Bodensystematik (KA5):  
 Normpararendzina  
 aus Spül-Kohlekalksandschluff (Braunkohlenkraftwerksasche)  
 WRB 2014: Spolic Technosol (Andic, Siltic, Carbonic, Calcaric, Fluvic, Gypsic, Loxic);  
 loamy sand over shallow silt loam from lignite ash  
 Soil Tax 2014: Fine-loamy, Mixed, Mesic, Anthroportic Ustorthent  
 oder  
 Ashy, Amorphic, Mesic Pachic Haplustand

**Standortbeschreibung** Aschehalde (15 m mächtig) / Stadtteil Trotha

Substrat: schwach grusführender verspülter Kohlekalksandschluff aus Braunkohlenkraftwerksasche (Kessel- und Flugasche), entspricht 17 Jahre Bodenbildung bis zur Beprobung 1999  
 Substratablagerung: 1976 bis 1982 Verspülung der Asche (bis zu 15 m mächtig); nach Schließung der Deponie Stabilisierung mit einer Latex-Bitumen-Mixtur, Ansaat von Gräsern (Rotschwingel, Rauer Schwingel)  
 Relief: Anthropogeomorph, erhöhte und aufgefüllte ehemalige Tongrube  
 Nutzung: ehem. Deponie (bis 1982)  
 Ehem. Nutzung: Kaolingrube bis Anfang der 70er-Jahre  
 Vegetation: Ruderalvegetation  
 Höhe: 88 m ü. NN, Hangneigung: 0 %, Exposition: - -, Grundwassertiefe: >1 m  
 Mittl. Jahresniederschlag: 453 mm  
 Mittl. Jahrestemperatur: 9,2 °C (Halle-Kröllwitz)  
 Datum Profilbeschreibung und Probenahme: 20.10.1999 (Kastler, Zikeli)

**Profilbeschreibung**

yeAh -20 sehr stark kohlehaltiger Us, schwarz (N 2/0), Kohärentgefüge, stark carbonathaltig, extrem stark durchwurzelt, thixotrop, Sandbänder (wenige Millimeter mächtig, schwarz (10 YR 1.7/1), Einzelkorngefüge, carbonatfrei)  
 yeCv1 -71 stark kohlehaltiger Uu, schwarz und dunkelgrau (N 2/0, N 3/0), Polyeder- bis Rissgefüge, carbonatreich, stark durchwurzelt, in Rissen extrem stark durchwurzelt, viele feine Bänder (unterschiedlich carbonathaltig), thixotrop, weiße Schicht an Grenze zum Liegenden (2 mm mächtig), Risse z. T. mit Material aus oberstem Horizont verfüllt  
 yeCv2 -120 sehr stark kohlehaltiger Us, dunkelgrau und grau (N 3/0, N 4/0), Kohärent- bis Prismengefüge, schwach carbonathaltig, keine Wurzeln, Sandband mit höherem Carbonatgehalt

Bemerkung: Das Profil besteht aus zahlreichen Lagen bis 100 cm Tiefe. Zwölf Lagen wurden beprobt und analysiert. Zur Vereinfachung wurden die Daten hier für 4 Tiefenabschnitte unter Berücksichtigung der Mächtigkeit und Lagerungsdichte aggregiert.

**Analysendaten**

Tiefe cm	Horizont	X,Gr	Korngrößenverteilung, Gips-frei											OM	CaCO <sub>3</sub>	Gips	Bod. art
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	U	S	M.-%					
0-10	yeAh1	1	9	38	29	12	7	4	2	23	76	64	3,2	0,2	Su2		
10-20	yeAh2	1	0,4	2	11	36	30	14	6	80	13	27	13,0	19,2	Uu		
20-71	yeCv1	2	3	3	6	24	36	19	8	80	12	17	14,7	21,3	Uu		
71-100	yeCv2	3	3	7	14	33	27	11	5	70	25	26	3,5	15,7	Us		

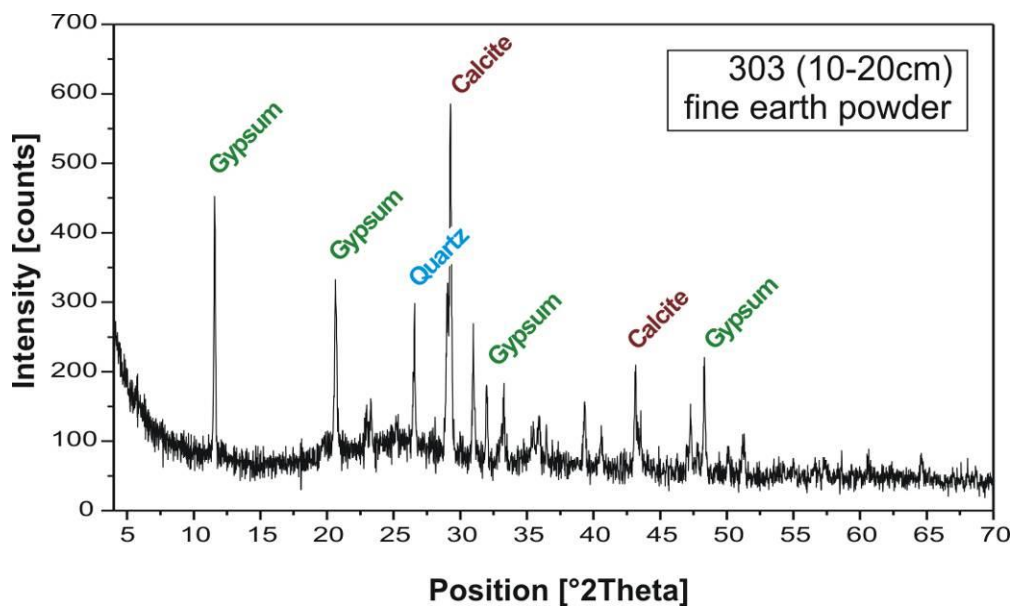
Tiefe cm	Horizont	Dichte		LK	Porung		Kohlenstoff-Verbindungen				
		Ld g*cm <sup>-3</sup>	Pd g*cm <sup>-3</sup>		nWK Vol.-%	TW	C <sub>t</sub>	C <sub>anorg</sub>	C <sub>org</sub> g*kg <sup>-1</sup>	N <sub>t</sub>	C/N
0-10	yeAh1	0,42	1,91	19,1	48,1	15,9	328	6,1	322	3,92	82
10-20	yeAh2	0,40	2,56	26,5	42,2	18,2	153	15,6	137	1,96	70
20-71	yeIcV1	0,38	2,32	23,1	42,3	19,0	101	17,4	84	1,04	81
71-100	yeIcV2	0,39	2,21	n, d,	n, d,	n, d,	149	3,4	146	1,37	107

Tiefe cm	Horizont	Oxide								
		Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Si <sub>o</sub>	Mn <sub>o</sub>	Fe <sub>o/d</sub>	Si <sub>o</sub> /Al <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub> +½Fe <sub>o</sub>	P-Sorb.
		g/kg						g/kg		%
0-10	yeAh1	13,4	10,5	23,8	17,3	0,34	0,78	0,72	29	91
10-20	yeAh2	13,7	9,4	33,3	27,3	0,65	0,69	0,82	38	98
20-71	yeIcV1	12,3	8,0	34,8	28,9	0,49	0,65	0,83	39	99
71-100	yeIcV2	11,3	6,9	30,5	25,7	0,27	0,61	0,84	35	98

Tiefe cm	Horizont	pH CaCl <sub>2</sub>	CEC <sub>pot</sub> mmol <sub>c</sub> *kg <sup>-1</sup>	BS %	EC <sub>1:2,5</sub> mS*cm <sup>-1</sup>	N <sub>min</sub> mg kg <sup>-1</sup>	Doppellaktat	
							K mg kg <sup>-1</sup>	P mg kg <sup>-1</sup>
0-10	yeAh1	6,8	684	100	0,8	21,2	8,4	277
10-20	yeAh2	7,6	657	100	1,7	6,0	7,4	112
20-71	yeIcV1	8,0	417	100	2,0	9,7	7,4	180
71-100	yeIcV2	8,0	360	100	2,2	6,2	25,2	235

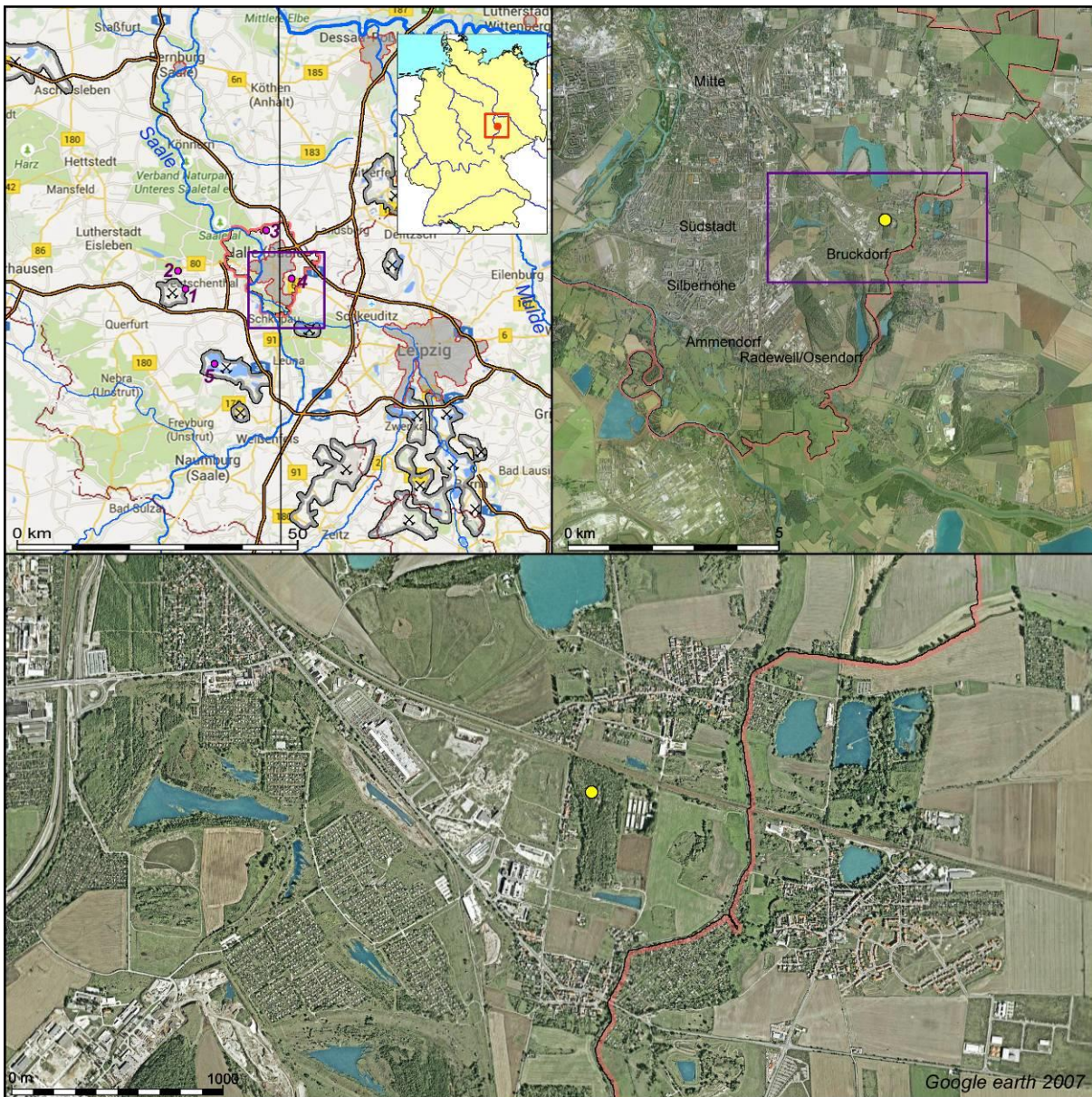
Tiefe cm	Horizont	Schwermetall-Gehalte (Königswasser)						
		Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	V
		mg kg <sup>-1</sup>						
0-10	yeAh1	13,1	72,4	56,4	66,4	33,4	5,0	192
10-20	yeAh2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
20-71	yeIcV1	43,0 <sup>1)</sup>	66,1 <sup>1)</sup>	104,9 <sup>1)</sup>	69,1 <sup>1)</sup>	32,0 <sup>1)</sup>	2,2 <sup>1)</sup>	227 <sup>1)</sup>
71-100	yeIcV2	11,7 <sup>1)</sup>	72,3 <sup>1)</sup>	42,7 <sup>1)</sup>	70,0 <sup>1)</sup>	7,7 <sup>1)</sup>	5,1 <sup>1)</sup>	186 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Eine Lage je Horizont





## Profil C-01/4: Halle (Saale)-Tonberg/Bruckdorf: Normregosol aus Bergematerial



Der Standort in Bruckdorf gehört zu einem Tagebaugelände im Südosten von Halle zwischen Osendorf und Büschdorf. Braunkohle-tagebau bei einem Kohle/Deckgebirgs-Verhältnis von 1:4-5 war hier typisch für den Beginn des 20. Jahrhunderts. Ton-, lehm- und kaolin-haltiges Bergematerial wurde in Bruckdorf auch für die Ziegelherstellung und in Töpfereien genutzt. Schon ab 1830 wurde nördlich und südlich von Bruckdorf gefördert; 1908 wurden bereits ca. 282.000 Tonnen an Kohle gewonnen. Das größte Tagebaugelände mit einer Fläche von 1.000 ha hatte den Namen „Grube Alwine“. 1925 wurden zum Abtransport des Ab-raums und zur Ablagerung in ausgeräumten Gruben Förderanlagen errichtet. Um die Trans-portwege für die Braunkohle kurz zu halten, wurden verarbeitende Industrien zur Brikettie-

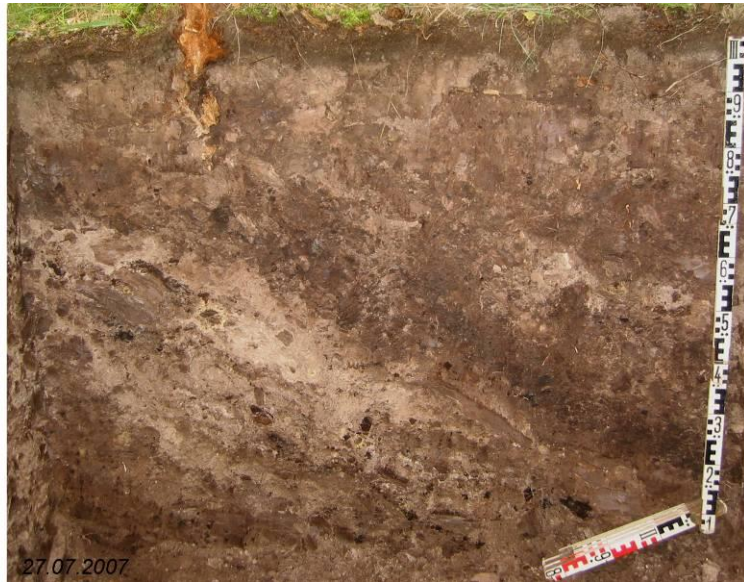
rung, Verkokung und Paraffinherstellung in der Nähe errichtet. Der Tagebau und dazugehö-rende Werke beschäftigten 1914 317 Arbeiter und 1930 bereits 650 Arbeiter. Der Tagebau wurde nach weitgehender Auskohlung 1940 beendet. Nach Unterlagen der Bergbaubehör-de existierte bereits damals die Hochkippe na-mens „Tonberg“. 1993 wurden die alten Indust-rieanlagen entfernt. Heute bestehen in dem rekultivierten Gelände Industrieflächen von 20.000 m<sup>2</sup> sowie das Messegelände der Stadt Halle.

### Literatur

Machulla, Osterloh, Peter u. Tanneberg (1995), Machulla (2000)



## Profil C-01/4: Halle (Saale)-Tonberg/Bruckdorf: Normregosol aus Bergematerial



**Lokalität:** Halle-Bruckdorf, Tonberg (Profil Hal\_11 Habil. Machulla)

**WGS84:** E 12.0304, N 51.4529

**Gauß-Krüger:** R: 45.02.217, H: 57.02.024

**Klassifikation** Deutsche Bodensystematik (KA5):  
Normregosol  
Kipp-Kohlesandlehm aus Bergematerial  
WRB 2014: Spolic Technosol (Dystric, Loamic, Ochric?);  
loam from mine spoil  
Soil Tax 2014: Fine-loamy, Kaolinitic, Mesic, Anthroportic Ustorthent

### Standortbeschreibung

**Substrat:** Kipp-Kohlesandlehm aus Bergematerial, mehrheitlich tertiäres mineralisches Material (Rupelton), teilweise auch Auftrag von Sandlöss und Geschiebemergel

**Substrat Deposition:** Der „Tonberg“ ist eine Außenkippe und existierte bereits um 1940. In der Mitte der 50er-Jahre wurde die Kippe planiert und teilweise mit Birken bepflanzt.

**Relief:** anthropogeomorph, Hochkippe, Plateau, ca. 35 Jahre Bodenentwicklung bis Beprobung

**Nutzung:** Erholungsgebiet

**Frühere Nutzung:** Kippe für Bergematerial bis Mitte der 50er-Jahre

**Vegetation:** Wald mit Birke (*Betula alba*), teilweise gepflanzt

**Höhe:** 102 m ü. NN, Hangneigung: eben, Exposition: - -, Grundwassertiefe: >10 m

**Mittl. Jahresniederschlag:** 53 mm

**Mittl. Jahrestemperatur:** 9,2 °C (Halle-Kröllwitz)

**Datum Pofilbeschreibung und Probenahme:** 21.08.1993 (Machulla)

## Profilbeschreibung

Ah	0-2	bräunlich schwarz (10 YR 2/2), Tu4, g1, sehr stark humos, kalkfrei, Krümel- bis geogenes Plattengefüge, sehr locker, mittel durchwurzelt, Tertiärmaterial, eben-deutlicher Übergang zu
j1C	-15	gräulich gelbbraun (10 YR 4/2), Ls4, g1, sehr stark kohlehaltig/humos, kalkfrei, geogenes Platten-, Polyeder- u. Einzelkorn-, Bröckelgefüge, sehr locker, schwach durchwurzelt, Gemenge tertiären Ursprunges mit Feinsandlinsen u. -bändern, kohle- (~5 %) u. tonbrockig (~10%), diffuser Übergang zu
j1C2	-70	dunkel gelborange (10 YR 7/2) u. blass orange (5 YR 8/4) u. bräunlich schwarz (10 YR 2/1,5) zu ~ gleichen Anteilen, Si4, kohlehaltig, kalkfrei, geogenes Platten-, Polyeder- u. Einzelkorngefüge, locker, schwach durchwurzelt, kohle- (~10 %) u. tonbrockig (~20%), breites Feinsandband (~50%), diffuser Übergang zu
j1C3	-140	bräunlich schwarz (10 YR 2/1,5) u. ~ 20 % dunkel gelb-orange (10 YR 7/2), Ls3, stark kohlehaltig, kalkfrei, Platten-, Polyeder-, Einzelkorngefüge, sehr locker, schwach durchwurzelt, Tertiärmaterial, kohle- u. tonbrockig (je ~10 %), Feinsandlinsen u. -bänder

**Bemerkungen:** Lagen sind zum großen Teil schräg! Im ganzen Profil und besonders in j1C2 und j1C3 etwa 1–3 cm große hellgelbe Flecken mit pH-Wert 2,8.

## Analysendaten

Tiefe cm	Horizont	X, Gr %	Textur C-frei									C-haltig			Bod. art KA 5
			fS	mS	gS	fU	mU	gU	T	U	S	Ton	OM	CaCO <sub>3</sub>	
0-5	Ah	0,0	18	6	1	9	18	21	27	48	25	23	16,0	0,0	Lt2
-15	j1C	0,0	43	5	1	7	10	16	18	34	49	16	11,8	0,0	Ls3
-70	j1C2	0,0	35	27	0	7	9	11	12	27	61	10	11,2	0,0	Si4
-140	j1C3	0,0	45	6	1	8	10	14	16	32	52	15	8,8	0,0	Si3

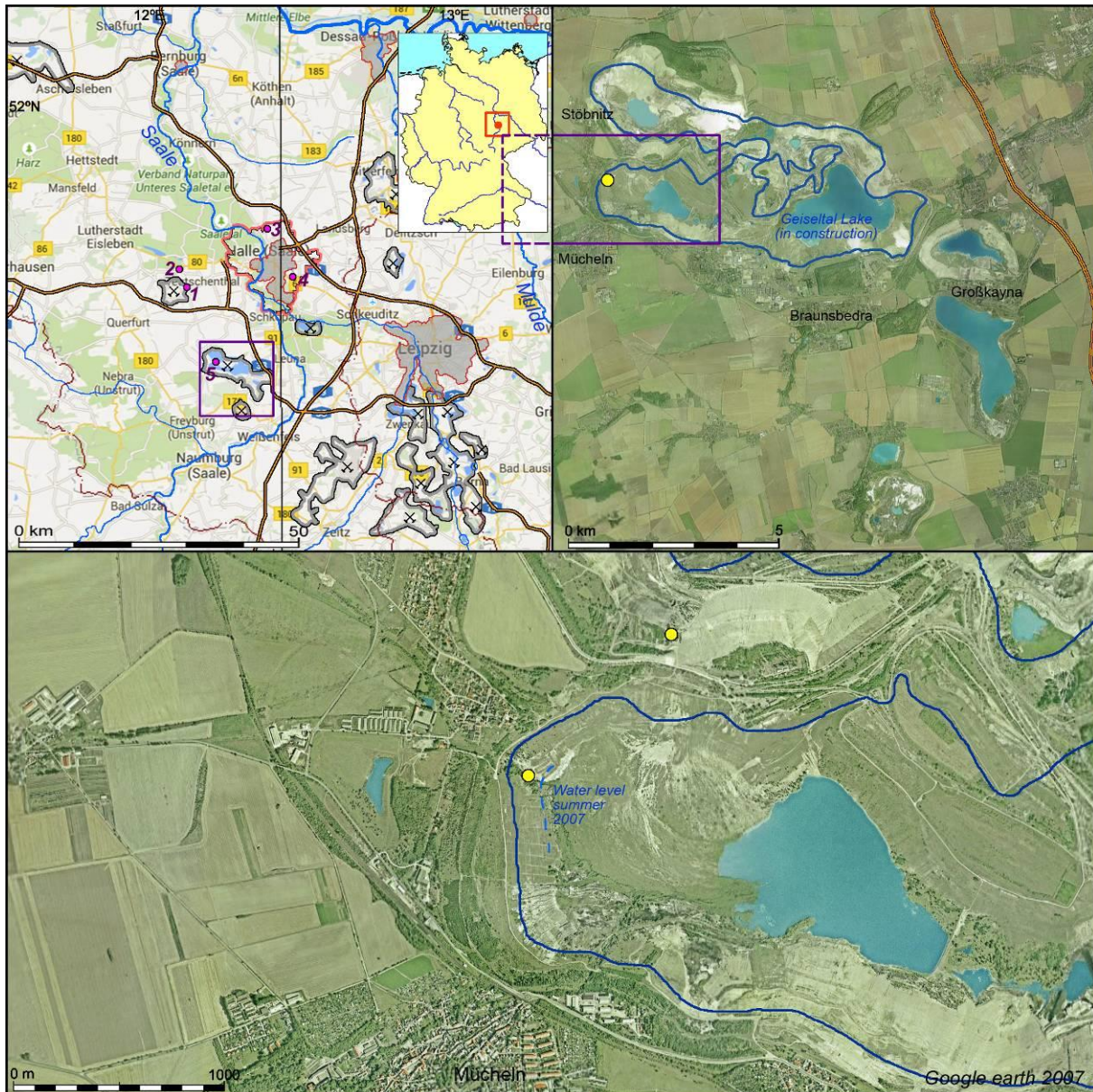
Tiefe cm	Horizont	Ld			GPV	Wasservolumen bei pF				kf cm/d	pH	
		Ld	Ld <sub>eff</sub>	g/cm <sup>3</sup>		LK	FK	nFK	TW		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>
0-5	Ah	0,8	1,1	s. ger	63,4	27,1	36,3	22,6	13,7	274	4,2	3,5
-15	j1C	1,1	1,2	s. ger	53,5	14,0	39,5	21,4	18,1	145	3,9	3,1
-70	j1C2	1,1	1,2	s. ger	57,8	19,6	38,2	23,2	15,0	214	3,2	2,8
-140	j1C3										3,2	2,9

Tiefe cm	Horizont	SO <sub>4</sub> -S mg/kg	Kationenaustausch (eff.)							Nmin		Doppellaktat		
			Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S-Wert	H+Al	KAK	BS	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	P	K
0-5	Ah	799	7	89	1	1	98	167	265	37			9	30
-15	j1C	333	5	57	1	1	64	171	235	27			10	29
-70	j1C2	133	4	66	1	1	72	338	220	33			25	12
-140	j1C3	1931	2	74	1	1	70	91	169	46			26	17

Tiefe cm	Horizont	Kohlenstoff-Verbindungen					Mikrobielle Biomasse und Aktivität			
		C <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	C <sub>anorg</sub>	N <sub>t</sub>	C/N	C <sub>mik</sub> (FEM) mg/kg	Basalatmung mg CO <sub>2</sub> -C/ kg/h	qCO <sub>2</sub> mg CO <sub>2</sub> -C/ g C <sub>mik</sub> /h	Dehydro- genasen µg TPF/g
0-5	Ah	80	80	0	1,2	67	246	1,3	5,3	40
-15	j1C	59	59	0	0,9	66	159	1,2	7,4	28
-70	j1C2	56	56	0	0,8	70	102	1,0	9,7	11
-140	j1C3	44	44	0	0,7	63	73	1,2	16,1	5



## Profil C-01/5: Mücheln / Geiseltal: Normlockersyrosem aus Bergematerial



Das Gebiet des Geiseltales liegt westlich der Kreisstadt Merseburg und gehört zu den großflächigen Braunkohlentagebaulandschaften, die auf dem Territorium der ehemaligen DDR auf Reviere der Regionen Cottbus und Halle-Leipzig verteilt sind. Die Braunkohlegewinnung ist seit 1698 belegt und wurde in der Mitte des 19. Jahrhunderts stark intensiviert. Die Braunkohle, zunächst in den Zuckerfabriken gebraucht, diente nicht nur als Energiequelle, sondern bildete auch die Rohstoffbasis für die entstehende chemische Industrie in der Region Merseburg (Leuna und Buna). Bedingt durch die Fördermenge im Geiseltalrevier (mit insgesamt 9 Tagebauen) von 300 Mio. t Braunkohle/a wurden jährlich 1,35 Milliarden m<sup>3</sup> Erde bewegt. Im Tagebau Muecheln wurden zwischen

1970 und 1993 1.028,5 Mio. t Kohle und 941,5 Mio. m<sup>3</sup> Abraum gefördert. Im Ergebnis hat sich das Braunkohlenbergbauggebiet als relativ eigenständiger und problematischer Wirtschaftsgebietstyp herausgebildet. Nach dem Abbau der Braunkohle ist die Eingliederung dieser Gebiete in die Landschaft durch Bereitstellung von Flächen für unterschiedliche Nutzungen wie Naherholung, Land- und Forstwirtschaft sowie Siedlungen ein Problem erster Ordnung.

Das Geiseltalrevier bei Merseburg mit insgesamt 9 Tagebauen stellt mit einer Fläche von 200 km<sup>2</sup> eine der größten devastierten Flächen des Landes Sachsen-Anhalt dar und soll wie die Goitzsche bei Bitterfeld als Naherholungsgebiet gestaltet werden. Da laut derzeitigem



Erkenntnisstand von den aufgeführten Gebieten keine akuten Belastungen ausgehen, wird angestrebt, diese Standorte dem Landschaftsbild der Regionen so anzupassen, dass sie den gehobenen ökologischen Ansprüchen der Bevölkerung gerecht werden.

Eine der Hauptaufgaben bestand zunächst darin, der Erosion durch Wind und Oberflächenwasser Einhalt zu gebieten. Als wirksamer Schutz vor Erosion erwies sich eine Vegetationsdecke mit einer verhältnismäßig intensiven Durchwurzelung oberflächennaher und -ferner Substratschichten.

Die Rekultivierung des Gebiets begann 1991, und 2003 bis 2011 wurde das Restloch mit Saalewasser geflutet. Wegen Versickerungsverlusten im bergbaulich zerklüfteten Untergrund rechnet man mit der Notwendigkeit, mindestens noch 20 Jahre Wasser einspeisen zu müssen. Der Geiseltal-See hat ein Volumen von ca. 410 Mio. m<sup>3</sup> und eine Tiefe von 70 m. Mit fast 19 km<sup>2</sup> Fläche ist er der größte künstliche See in Deutschland. An den Ufern des Geiseltal-Sees entstand/entsteht eine Reihe von Freizeiteinrichtungen wie z.B. die Marina Mücheln.

**Profil C-01/5: Mücheln / Geiseltal: Normlockersyrosem aus Bergematerial**



**Lokalität: Geiseltal nahe Mücheln**

	<b>WGS84:</b>	<b>Gauß-Krüger: R, H</b>
<b>A</b>	11.8116, 51.3141	4486967, 5686600
<b>B</b>	11.8116, 51.3141	4486971, 5686602

**Klassifikation Profil A** Deutsche Bodensystematik (KA5):  
Normlockersyrosem  
Kohle (Braunkohle)

**Klassifikation Profil B** Deutsche Bodensystematik (KA5):  
Normlockersyrosem  
Kipp-Kohlesand (aus Bergematerial) über tiefer Kohle (Braunkohle)

## Standortbeschreibung

Substrat: Kipp-Kohlesand (aus Bergematerial) bestehend (B) aus variierenden Gehalten an Braunkohle und tertiärem Bergematerial, teilweise auch Braunkohle anstehend (A)

Substrat Deposition: bis 1975

Relief: Innenkippe, anthropogeomorph, 2003/04 eingeebnet, ca. 2–3 Jahre Bodenentwicklung bis Probenahme, Flächen-, Rillen- und Rinnenerosion

Nutzung: bis 1975 Deposition von Abraum, Brache bis 2003/04, Grasansaat, seit 2010/11 geflutet

Ehem. Nutzung: Braunkohlentagebau, Innenkippe

Vegetation: Graseinsaat, durch Flächenerosion horstartiges Vorkommen, geschätzte Flächenerosion seit Einsaat ca. 2 cm. Vereinzelt Vorkommen von Robinie und Birke

Höhe: 88 m ü. NN, Hangneigung: ~10 %, Exposition: ESE, Grundwassertiefe: >5 m, ansteigend

Mittl. Jahresniederschlag: 490 mm

Mittl. Jahrestemperatur: 9 °C

Datum Profilbeschreibung und Probenahme: 25.07.2007 (Kastler u. Kühn)

## Profilbeschreibung

Horizont KA 5	Tiefe [cm]	Farbe	Struktur	Bodenart	Bemerkungen
<b>A</b>					
jAi	0-5	10YR1.7/1	bröckelig	Org.	sehr gering durchwurzelt, kohlehaltig
IIoIC1	5-30	7.5YR1.7/1	Gesteinsstrukt., polyedrisch	Org.	Wurzeln nur in Klüften, autochthon lagernde Braunkohle, sandige Kluftoberflächen
IIoIC2	30-110+	7.5YR1.7/1	Gesteinsstrukt., polyedrisch	Org.	Wurzeln nur in Klüften, autochthon lagernde Braunkohle, sandige Kluftoberflächen
<b>B</b>					
jAi	0-12	10YR1.7/1	polyedrisch	SI	keine Wurzeln, kohlehaltig
IIjilC	12-80	10YR3/1	kohärent	SI	keine Wurzeln, schräg geschichtet, kohlehaltig, Sand-/Tonlinsen
IIIjilC	80-100	10YR1.7/1	polyedrisch	SI	keine Wurzeln, schräg geschichtet, kohlehaltig
IVoIC	>100	7.5YR1.7/1	Gesteinsstrukt., polyedrisch	Org.	autochthon lagernde Braunkohle

Deflationsoberfläche aus Sand und Kies

## Analysendaten

	Horizont		Tiefe cm	Grobb. M.-%	Sand	Schluff M.-%	Ton	Bodenart		Ld g*cm <sup>-3</sup>	xxCO <sub>3</sub> M.-%
	FAO	KA 5						FAO	KA5		
A1	CuAh	jAi	0-5	2	n.d.	n.d.	n.d.	Org.	Org.	0,42	0,0
A2	2C1	IIoIC1	5-30	3	n.d.	n.d.	n.d.	Org.	Org.	0,47	0,0
A3	2C2	IIoIC2	30-110	0	n.d.	n.d.	n.d.	Org.	Org.	0,50	0,0
B1	CuAh	jAi	0-12	3	77	12	11	SL	SI3	1,30	0,0
B2	2Cu	IIjilC	12-80	9	79	12	9	SL	SI3	1,38	0,0
B3	3Cu	IIIjilC	80-100	5	79	12	10	SL	SI3	1,45	0,0

	pH1:2,5	pH1:2,5	EC1:2,5	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C:N	ECEC	B. s. (ECEC)	P	K
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	mS*cm <sup>-1</sup>	M.-%	g*kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> *kg <sup>-1</sup>	%	pfl.verfüg. mg kg <sup>-1</sup>	DL
A1	5,4	5,3	1,13	51,7	4,73	109	82,0	99	37	37
A2	5,4	5,2	0,94	51,2	3,86	133	81,8	100	26	37
A3	5,8	5,7	0,91	54,1	4,15	130	90,4	100	22	40
B1	6,4	6,0	0,27	7,1	0,22	317	13,5	100	21	13
B2	7,2	7,0	0,53	2,6	0,13	198	6,5	100	21	9
B3	7,3	7,0	0,37	2,1	0,19	113	6,3	100	20	7

### 3. Methoden

**Soil description** was done according to FAO (2006) and Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005).

**Soil classification** was done according to World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB 2014), Soil Taxonomy (USDA Soil Survey Staff 2014) and German Classification (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005).

#### Soil physical methods

**Coarse fragments** by dry sieving with a 2 mm sieve.

**Particle size distribution** analysis by combined sieve and pipette method according to Schlichting et al. (1995) after usually removing OM with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and lime with HCl. For lignite ashes (site 3), sedimentation methods are not appropriate for the determination of particle size distribution because of the high content of fossil organic matter and the variable particle density.

The presence of carbonates, gypsum and – in some cases – other soluble salts also causes problems. Therefore, the samples were washed with 10% NaCl to retain substrates free of gypsum. Carbonate destruction was not carried out. After each washing, the Samples were centrifuged for 6 min at a speed of 6500 g until the electrical conductivity in the supernatant was less than 150 µS cm<sup>-1</sup> (modified method of Stern et al. 1989). To determine the clay and silt fraction we used a laser granulometer (CILAS 920) with active transport of the soil-water-suspension, which minimises problems arising from differing particle densities of the analysed material. The Sand fraction was determined by wet sieving,

**Texture** according to the texture-triangles in FAO (2006) and Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005).

Measurement of **pore size distribution** with undisturbed core samples and pressure plates according to Schlichting et al. (1995).

**Bulk density** was determined by the core method with five replicates in 10-cm steps throughout all profiles.

Determination of **Particle density** by using a He-pycnometer.

### Soil chemical methods

**xxCO<sub>3</sub>; Total inorganic carbon (TIC)** was determined by oxidation with 42% phosphoric acid and the evolving CO<sub>2</sub> was detected by IR (Ströhlein C-mat 550 LI) and calculated to **CaCO<sub>3</sub>**.

**pH** was measured after one hour in 1 M KCl, 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, and double deionised water respectively, at a soil solution ratio of usually 1:2.5 w/v after 5 minutes of shaking.

**Electrical conductivity (EC)** was measured at a soil:solution ratio of 1:2.5 in double deionised water.

**C<sub>org</sub>** was calculated as the difference between TC and TIC. TC was determined by combustion at 950°C with IR (Ströhlein-Apparatur C-mat 550 LI) or by dry combustion at 900°C with a CNS analyzer (Elementar Vario EL), TIC see xxCO<sub>3</sub>.

**N<sub>t</sub>** Kjeltec by using the Kjeldahl method (according to Schlichting et al. 1995) or by dry combustion at 900°C with a CNS analyzer (Elementar Vario EL).

**CEC<sub>pot</sub>**; Either by 0.1 M BaCl<sub>2</sub> (pH 8.1) solution (Mehlich) as sum of Ca, Mg, Na, K and back titration for H and Al or at pH 7.0 of bulk soils (<2 mm) as described by Hendershot et al. (1993). Accordingly, 10 g soil was saturated with NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, washed with isopropanol and extracted with 1 M KCl. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in the KCl extracts was determined photometrically using an autoanalyzer (Skalar SAN Plus).

**ECEC**; Exchangeable cations are determined by ICP-OES after repeated extraction into 1 M NH<sub>4</sub>Cl; the sum of their equivalent concentrations gives the ECEC. In acidic soils (pH <7), additionally the exchangeable acidity is determined by titration after extraction with 1 M KCl.

**N<sub>min</sub>**; Mineral N forms (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) are extracted into 1 M KCl and determined colourimetrically (see Schlichting et al. 1995).  
$$N_{\min} = \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$$

**Plant available K and P** were extracted at pH 3.6 with Ca-lactate according to Hoffman (1991). P was determined colorimetrically using an auto-analyser, while K was determined by flame emission spectroscopy.

**Gypsum** in lignite ash derived soils was determined by precipitation in acetone according to Buurman et al. (1996), followed by dissolution in double deionised water and measurement of Ca by ICP-AES (Jobin Yvon JY 70 Plus). The calculation of gypsum content was based on CaSO<sub>4</sub> x 2 H<sub>2</sub>O.

**Dithionite extractions of iron (Fe<sub>d</sub>), silica (Si<sub>d</sub>) and aluminium (Al<sub>d</sub>)** were done according to Blakemore et al. (1987) using finely ground samples. 22% sodium citrate was applied at a soil:solution ratio of 1:50 w/v, and sodium dithionite added as reductant. The ratio soil:reductant was 1:1 w/w. After 16 hours of shaking, the samples were centrifuged, filtered and Si<sub>d</sub>, Al<sub>d</sub> and Fe<sub>d</sub> were determined by ICP-AES (Jobin Yvon JY 70 Plus).

**Oxalate extraction of iron (Fe<sub>o</sub>), silica (Si<sub>o</sub>) and aluminium (Al<sub>o</sub>)** was performed according to Blakemore et al. (1987) using 0.2 M ammonium oxalate at pH 3. The samples were shaken for four hours in the dark (soil:solution ratio of 1:100 w/v). Fe, Si<sub>o</sub> and Al<sub>o</sub> were determined by ICP-AES (Jobin Yvon JY 70 Plus).

**Trace elements** were determined according to the German DIN 38414 S7 procedure for aqua regia digestion. The elemental concentrations were measured by ICP-AES (Jobin Yvon JY 70 Plus).

**All chemical analyses** were conducted with air dried samples at least in duplicate.



## Soil mineralogical methods

Random powder mounts of finely ground soil samples (<2 mm) and textured clay samples were analyzed by X-ray diffraction (Siemens D5005) using CuK $\alpha$  radiation generated at 40 kV and 30 mA. Mineral identification was done with the Siemens/Bruker DIFRACplus EVA software.

## Soil microbiological methods

Before estimating microbial parameters, the soil samples were incubated for 2 days at 8°C and 5 days at 25°C. Soil pre-incubation is necessary to obtain a non-growing, stable microbial population and to minimise the influence of soil disturbance throughout the sampling procedure for instance on microbial biomass (Jenkinson 1988).

**Microbial biomass carbon** ( $C_{mic}$ ) was determined by the alcohol-free chloroformfumigation- $K_2SO_4$  extraction method (Vance et al. 1987). Carbon in soil extracts was analysed with a Foss Heraeus Liquitoc analyzer after Oxidation with  $Na_2S_2O_8$  under UV light influence. Normally, the estimation of microbial biomass is done according to the following equation (Sparling and West 1988).

$$C_{mic}\text{-content } (\mu\text{g } C_{mic} \text{ g}^{-1}) = (C_{org} \text{ fumigated sample} - C_{org} \text{ nonfumigated sample}) / kc$$

where  $kc$  is the proportion of microbial C extractable in 0.5 M  $K_2SO_4$ . For agricultural Soils, a  $kc$  factor of 0.45 is used (Wu et al. 1990, Jenkinson, 1988). As the lignite ash substrates are characterised by strongly differing soil chemical and soil physical conditions, the  $kc$  factor for agricultural soils is no adequate mean to calculate the microbial biomass. As the  $kc$  factor for lignite ash substrates is not known, the data for microbial biomass are provided **without correction**.

**Basal soil respiration** (data not shown) was measured according to the method of Järgi (1976). The amount of  $CO_2$  after incubation of the soil samples (in Schott-flasks for 24 h at 22°C) was estimated by titration

with 0.1 M HCl. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ), as an indicator of stress, was obtained as the ratio of basal respiration and  $C_{mic}$  (Anderson and Domsch 1990).

**$qCO_2$  (metabolic quotient)** was calculated according to the following equation:

$$qCO_2 = \frac{\text{Basal respiration}}{\text{Biomass}} = \frac{\mu\text{g}CO_2 - C \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}}{\mu\text{g}C_{mik} \cdot \text{g}^{-1}} \cdot 1000 = \frac{\mu\text{g}CO_2 - C \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}}{\text{mg}C_{mik} \cdot \text{g}^{-1}}$$

where:  $qCO_2$  = Metabolic Quotient (mg  $CO_2$ -C / g  $C_{mic}$  / h)  
Basal respiration =  $\mu\text{g}CO_2\text{-C} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$   
Microbial biomass =  $\mu\text{g}CO_2\text{-C} \cdot \text{g}^{-1}$

**All physical, chemical, and microbiological parameters** are reported on an oven-dry weight basis (drying the soils over night at 105°C).

## Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). Schweizerbart, Stuttgart
- Altermann M (1996): Konzeptbodenkarte der Stadt Halle
- Altermann M, Kühn D (1995): Exkursion E Mitteldeutsches Trockengebiet - Böden Bodennutzung und Bodenschutz im Mitteldeutschen Trockengebiet am Beispiel der Querfurter Platte. Mittl. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 77: 229–78
- Altermann M, Mania D (1968): Zur Datierung von Böden im mitteldeutschen Trockengebiet mit Hilfe quartärgeologischer und urgeschichtlicher Befunde. *Thaer-Archiv* 12/7: 539–557
- Altermann M, Rinklebe J, Merbach I, Körschens M, Langer U, Hofmann B (2005): Chernozem - Soil of the Year 2005. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 725–740
- Anderson T-H, Domsch KH (1990): Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* 22: 251–255
- Bachmann H, Ehling BC (2006): Geologie von Halle. *Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. V., N.F.* 88: 121–144
- Blakemore LC, Searle PL, Daly BK (1987): Methods for Chemical Analysis of Soils. New Zealand Soil Bureau Scientific Report 80. Lower Hutt, N. Z.
- Blumenstengel H, Lamm M, Meng S, Schroeter A, Schuberth K, Thomae M, Wansa S (2006): Klassisches Pleistozän und Tertiär und Bergbaufolgelandschaften bei Halle (Saale), Exkursion D. *Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. V., N.F.* 88: 197–231
- Brodowski S, Amelung W, Haumaier L, Zech W (2007): Black carbon contribution to stable humus in German arable soils. *Geoderma* 139: 220–228
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1993): Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1: 1,000,000. Hannover
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2002): in: Bundesrepublik Deutschland Nationalatlas - Relief, Boden und Wasser (2003), Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin
- Buurman P, van Langen B, Velthorst EJ (1996): Manual for soil and water analysis. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. 311 pp.
- Dette C (2005): Die Entwicklung des heutigen Stadtgebietes von Halle (Saale) in den vergangenen 200 Jahren - Möglichkeiten der Rekonstruktion aus historischen topographischen Karten und die interaktive Präsentation. Diplomarbeit, MLU Halle (unveröffentlicht)
- DIN 38414 S7 (1983): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Aufschluss mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen.
- FAO (2006): Guidelines for soil description. 4<sup>th</sup> ed. Rome, Italy. 97 pp.
- Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt (1993): Geologische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt 1:400.000.
- Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt (1996): Bodenkarte Halle und Umgebung 1:50.000.
- Gerstengarbe F-W, Badeck F, Hattermann F, Krysanova V, Lahmer W, Lasch P, Stock M, Suckow F, Wechsung F, Werner P (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK Report No. 83
- Glaser B, Knorr K-H (2008): Isotopic evidence for condensed aromatics from non-pyrogenic sources in soils - implications for current methods for quantifying soil black carbon. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 22, 935–942. <http://dx.doi.org/10.1002/rcm.3448>
- Hendershot WH, Lalonde H, Duquette M (1993): Ion exchange and exchangeable cations. In: MR Carter (ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA
- Hoffmann G (1991): in: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten: *Methodenbuch Band I, Die Untersuchung von Böden*, 4. Aufl.
- IUSS Working Group WRB (2014): World Reference Base for Soil Resources 2014. World Soil Resources Reports 106, FAO, Rome
- Jäggi W (1976): Die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. *Schw. Landw. Forschung* 15: 371–380
- Jenkinson DS (1988): Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: JR Wilson (ed.) *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. CAB International, Wallingford GB: 368–386
- Kahle M. (2004): Carbon storage in relation to soil mineral phase and its properties: loess derived illitic soils from Central Germany. Dissertation Halle/Saale. *Hallenser Bodenwissenschaftliche Abhandlungen Bd. 04* (Hrsg. R Jahn), Der Andere Verlag, Osnabrück. 99 S.
- Kahle M, Kleber M, Torn MS, Jahn R (2003): Carbon storage in coarse and fine clay fractions of illitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1732–1739
- Kastler M, 2006: Einfluss der Pedogenese auf die räumliche Porengeometrie und damit verbundene hydraulische Transporteigenschaften in Böden aus Braunkohlenaschen. Dissertation Halle/Saale. *Hallenser Bodenwissenschaftliche Abhandlungen Bd. 09* (Hrsg. R. Jahn), Der Andere Verlag, Osnabrück.
- Kleber M, Rößner J, Chenu C, Glaser B, Knicker H, Jahn R (2003): Prehistoric Alteration of Soil Properties in a Central German Chernozemic Soil. In: *Search of Pedologic Indicators for Prehistoric Activity*. *Soil Sci.* 168: 292–306

- Krummbiegel G, Schwab M (1974): Saalestadt Halle und Umgebung. Ein geologischer Führer. Teil I: 1–100 und Teil II: 1–72
- Machulla G (2000): Mikrobielle Aktivität von Böden aus anthropogenen und natürlichen Substraten - Meß- und Schätzverfahren für die Standortbewertung. Habilitation Halle/Saale. Hallenser Bodenkundliche Abhandlungen Bd. 01 (Hrsg. R Jahn), Der Andere Verlag, Osnabrück
- Machulla G, Osterloh M-J, Peter T, Tanneberg H (1995): Exkursion L Stadt Halle und Umgebung - Böden technogener und umgelagerter natürlicher Substrate. Mittl. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 77: 407–422
- Machulla G, Zikeli S, Kastler M, Jahn R (2004): Microbial biomass and respiration in soils derived from lignite ashes: a profile study. J. Plant Nutr. Soil Sci. 167: 449–456
- Müller H (1953): Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des mitteldeutschen Trockengebietes. Nova Acta Leopoldina, N.F. 16, 110: 4–67
- Neumeister H, Franke C, Nagel C, Peklo G, Zierrath R, Peklo, P (1991): Immissionsbedingte Stoffeinträge aus der Luft als geomorphologischer Faktor. Geoökodynamik 12: 1–40
- Schlesier D, Pohlert M, Wycisk P (2006): 3D-Geologie der Stadt Halle (Saale).
- Schlichting E, Blume H-P, Stahr K (1995): Bodenkundliches Praktikum. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin-Wien
- Schlüter S, Weller U, Vogel H-J (2011): Soil-structure development including seasonal dynamics in a long-term fertilization experiment. J. Plant Nutr. Soil Sci. 174: 395–403
- Schmidt MWI, Skjemstad JO, Gehrt E, Kögel-Knabner I. (1999): Charred organic carbon in German chernozemic soils. Europ. J. Soil Sci. 50: 351–365
- Sparling GP, West AW (1988): A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labeled cells. Soil Biol. Biochem. 20: 337–343
- Stern R, Alperovitch N, Levy GJ (1989): Rapid removal of gypsum by resin prior to particle size distribution analysis in soils. Soil Sci. 148: 448–451
- Tanneberg H, Jahn R, Hartmann K-J, Kraus A (2003): Zur Korrelation von Reflexionsmessungen an Schwarzerden mit dem Gehalt an organischem und pyrogenem Kohlenstoff. Mittl. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 102/2: 801–802
- USDA Soil Survey Staff (1999): Soil Taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2<sup>nd</sup> ed. Agric. Handbook 436. Washington DC. 869 pp.
- USDA Soil Survey Staff (2014): Keys to Soil Taxonomy. 12<sup>th</sup> ed.
- Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS (1987): An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. Soil Biol. Biochem. 19: 703–707
- Wagenbreth O, Steiner W (1998): Geologische Streifzüge: Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg. Dtsch. Verl. f. Grundstoffindustrie, Leipzig
- Wittmann U (1993): Zur Entwicklung des Braunkohlensascheaufkommens in den neuen Bundesländern bis zum Jahr 2000. Verwertung von Braunkohlensaschen in den neuen Bundesländern. Arbeitsgespräch am 18.03.1993., „Abfallwirtschaft und Altlastensanierung“ Umweltbundesamt
- Wu J, Joergensen RG, Pommerening B, Chaussod R, Brookes PC (1990): Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction - an automated procedure. Soil Biol. Biochem. 22: 1167–1169
- Zikeli S (2004): Soil Development on Lignite Ash Disposal Sites. Dissertation Halle/Saale. Hallenser Bodenkundliche Abhandlungen Bd. 06 (Hrsg. R Jahn), Der Andere Verlag, Osnabrück
- Zikeli S, Jahn R, Kastler M (2002): Parameters indicating soil development on recent lignite ash disposal sites. Abstracts of 17th World Congress of Soil Science, Bangkok 14–21 Aug. 2002, Abstracts Vol. V: 1681. CD-Rom Abstracts no. 1324
- Zikeli S, Kastler M, Jahn R (2004): Cation exchange properties of soils derived from lignite ashes. J. Plant Nutr. Soil Sci. 167: 439–448
- Zikeli S, Kastler M, Jahn R (2005): Classification of Anthrosols with vitric/andic properties derived from lignite ash. Geoderma 124: 253–265

## **C-02: Wanderung durch die Bodenlandschaft des Göttinger Waldes – Deckschichten, Bodenentwicklung und -variabilität auf Gesteinen des Unteren Muschelkalks**

Ernst Gehrt<sup>1</sup>, J. Heisler<sup>1</sup>, S. Evertsbusch<sup>1</sup>, W. Knabe †<sup>2</sup>, J. Dietel<sup>2</sup>, M. Bock<sup>3</sup>, J. Böhner<sup>3</sup>, M. Levin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> LBEG, Stilleweg 2, 30655 Hannover

<sup>2</sup> BGR, Stilleweg 2, 30655 Hannover

<sup>3</sup> Universität Hamburg, Bundesstraße 55, 20146 Hamburg

<sup>4</sup> Stadtforstamt, Hiroshimaplatz 1–4, 37083 Göttingen

---

### **Einführung ins Exkursionsgebiet**

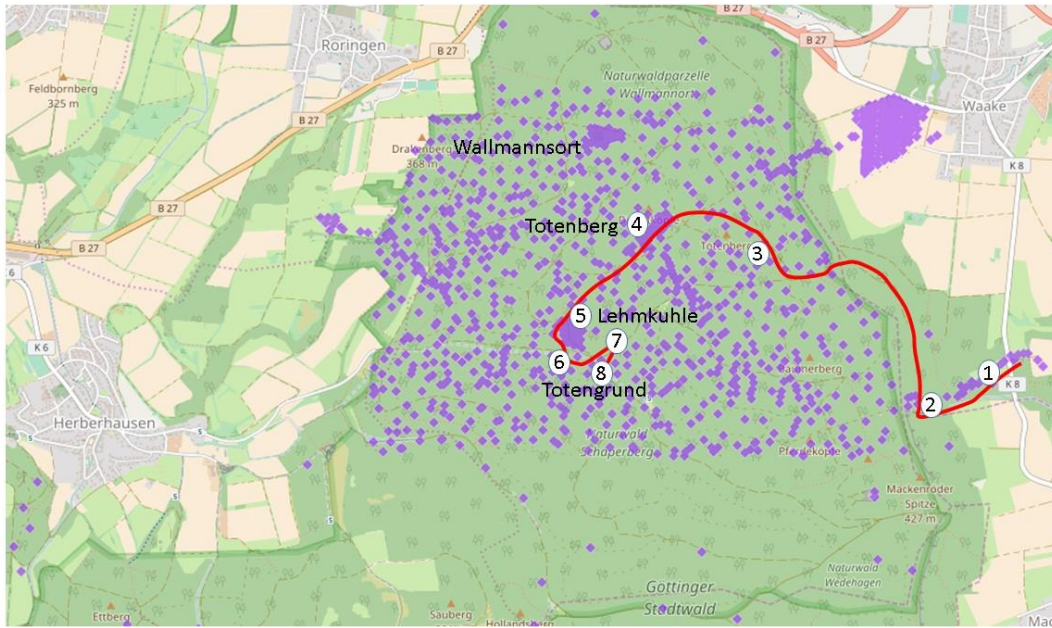
Wie einige Exkursionen zur Jahrestagung 1985 führt diese Wanderexkursion auf das Muschelkalkplateau des Göttinger Waldes. Die Eigenschaften der Böden und die Bodenentwicklung auf Gesteinen des Muschelkalks wurden schon vielfach in Aufsätzen und auf Exkursionen vorgestellt. Die Motivation für die Ausrichtung der Exkursion in den Göttinger Wald liegt in folgenden Punkten:

- Das Gebiet drängte sich logistisch für eine Exkursion am Tagungsort Göttingen geradezu auf.
- 3 Jahrzehnte nach der letzten Tagung (Anders et al. 1985, Meyer et al. 1985) haben die meisten Teilnehmer die Böden im Göttinger Wald noch nicht gesehen.
- Die Frage nach der Bodenentwicklung (Kalksteinbraunlehm – Terra fusca – Parabraunerde) wird seit 50 Jahren immer wieder aufgegriffen (Scheffer u. Meyer 1959, Scheffer,

Welte u. Meyer 1960, 1962, Thöle u. Meyer 1979). Mit der Doktorarbeit Fier (2012) zu „Entstehung, Eigenschaften und Klassifikation tonreicher Unterbodenhorizonte in Böden auf Carbonatgestein in norddeutschen Berg- und Hügelländern“ wird das Thema mit unter anderen drei Standorten im Exkursionsgebiet untersucht und wie in den vorhergehenden Arbeiten die Terra fusca-Bildung postuliert.

- Der Zusammenhang zwischen den Deckschichten (Hauptlagen) in den Kalksteingebieten und der Bodenentwicklung wurde in der Vergangenheit nur untergeordnet angesprochen oder verneint (Rohdenburg u. Meyer 1968). Seitens des LBEG liegen aus den Jahren 1990 bis 1994 umfangreiche bisher nicht veröffentlichte Untersuchungen zu den Deckschichten und zur Bodenentwicklung vor.





**Abb. 1:** Exkursionsroute mit Lage der Detailgebiete und LBEG-Bohrungen im Göttinger Wald

**Tab. 1:** Exkursionsprogramm

Nr.	Exkursionspunkt	Thema	von	bis
	Anfahrt mit Bus		8:00	8:30
1	Tonfließerden aus Oberem Buntsandstein (Röt) Pelosol-Braunerde	Deckschichten über autochthonen tonigen Fließerden, Bodenansprache und Gefügeansprache bei Tonböden	8:30	9:30
	Wanderung 15 Minuten		9:30	9:45
2	Holozäne Fließerden aus Muschelkalkverwitterungslehmen Humus-Pararendzina	Rutschungsdynamik, Georisiken, Waldbau, Bodenansprache	9:45	10:45
	Wanderung 60 Minuten Anstieg Schichtstufe		10:45	11:45
3	Exkursionspunkt Rendzina Muschelkalkschichtstufe	Geologie, Mineralogie und Paläoböden im Kalkstein	11:45	12:15
	Mittagspause und Wanderung 30 Minuten		12:15	12:45
4	4.1-4.3 Hauptlagen über Gesteinen des Unteren Muschelkalks Rendzina bis Terra fusca-Parabraunerde	Variabilität der Hauptlage, Fließerdemächtigkeit, Zusammensetzung der Hauptlage, Bodenentwicklung auf Kalksteinen	12:45	15:00
	Wanderung 30 Minuten		15:00	15:30
5	Hauptlagen über Mittellagen über Gesteinen des Unteren Muschelkalks Parabraunerde	Horizonte und Bodenentwicklung	15:30	16:00
6	Bodenentwicklung in mittelalterlichem Hohlweg	Horizonte und Bodenentwicklung	16:00	16:30
	Wanderung 15 Minuten		16:30	16:45
7	Altacker Kolluvisol	Altackervergangenheit, Ackerterrassen, Altacker Nutzungsgeschichte, Historisch alte Waldstandorte	16:45	17:15
8	Totengrund	SaLEM – Modellierung der Landschaftsentwicklung und periglaziären Sedimente im Weichselspätglazial	17:15	18:00
	Exkursionsende	Exkursionsausklang und Rückfahrt mit Bus	18:00	19:00

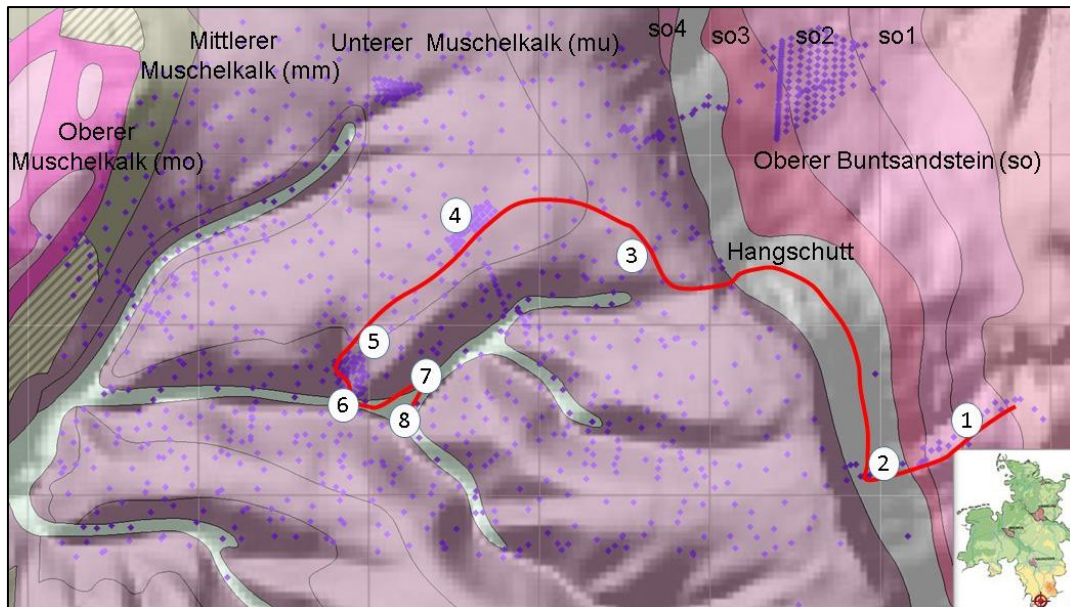
Das Exkursionsgebiet liegt etwa 7 km östlich der Stadt Göttingen. Die Höhe liegt im Mittel bei 400 m über NN (Abb. 1). Es befindet sich im südniedersächsischen Schichtstufen-Bergland und repräsentiert einen Ausschnitt der Landschaft des Unteren Muschelkalks. Die genetisch als tertiäre Kappungsfläche anzusprechende Stufenfläche neigt sich schwach nach Westen und wird in ostwestlicher Richtung von Trockentälern gegliedert. Im Osten wird das Gebiet durch den steil abfallenden Schichtstufenhang begrenzt. Das Gebiet ist überwiegend bewaldet.

Mit den Exkursionspunkten werden geologisch-bodenkundliche Besonderheiten in der Schichtstufe des Göttinger Waldes (allochthone und holozäne Fließerden) vorgestellt. Die Frage der Ausbildung und Variabilität der Hauptlage auf Gesteinen des Muschelkalks und deren Zusammenhang mit Bodenbildung ist ein weiterer Schwerpunkt. Damit wird auch das „alte“ Thema Parabraunerde und/oder Terra fusca behandelt. In diesem Kontext werden neue Ergebnisse zu Terra fusca- und Terra rossa-Böden aus dem Göttinger Wald und der Schwäbischen Alb vorgestellt. Aspekte der historischen Landnutzung bzw. die Frage nach historisch alten Waldstandorten und die Prognose zu den periglaziären Füllungen in den Trockentälern mit dem LEM (Landschaftsentwicklungsmodell Univ. Hamburg) runden das Exkursionsprogramm (Tab. 1) ab.

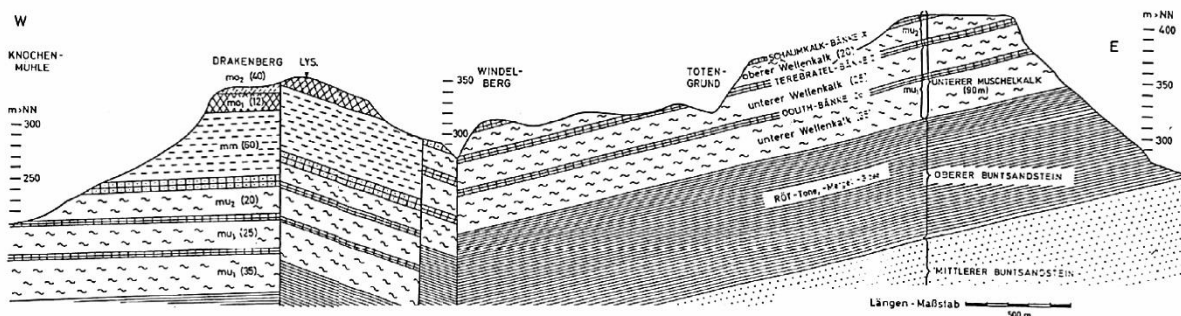
**Klima:** Das Klima des Göttinger Waldes hat in den Hochlagen um 300 bis 400 m ü. NN Niederschläge von 700 bis 800 mm (15 % höher als in Göttingen). Die Jahresdurchschnittstemperatur von 7,9 °C liegt ca. 1,7 °C unter denen Göttingens (Wetterwarte Göttingen, Schauer mann

et al. 1984, van Eimern u. Erhardt 1984). Die Niederschläge können dabei in Einzeljahren durchaus Werte von 600 bis über 1.200 mm annehmen (Benecke 1984). In den vergangenen Dekaden nehmen die Niederschläge auch in den Hochlagen im Trend ab, sodass regionalisierte Daten auf Grundlage der Mittelwerte des Zeitraums 1960 bis 1990 wohl nicht mehr zutreffen. Die klimatische Wasserbilanz beträgt etwa 260 mm im Jahr, wobei diese im Wesentlichen im Winterhalbjahr zustande kommt.

**Geologie:** Die Muschelkalkscholle des Göttinger Waldes (Abb. 2) befindet sich auf dem Westrand der Unter-Eichsfeld-Bundsandsteinscholle, die nach Westen durch den Leinealgraben begrenzt wird, einem Bestandteil der Mittelmeer-Mjösen-Störungszone (Stille 1932). Die tektonische Beanspruchung des Gebietes äußert sich in der relativ schwach ausgeprägten Störungszone des Reinhäuser Sprungs, die hier im Ausstrichsbereich des Mittleren Muschelkalks zwischen Drakenberg und Göttinger Wald sichtbar wird und in einer weitspannenden Verbiegung der Schichten. Die Schichten des Unteren Muschelkalks fallen nach Westen (Leinegraben) mit einer Neigung von 4 bis 6° ein (Lavahun 1981, Nagel u. Wunderlich 1969, Thöle u. Meyer 1979). Die Stufenfläche schneidet die Schichten in einer Neigung von <3 Grad diskordant (Abb. 3). Dadurch treten in den Verebnungsniveaus der Schichtfläche in Ost-West-Richtung die einzelnen Schichten des Unteren Muschelkalks an die Oberfläche. Insbesondere in den östlichen Richtungen bildet der Steilabhang der Muschelkalkschichtstufe eine markante Begrenzung zur Senke des Oberen Buntsandsteins (Röt).



**Abb. 2:** Geologie des Göttinger Waldes, dargestellt auf dem LBEG-Kartenserver auf Grundlage der GK50 von Niedersachsen mit Exkursionsroute und LBEG-Bohrungen im Göttinger Wald



**Abb. 3:** Geologisches Profil Göttinger Wald (aus Thöle u. Meyer 1979)

Stratigrafisch gliedert sich der Untere Muschelkalk in Südniedersachsen (Dünkel u. Vath 1990) in die Schaumkalkbänke (muS), den Wellenkalk 3 (muW3), die Terebratelbänke (muT), den Wellenkalk 2 (muW2), die Oolithbänke (muO), den Wellenkalk 1 (muW1) und den Bereich der Basiskonglomeratbänke (Abb. 3). Der Wellenkalk besteht aus Serien von 0,3 bis 3 cm dicken Straten meist grauer Farbe mit dünnplattigen, wellig-schichtigen, mergelhaltigen Kalksteinen, in die einige dickbankige Kalksteinschichten eingeschaltet sind (Stein 1968, Franke et al. 1977). Die Kalksteine der harten Bänke haben einen  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt von über 90 %. Die einzelnen Schichten sind durch Tonmergellagen getrennt. Die  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte dieser Kalksteine ohne Tonmergellagen bzw. -häute liegen zwischen 84 und 94 % (Schüller 1967). Paul u. Franke (1977) geben für den „typischen“ Wellenkalk  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte von 70–90 % an. Die

Kalksteine des „typischen“ Wellenkalkes enthalten keinen Dolomit (maximal 2,3 %  $\text{MgCO}_3$  isomorph im Calcit, Schüller 1967). Das typische Wellenkalkmaterial ist von größeren und einer Vielzahl kleinerer und feinsten Kluftrisse durchzogen, sodass es beim Herausnehmen in kleine, etwa haselnussgroße Stücke zerfällt. Die vergleichsweise härteren Oolith- und Terebratelbänke können morphologisch hervortreten, während die mergeligen und Gelbkalkzwischenmittel sich in Bezug auf die Verwitterung und Formbildung wie der Wellenkalk verhalten. Die Gelbkalkzwischenmittel geben im Ausstrich dem Boden eine auffällige Färbung.

Neben den anstehenden Festgesteinen, die eine Komponente des Ausgangsgesteins der Bodenentwicklung darstellen, stehen im Rahmen dieser Exkursion die Hauptlagen im Vordergrund. Ergebnisse zu diesem Themenkomplex liegen insbesondere aus den boden- bzw.

standortkundlichen Arbeiten von Thöle u. Meyer (1979), Meyer et al. (1985), Anders et al. (1985), Hövelmann u. Heisler (1991) und den Arbeiten des LBEG aus 1991–1994 im Rahmen von Untersuchungen zu den Hintergrundwerten von Schwermetallen (Hindel et al. 1998) vor.

**Geomorphologie:** Morphologisch bildet der Göttinger Wald eine Hochebene als Rest einer tertiären Kappungsfläche, die sich um rund 150 m über das Vorland erhebt (Deppe u. Troe 1956). In Schlotten finden sich örtlich Reste einer fossilen Terra fusca und Bohnerze (Hempel 1955b). Höchste Erhebung ist mit 425,5 m der Staneberg am Ostrand des Plateaus, etwa 2 km nordwestlich von Mackenrode. Nach Hövermann (1953) wurde das Gebiet im periglazialen Bereich der pleistozänen Vereisungen überformt. Die Auswirkungen sind als Schotterfüllungen der Gerinnebetten der Leine und ihrer seitlichen Zuflüsse sowie als Solifluktionsschutt auf den Muschelkalk-Flächen und Hängen zu erkennen.

**Boden:** Die Böden und deren bodensystematische Einstufungen sind Gegenstand der Exkursion. Hier nur ein kurzer Überblick: Zu den Böden liegen umfangreiche Untersuchungen vor (Scheffer u. Meyer 1959, Scheffer, Welte u. Meyer 1960, 1962, Thöle u. Meyer 1979, Fier 2012). Thöle u. Meyer (1979) klassifizieren die Böden in eine sogenannte Morphosequenz mit den Bodentypen Rendzina (Ah-C), Lehm-Rendzina (Ah-Bv-C), Braunlehm-Rendzina (Ah-Blv-C), Rendzina-Braunlehm (Ah-Bt-Bvl-Bv2-C) und Kalkstein-Braunlehm (Ah-Bt-Bvl-Bv2-C), wobei Bl den Verlehmungshorizont kennzeichnet. Nach dem jetzigen Stand (Meyer et al. 1985, Anders et al. 1985, Fier 2012) werden die Böden als Braunerde-Terra fusca (Kalksteinbraunlehme) in 5–15 cm mächtigen Mischsedimenten aus Residualton und Löss und Parabraunerden-Terra fusca und Terra fusca-Para-

braunerden in 20–60 cm mächtigen Mischlehmen beschrieben. Rendzinen finden sich nur dort, wo die Mischlehme fehlen. Die Plateaulagen, Hänge und ebenen Talsohlen der Trockentäler unterscheiden sich in Bezug auf die vorkommenden Bodentypen nicht. In den Talmulden ist nach der Standortkartierung der Flächenanteil der mächtigen Mischlehme größer (Abb. 3). Die Probleme der Einstufung der Mischlehme (Thema Hauptlage), der Verlehmung und der Tonverlagerung werden auf der Exkursion thematisiert. In den Hanglagen und Trockentälern treten weichselzeitliche Fließerden auf. Erst in den Bereichen mit historischem Ackerbau finden sich in den Talsohlen mittlere bis mächtige Kolluvien aus umgelagertem Löss.

In Taschen und Schlotten sind Reste reliktscher – wahrscheinlich tertiärzeitlicher – Terra fuscen erhalten (Hempel 1955b), die hier neben zwei Profilen aus der Schwäbischen Alb als Vergleichsmaterial herangezogen werden können.

**Vegetation:** Die Vegetation des Göttinger Waldes entspricht dem submontanen Kalkbuchenwald (Lathyro Fagetum) bzw. dem mesophilen Buchenwald (Dierschke u. Song 1982). Diese Pflanzengesellschaft kann als die potentielle natürliche Vegetation des Standorts angesehen werden (Ellenberg 1982, Dierschke 1982). In der Baumschicht dominiert die Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Sie verleiht dem Baumbestand den Charakter eines Buchen-Hochwaldes mit einem, von kleinen Lücken abgesehen, dichten Kronendach. Vereinzelt sind Edellaubholzarten wie Esche (*Fraxinus excelsior*) und Spitzahorn (*Acer platanoides*) eingestreut. In der oberen Baumschicht sind noch der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), die Stieleiche (*Quercus robur*), die Traubeneiche (*Quercus petraea*) und die Ulme (*Ulmus glabra*) anzutreffen. Eine besonders im Frühjahr dichte, oft artenreiche Krautschicht ist für das gesamte Untersuchungsgebiet charakteristisch.



## 2. Böden der Steilstufe des Göttinger Waldes

Der erste Exkursionspunkt liegt im Schichtstufenhang des Göttinger Waldes im Übergang vom Muschelkalk zum Oberen Buntsandstein. Der Wechsel von den Kalksteinen des Unteren Muschelkalks zu den Tonsteinen des Oberen Buntsandsteins (Röt) findet sich etwa im oberen Drittel der morphologischen Schichtstufe. Unterhalb dieses Wechsels liegen durch Hangprozesse verlagerte allochthone Schutte und Fließerden aus den Gesteinen des Muschelkalks über den Tonfließerden des Oberen Buntsandsteins (Röt). An Steilhängen der Schichtstufe (Hangneigungsstufen N6 und N5) finden sich verbreitet 60 cm bis über 100 cm mächtige holozäne, subrezente Hangschutte (Oberlage) aus Muschelkalkgrus. Diese Pararendzinen bis Schutt-Pararendzinen sind häufig durch intensive sekundäre weiße Carbonat-Ausfällung und intensive Durchwurzelung zu erkennen. In etwas geringeren Hangneigungsstufen (N4) finden sich allochthone weichselzeitliche Kalksteingrus-Tonfließerden (Basislage 1) über autochthonen Tonfließerden des Oberen Buntsandsteins (Basislage 2). Im Regelfall bildet hier eine um 20 bis 30 cm mächtige Hauptlage den Abschluss. Im Übergangsbereich zwischen diesen Faziesbereichen kann der Hangschutt (Oberlage) die Hauptlage und Basislage überdecken. Eine vergleichbare Catena wurde zur DBG-Jahrestagung 1999 auf der Exkursion G3 in Freden vorgestellt (Gehrt et al. 1999). Daneben finden sich weitere morphologische Varianten (konkave oder konvexe Horizontalwölbung mit unterschiedlicher Hangneigung) und verschiedene Ausprägungen der Gesteine. Auffallend sind z.B. Gebiete mit mächtigen Rutschungskörpern aus den Kalksteinen des Muschelkalks. Eine Bedeutung haben auch das Schichtfallen und die Hydrologie der Standorte. In einigen Bereichen führen Quellaustritte zu einer weitgehenden Wassersättigung und damit zu einer verstärkten Aktivität der Hangprozesse. Eine systematische Untersuchung der Schichtstufen liegt unseres Wissens weder von geologischer noch von bodenkundlicher Seite vor.

Mit **Exkursionspunkt 1** wird ein typisches Profil aus Hauptlagen über Basislagen des Oberen

Buntsandsteins vorgestellt. Aufgrund der Lage auf einem Hangriedel fehlen die allochthonen Fließerden des Muschelkalks. Die Basislagen zeigen durch Quellen und Schrumpfen ein Absonderungs- bzw. Polyedergefüge des Pelosols. Die hangende Hauptlage mit einer Mächtigkeit von 30 bis 35 cm ist verbraunt. Die geringe Mächtigkeit der Hauptlage ist für die Tonsteingebiete typisch. Auf Ackerstandorten geht die Hauptlage im Ap-Horizont auf oder ist erodiert, und die Pelosoldynamik wird verstärkt. Dadurch erfolgt ein Bodenformenwandel zum Acker-Pelosol.

Der **Exkursionspunkt 2** zeigt einen besonderen, eher seltenen Aspekt der Schichtstufe mit holozänen Fließerden über weichselzeitlichen Fließerden (Basislagen). Die holozänen Fließerden sind mit den Kategorien der Deckschichten nur bedingt zu fassen. Das Profil wird seit Beginn der 1980er-Jahre beobachtet. Bis Ende der 1990er-Jahre konnte eine rezente Morphodynamik in Form von Fließerden festgestellt werden. Dabei bildeten sich bei voller Wassersättigung 1–2 m mächtige Fließerden, die das humose Oberbodenmaterial ebenso aufnehmen wie den aufkommenden Jungwuchs und Altbestände der standortstypischen Eschen. Als Ergebnis findet sich eine mächtige stark humose Fließerde mit Kalksteingrus. Das Profil wurde bodenkundlich als Kolluvium angesprochen, da es stark von umgelagertem humosem Bodenmaterial geprägt ist. Seit einigen Jahren scheint die rezente Morphodynamik zum Erliegen gekommen zu sein, da sich 5 bis 15 Jahre alte Bäume ungestört von einer Hangbewegung entwickeln konnten. Dies könnte mit den beobachteten rückläufigen Niederschlägen zusammenhängen. Entsprechende Untersuchungen liegen leider nicht vor. Dabei wäre neben der Niederschlagsentwicklung auch die hydrologische Situation der Quellaustritte (Schichtfallen, Kluftsystem) näher zu betrachten.

Unberücksichtigt von der fehlenden bodenkundlich-hydrologischen Detailaufnahme ist der Standort unter dem Aspekt der Seltenheit von besonderer Bedeutung und sollte als Singularität aus bodenkundlicher Sicht eine besondere Beachtung finden.

## Exkursionspunkt 1: Boden aus Hauptlage über Basislage des Oberen Buntsandsteins

Lage: TK25: 4426 Ebergötzen  
LK Göttingen, Göttinger Wald  
Koordinaten: RW: 32573199, HW: 5710557 (ETRS89/UTM32)  
Höhe: 312 m ü. NN  
Position, Neigung: Mittelhang, 8,9 % steil (N4)  
Nutzung: Forst, Laubwald  
Humusform: F-Mull (L/Of)

### Profilbeschreibung von Profilnummer (PRONUM): 7739; Aufnahmejahr: 1994

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ah	-5	Hauptlage, schluffiger Ton (Tu3), dunkel braungrau (10YR4/2), stark humos (h4), kalkfrei, Krümel- bis Subpolyedergefüge, geringe Lagerungsdichte (Ld2)
Bv	-35	Hauptlage, schwach schluffiger Ton (Tu2), rötlich braun (7.5YR5/6), schwach humos (h2), kalkfrei, Krümel- bis Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
P	-85	Basislage, grusführender, schwach schluffiger Ton (Tu2, GR3), bräunlich rot (2.5YR5/6), sehr schwach kalkhaltig (c1), Riss- bis Polyedergefüge, hohe Lagerungsdichte (Ld4)
eCv	-110	Tonsteinzersatz, z.T. schwach schluffiger Ton, bräunlich rot (2.5YR5/6), kalkhaltig (c3), plattig gelagert, hohe Lagerungsdichte (Ld4)

**Bodentyp:** KA5: Pelosol-Braunerde (DD-BB)  
LBEG: flache Pelosol-Braunerde (D-B2)  
WRB (2014): Eutric Endocalcaric Xantic Cambisol (Clayic, Ochric)  
**Alternativ:** Haplic Vertisol (Endocalcaric, Hypereutic, Grumic, Ochric, Reptic)

**Ausgangsgestein:** Hauptlage über Basislage über Oberem Buntsandstein

**Substrattyp:** periglaziärer Ton (aus Lösslehm und Ton) über kryoturbatem grusführendem Ton über tiefem kryoturbatem Carbonatschutt (aus Buntsandsteinverwitterungston) (p-t(Lol,Tr)/pky-(z)t//pky-en(^to(so))

### Physikalische und chemische Analysendaten (PRONUM 7739)

Horizont	Tiefe cm	gS %	mS %	gfS %	ffS %	ΣS %	gU %	fmU %	ΣU %	T %	Bodenart		UQ (gU/fmU)
											KA5	Feld	
Ah	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ut3	-
Bv	35	0,1	0,3	1,0	10,1	11,5	19,3	22,4	41,7	46,8	Tu2	Ut4	0,9
P	85	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	9,6	42,9	52,5	47,4	Tu2	Tu2	0,2
eCv	110	3,3	2,3	0,8	2,9	9,3	11,8	52,6	64,4	26,3	Lu	Tu2	0,2

Horizont	Tiefe cm	TRD g/L	KF hor. cm/d	KF vert. cm/d	pF			
					1,8	2,5	4,2	>4,2
Ah	5	-	-	-	-	-	-	-
Bv	35	1,5	0,5	90,7	41,0	39,5	32,2	32,2
P	85	1,6	0,02	0,02	39,9	39,1	30,7	30,7
eCv	110	1,9	0,07	0,06	30,0	28,8	20,6	20,6

Hori- zont	Tiefe cm	C <sub>org</sub> %	CaCO <sub>3</sub> %	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK pot.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
						mmol <sub>e</sub> /kg			
Ah	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Bv	35	0,5	-	4,7	167	60,3	30,1	4,7	1
P	85	0,2	3,4	7,3	143	91,2	45,1	5,1	0,9
eCv	110	0,2	34	7,5	95	61,9	29,9	3,8	0,8

## Exkursionspunkt 2: Boden aus holozäner Fließerde über Fließerde des Oberen Buntsandsteins

Lage: TK25: 4426 Ebergötzen  
LK Göttingen, Göttinger Wald  
Koordinaten: RW: 32572914, HW: 5710456 (ETRS89/UTM32)  
Höhe: 362 m ü. NN  
Position, Neigung: Steilhang 37 (N6)  
Nutzung: Forst, Laubwald  
Humusform: L-Mull (mit L-Horizont)

**Profilbeschreibung** von Profilnummer (PRONUM): 7719; Aufnahmejahr: 1991

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
eAh	-5	Mittel schluffiger Ton (Tu3), schwach grusig, schwarz (10YR2/1), sehr stark humos (h5), sehr carbonathaltig (c3), sehr geringe Lagerungsdichte (Ld1)
Ah-eICv	-10	Stark schluffiger Ton (Tu4), schwach grusig, schwarz (10YR2/1), stark humos (h4), sehr carbonathaltig (c3), sehr geringe Lagerungsdichte (Ld1)
Ah-eICv	-25	Stark schluffiger Ton (Tu4), schwach grusig, schwarz (10YR2/1), stark humos (h4), sehr carbonathaltig (c3), sehr geringe Lagerungsdichte (Ld1)
Ah-eICv	-32	Schluffiger Lehm (Lu), z.T. schwach grusig bis sehr schwach steinig, braunschwarz (10YR2/2), stark humos (h4), sehr carbonatreich (c4), sehr geringe Lagerungsdichte (Ld1)
Ah-eICv	-46	Mittel schluffiger Ton (Tu3), schwach grusig, dunkel braungrau (10YR4/2), mittel humos (h3), carbonatreich (c4), geringe Lagerungsdichte (Ld2)
Ah-ICv	-60	Mittel schluffiger Ton (Tu3), z.T. schwach grusig, dunkel bräunlich grau (7.5YR4/1), mittel humos (h3), carbonatarm (c2), geringe Lagerungsdichte (Ld2)
ICv	-75	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, rotbraun (5YR5/6), mittel humos (h3), carbonatarm (c2), geringe Lagerungsdichte (Ld2)
ICv	-105	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, rotbraun (5YR5/6), schwach humos (h2), carbonatarm (c2), mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
eICv	-130	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, rotbraun (5YR5/6), schwach humos (h2), carbonathaltig (c3), mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
eICv	-155	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, dunkel braungrau (10YR4/2), mittel humos (h3), carbonathaltig (c3), mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Ah	-170	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, dunkel braun (10YR4/6), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
eICv	-190	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, rotbraun (5YR5/6), mittel humos (h3), carbonathaltig (c3), mittlere Lagerungsdichte (Ld3)

**Bodentyp:** KA5: Humusreiche Pararendzina (xRZ), Alternativ: Kolluvisol (YK)  
 LBEG: Tiefe Pararendzina (Z4)  
 WRB (2014): Epicalcaric Chernic Phaeosem (Endoclayic, Panto Colluvic, Epiloamic)  
**Ausgangsgestein:** holozäne Fließerde aus Kalksteinverwitterungston  
**Substrattyp:** Grusführende Carbonat-Ton-Fließerde (fl-(z)et)  
**Alternativ:** Kolluvialer grusführender Carbonat-Ton (t-(z)et) über sehr tiefer so-  
 lifluidaler Carbonat-Ton-Fließerde (aus Buntsandstein- und Muschel-  
 kalkverwitterung) pfl-et(^to(so),^k(mu))

**Physikalische und chemische Analysendaten (PRONUM 7719)**

Horizont	Tiefe cm	gS %	mS %	gfS %	ffS %	ΣS %	gU %	fmU %	ΣU %	T %	Bodenart		UQ (gU/ fmU)
											KA5	Feld	
eAh	-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Tu3	-
Ah-eCv	-10	2,0	1,3	0,6	2,2	6,1	14,3	51,1	65,4	28,5	Tu4	Tu3	0,3
Ah-eCv	-25	3,6	1,6	0,6	2,4	8,2	19,0	47,0	66,0	25,7	Tu4	Tu3	0,4
Ah-eCv	-32	11,8	3,9	0,9	2,9	19,5	14,2	42,2	56,4	24,2	Lu	Tu3	0,3
Ah-eCv	-46	9,6	3,0	0,7	2,8	16,1	12,4	39,0	51,4	32,5	Tu3	Tu2	0,3
Ah-Cv	-60	1,3	0,9	0,6	2,5	5,3	13,1	43,6	56,7	38,1	Tu3	Tu2	0,3
Cv	-75	1,0	0,8	0,5	2,2	4,5	11,2	35,2	46,4	49,1	Tu2	Tu2	0,3
Cv	-105	1,6	1,1	0,4	2,2	5,3	12,1	26,2	38,3	56,4	Tu2	Tu2	0,5
eCv	-130	1,1	0,8	0,3	1,7	3,9	10,0	27,2	37,2	58,9	Tu2	Tu2	0,4
eCv	-155	0,5	0,4	0,3	1,8	3,0	12,2	30,9	43,1	53,9	Tu2	Tu2	0,4
Ah	-170	1,2	0,6	0,5	2,2	4,5	11,6	31,4	43,0	52,5	Tu2	Ut4	0,4
eCv	-190	2,2	1,4	1,0	3,3	7,9	13,2	30,3	43,5	48,7	Tu2	Tu4	0,4

Horizont	Tiefe cm	Humus %	C <sub>org</sub> %	CaCO <sub>3</sub> %	Nt %	C/N
eAh	-5	12,0	-	3,1	-	-
Ah-eCv	-10	9,4	5,5	6,7	-	-
Ah-eCv	-25	7,6	4,4	9,6	-	-
Ah-eCv	-32	5,2	3,0	10,4	-	-
Ah-eCv	-46	4,8	2,8	21,0	-	-
Ah-Cv	-60	4,6	2,7	1,5	-	-
Cv	-75	2,6	1,5	0,5	-	-
Cv	-105	1,5	0,9	0,5	-	-
eCv	-130	1,5	0,9	0,4	-	-
eCv	-155	3,2	1,8	-	-	-
Ah	-170	6,5	3,8	-	-	-
eCv	-190	2,6	1,5	-	-	-



Horizont	Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK pot.	Ca <sup>++</sup>	austauschbare Kationen			BS %
					Mg <sup>++</sup> mmol <sub>c</sub> /kg	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
eAh	-5	7,1	481	-	26,12	19,44	0,76	92,45
Ah-eCv	-10	7,1	455	459,73	15,84	11,12	0,66	93,66
Ah-eCv	-25	7,1	415	434,78	10,08	6,84	0,98	93,78
Ah-eCv	-32	7,2	351	387,87	6,17	5,50	0,98	98,52
Ah-eCv	-46	7,2	343	377,74	4,73	5,43	0,98	98,73
Ah-Cv	-60	7,1	334	356,89	4,94	5,56	1,86	93,42
Cv	-75	7,1	336	324,35	7,40	6,01	0,98	93,38
Cv	-105	7,1	307	295,06	8,23	5,95	1,09	93,38
eCv	-130	6,8	311	284,18	8,23	5,63	0,98	88,46
eCv	-155	6,7	330	301,30	7,40	5,43	0,87	84,91
Ah	-170	6,7	373	345,31	6,58	6,20	0,76	84,66
eCv	-190	6,7	281	259,23	5,55	5,50	0,76	84,96

### 3. Böden des Göttinger Waldes

Am Exkursionspunkt 3 werden die Gesteine des Unteren Muschelkalks und reliktsche Bodenbildungen vorgestellt. Im Aufschluss selbst sind die Gesteine in der Ausprägung des Wellenkalkes zu sehen (Abb. 4). Die deutlich massigeren Kalke der Schaumkalkbänke finden sich dann an Exkursionspunkt 4. Die Wellenkalke haben einen Kalkgehalt über 95 %.



**Abb. 4:** Erscheinungsbild des Unteren Muschelkalks am Exkursionspunkt 3

Der prozentuale Gewichtsanteil des unlöslichen Lösungsrückstandes der verschiedenen Kalksteinfraktionen bleibt bei reinen Kalken/Dolomiten definitionsgemäß am geringsten (<10 %) und steigt mit den Ton- bzw. Mergelanteilen (Tab. 2). Der Lösungsrückstand selbst besteht zu ca. 60 % aus Ton und 40 % aus Schluff (Thöle u. Meyer 1979, Tab. 3). Der überwiegende Feinschluff (Schluffquotient  $gU/fmU = 0,18$ ) ist typisch für solche marinogenen Gesteine. Der Schluffquotient eignet sich damit zur Abschätzung der Anteile der grobschluffdominierten Lösskomponenten.

**Tab. 2:** Anteil des Lösungsrückstandes in den Faziesausprägungen des Unteren Muschelkalks (aus Thöle u. Meyer 1979, Dünkel 1987)

Gesteinsausprägung	Lösungsrückstand in %	Mittelwert
Schaum- und Wellenkalke (muS, muW3)	3,4 - 5,0	
homogene kristalline Kalke	1,8 - 10,6	(7,5)
- Schillkalke	0,2 - 10,9	(4,6)
- Schaumkalke	0,4 - 5,8	(2,8)
Kalksteine mit Mergelbestegen	5,6 - 12,6	(8,0)
- Wellenkalk	7,0 - 13,6	(10,5)
- mergelige Wechselfolge	6,3 - 12,1	(10,2)
Mergelkalksteine	8,2 - 20,1	(14,3)
Mergelsteine	19,0 - 50,0	(29,7)
Gelbkalke (muS)	2,4 - 4,5	(3,2)

**Tab. 3:** Korngrößenverteilung des Lösungsrückstandes aus Unterem Muschelkalk

Quelle	Ton [<2 µm]	fmU [2-20 µm]	gU [63-20 µm]	S [>63 µm]	Schluff- quotient
Thöle u. Meyer 1979	58	35	6	0,6	<b>0,18</b>
Fier 2012	75	23	1	0	<b>0,04</b>
GÖWa	76	24	0	0	<b>0,00</b>
Fier 2012	63	31	5	0	<b>0,16</b>
GÖWb	63	35	3	0	<b>0,09</b>
Fier 2012	52	36	12	1	<b>0,33</b>
GÖWc	56	34	10	1	<b>0,29</b>
	57	32	10	0	<b>0,31</b>

### Reliktische Böden

In Klüften und tieferen Taschen finden sich auf der Hochfläche des Göttinger Waldes örtlich fossile Bodenbildungen (Abb. 5). Diese werden aufgrund ihrer Lage als Relikte tertiärer Böden angesprochen (Hempel 1955a). Vergleichbare Böden sind auch aus anderen Bereichen Norddeutschlands bekannt (Dahm-Arens 1978, 1986, Roth 1994, Clausen u. Roth 1995). Zum Vergleich mit den Oberflächenböden wurden aus einem Vorkommen im Göttinger Wald Proben entnommen und analysiert (Tab. 5). Die Abbildung 5 zeigt exemplarisch zwei Aspekte dieser reliktschen Terra fuscen, in Abbildung 6 sind Dünnschliffbilder wiedergegeben. Die Schliffe zeigen eine braune Matrix, die aus einzelnen verstellten Gefügestücken zusammengesetzt ist und eine sekundäre Überprägung anzeigt. Bei gekreuzten Nicols wird auch eine junge schwache Toneinlagerung an den Rissflächen erkennbar.

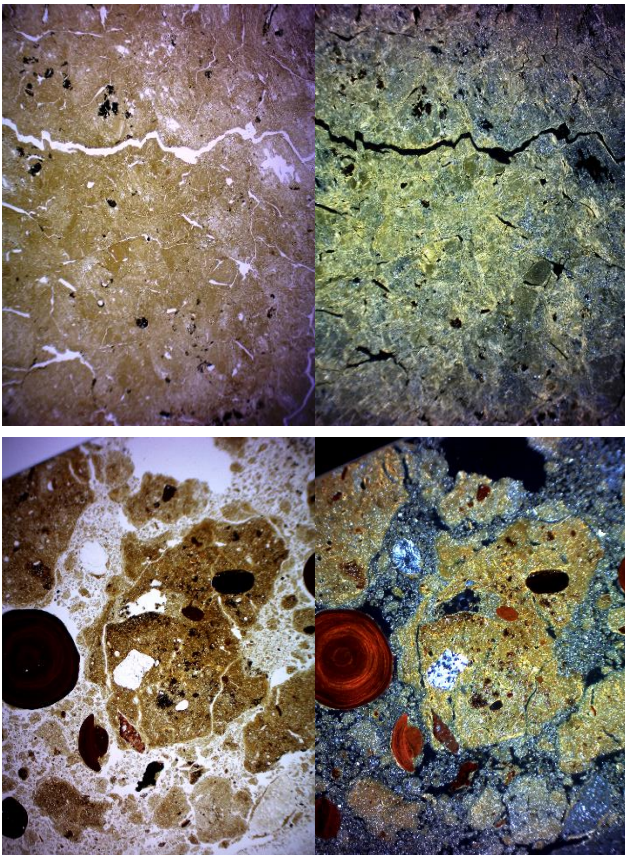
In der überwiegend tonigen Matrix finden sich z.T. Bohnerze und Kalksteinbröckelchen (Abb. 6). Der Schluff stammt aus ca. 50 cm Tiefe unterhalb der heutigen flachen Bodenbildung. Die reliktschen Vererzungen (vgl. Berger et al. 2009) spiegeln sich dann auch in den Gehalten einiger Schwermetalle wie Mangan, Blei, Nickel etc. (Tab. 5).

Zum Vergleich wurden zwei fossile Böden aus der schwäbischen Alb (Kösel 2016) herangezogen. Die Profilbilder (Abb. 7) und die Dünnschliffbilder (Abb. 8 und 9) sind in den Abbildungen unten wiedergegeben. Diese Böden werden zum Vergleich bei der bodentypologischen Ansprache der Oberflächenböden herangezogen. Bei den Böden der Schwäbischen Alb mit Tongehalten über 75 % fällt auf, dass sie jeweils reduktimorphe Merkmale und unter geordnet auch orientierten Ton enthalten. Wie die Terrabildungen im Göttinger Wald sind sie durch Umlagerungen gestört (Tab. 4).

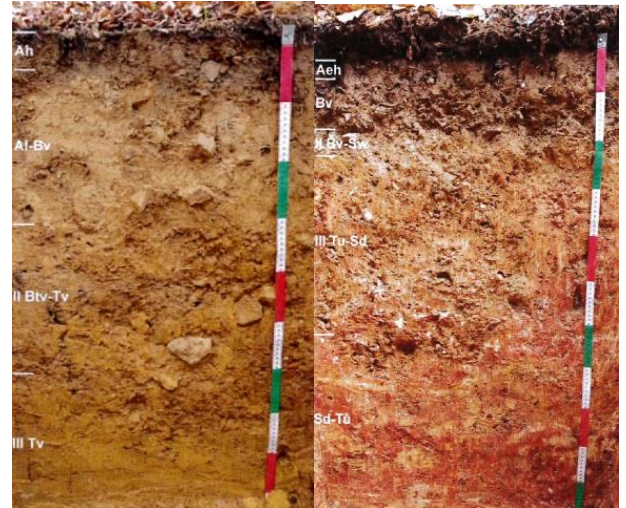




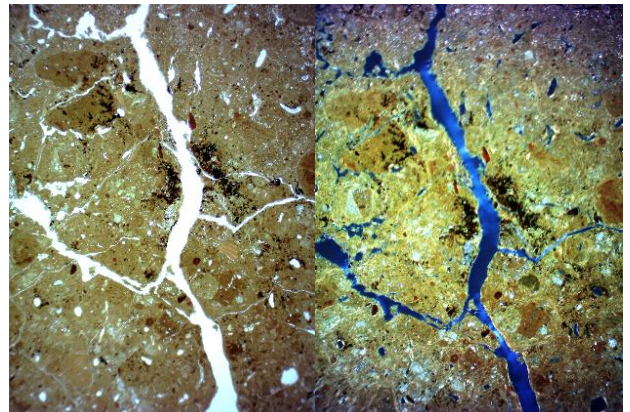
**Abb. 5:** Fossile Bodenbildungen im Göttinger Wald links: Tasche mit Terramaterial und Schutt, rechts: Terramaterial in Kluffüllung (links: Pronum 7665, rechts: Pronum 7664)



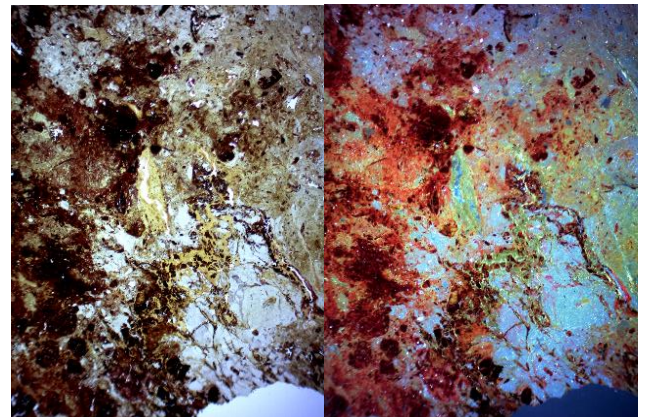
**Abb. 6:** Oben: reliktsches Terra fusca-Material aus Kluffüllung, rechts mit gekreuzten Nicols (Polarisationsfilter), Kantenlänge rechts ca. 2 cm  
Unten: periglaziär überprägtes reliktsches Terra fusca-Material mit Bohnerzen, rechts mit gekreuzten Nicols (Polarisationsfilter), Kantenlänge rechts ca. 1 cm



**Abb. 7:** Links: Braunerde über fossiler Terra fusca bei Selzingen (Kösel 2016). Rechts: Braunerde über fossilem Terra rossa-Pseudogley bei Hörvelsing (Kösel 2016)



**Abb. 8:** Dünnschliffe des rTv-Horizontes der Terra fusca, Selzingen, Kantenlänge ca. 2 cm, rechts mit gekreuzten Nicols (Polarisationsfilter)



**Abb. 9:** Dünnschliffe des rTu-Horizontes der Terra rossa, Hörvelsing, Kantenlänge ca. 2 cm, rechts mit gekreuzten Nicols (Polarisationsfilter)

**Tab. 4:** Kennwerte von fossilen Terra fusca-Horizonten im Göttinger Wald im Vergleich zu Terrabildungen der Schwäbischen Alb (Selzingen Terra fusca, Hörvelsingener Terra rossa (Kösel 2016))

PRO NUM	TK25	Rechts (GK3)	Hoch (GK3)	UTIEF	LA-BOR	Material	FARBE	pH CaCl <sub>2</sub>	Ton	fmU	gU	Sand	UQ	CaC O <sub>3</sub>	C <sub>org</sub>
					NIBI S										
7665	4426	3572775	5711790	140	8901	Klufffüllung	7.5YR5/6	7,5	46,7	27,6	16,2	9,5	0,6	2,17	0,71
7664	4426	3572775	5711815	300	8899		10YR6/6	7,3	51,8	23,7	23,3	1,2	1	0,06	0,32
7664	4426	3572775	5711815	140-300	8900	Bohnerz									
Analyseergebnisse Terra Schwäbische Alb (Kösel 2016)															
	7426	3585916	5380075	29-60	Btv-Tv	T. fusca	7.7YR5/8	3,7	58,6	18,9	13,9	8,6	0,7	0	0,28
	7426	3585916	5380075	60-90	Tv	T. fusca	10YR5/8	4,6	72,5	14,4	7,6	5,6	0,5	0	0,28
	7526	3575501	5372819	60-100	Tu	T. rossa	2,5YR4/8	4,6	75,1	22,8	0,1	2,1	0	0	0,23
	7526	3575501	5372819	>110	Tu	T. rossa	10R4/6	6,1	75,2	19,2	0,7	5,1	0,04	0	0,08

**Tab. 5:** Ausgewählte Schwermetallwerte von reliktschen Terra fusca-Horizonten im Göttinger Wald 2

HORIZONT	Material	UTIEF	LABOR	Fe	Co	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zr
				mg/g (HF)	mg/kg (Königswasseraufschluss)							mg/kg (RFA)	
ft	Klufffüllung	140	8901	<b>45,3</b>	13	23	49	859	50	63	70		
ft		300	8899	<b>41,7</b>	20	41	66	997	76	61	62		
ft	Bohnerz		8900	<b>330,0</b>	98	95	36	<b>6290</b>	178	<b>318</b>	133	49	350

Das tonmineralogische Spektrum der Terra-Horizonte ist im Wesentlichen durch Illite und geringe Anteile Smectite geprägt (Dietel 2016). Die reliktsche Terra fusca aus dem Göttinger Wald ist nach den Tonmineralen nicht von der aus der Schwäbischen Alb zu unterscheiden. Die Terra rossa hat dagegen erhöhte Kaolinitgehalte (Kösel 2016, Dietel 2016). Die Terra rossa und die Terra fusca zeigen im dithionitlöslichen Eisen (50–60 mg/kg) gegenüber dem oxalatlöslichen Eisen 10-fach erhöhte Werte. Bei den Göttinger Böden wurde Fed noch nicht bestimmt. Im Gesamtaufschluss sind die Eisenwerte gegenüber den rezenten Böden um den Faktor 10 erhöht. Bei der Terra fusca aus Selzingen finden sich wie in Göttingen Bohnerze (Kösel 2016). Mehrere Dezimeter mächtige Terra-Bildungen in flächenhafter Verbreitung wie in der Schwäbischen Alb sind aus dem Norddeutschen Bergland nicht belegt.

### Deckschichten im Göttinger Wald

Wie schon einleitend erwähnt, werden die Böden des Göttinger Waldes durch eine lösshaltige Deckschicht beeinflusst. Die Benennung dieser im Regelfall die Oberböden prägenden Deckschichten ist eng mit den Namen Semmel (1964, 1968), Schilling u. Wiefel (1962) und Kopp (1970) verbunden. Nach 1989 mündete die Renaissance der Deckschichtendiskussion in zahlreiche Veröffentlichungen (Altermann 1993) und letztlich auch in die Übernahme in die Bodenkundliche Kartieranleitung mit der Lagengliederung (Oberlage, Hauptlage, Mittellage, Basislage).

Die Anwendung der Deckschichtengliederung auf die Böden des Göttinger Waldes und die Charakterisierung der Deckschichten in den Kalksteingebieten finden sich in der Literatur nur eingeschränkt. Dies liegt sicherlich daran, dass



die damit verbundenen Sichtweisen in Niedersachsen sowohl von universitärer wie auch von der Seite des Landesamtes nur zögerlich angenommen wurden (vgl. Rohden u. Meyer 1968). Auch die Quartärgeologie tut sich mit der Adaption eher schwer. Andererseits wird auch in der 5. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung die Deckschichtengliederung zwar definiert, eine Verankerung in der Profilaufnahme und Substratsystematik findet sich jedoch nicht wirklich wieder. So wundert es nicht, dass die Deckschichtengliederung auch bei der neuen Bodenübersichtskarte 1:200.000 der Bundesrepublik bisher keine Bedeutung hat. Die Exkursion legt auch aus diesen Gründen einen Schwerpunkt auf die Deckschichtenansprache im Göttinger Wald.

**Hauptlagen:** Nach der einschlägigen Literatur sollten Hauptlagen neben deutlich lössigen Bestandteilen auch von den in der Umgebung anstehenden Gesteinen geprägt sein (AG Boden 2005). Sie sollten jungtundrenzeitlicher Entstehung sein und eine Mächtigkeit von 50 cm haben.

Betrachtet man die lössigen Schleier (Hövermann 1953) im Göttinger Wald, so erreichen diese nur Mächtigkeiten von 20 bis 40 cm, sind skelettfrei und auf den ersten Blick vom Löss nicht zu unterscheiden. Diese Beobachtung gilt auch für den überwiegenden Teil der niedersächsischen Kalksteingebiete. Eine Ausnahme bilden die Kalksteine der Oberkreide im Hils und der Sackwald, wo die Hauptlage weitgehend fehlt. Die Hauptlagen der Kalksteingebiete fallen damit erst einmal nicht in das gängige Bild und verdienen eine gesonderte Betrachtung.

Als **Mittellagen** werden lösshaltige Fließerden unter der Hauptlage bezeichnet (AG Boden 2005). Mit dieser Lage sind im Göttinger Wald periglaziäre Taschenfüllungen und der liegende Teil ab 40–50 cm bei mächtigeren lössigen Decken zu parallelisieren.

Als **Basislagen** werden alle lössfremen Fließerden bezeichnet. Zu unterscheiden sind solifluidale und kryogene (kryoturbate) Ausprägungen. Auf den harten Kalksteinbänken fehlen die Basislagen. Hier führten die periglaziären Ein-

flüsse bestenfalls zur Auflockerung des Gesteinsverbandes. Im Bereich des Wellenkalkes finden sich dagegen in Ebenheiten bis in Tiefen von 70 cm verstellte kryoturbate Auflösungen des Gesteinsverbandes über angewitterten Schichten und dem Festgestein. An Hängen bilden sich aus dem Wellenkalk in der Basislage Fließerden mit eingeregeltten Steinen. In den tiefliegenden Trockentälern finden sich z.T. Wechselfolgen von lössigen Schichten (Mittellagen) und Fließerden (Basislagen).

### **Verbreitung und Variabilität der Hauptlagen**

Die Auswertung von ca. 700 gleichmäßig verteilten Bohrungen der forstlichen Standortkartierung (Hövelmann u. Heisler 1991) ergab, dass rund 60 % der Bohrungen weniger als 40 cm mächtige Auflagen der lössigen Decke zeigen (Abb. 10 und 11). Nur etwa 16 % der Bohrungen erbrachten Mächtigkeiten über 60 cm. Diese Beobachtungen decken sich mit den Ergebnissen von Anders et al. (1985), den Untersuchungen aus dem alten Göttinger bodenkundlichen Institut (Meyer et al. 1985, Anders et al. 1985) und den Detailaufnahmen des LBEG. Aus den Profilaufnahmen des LBEG lässt sich ergänzen, dass bei Mächtigkeiten über 40 cm neben der jüngsten Lössdecke ältere Mittellagen erfasst wurden. Da diese älteren Lössderivate häufig nur in Taschen erhalten sind, ist der geringe Flächenanteil plausibel.

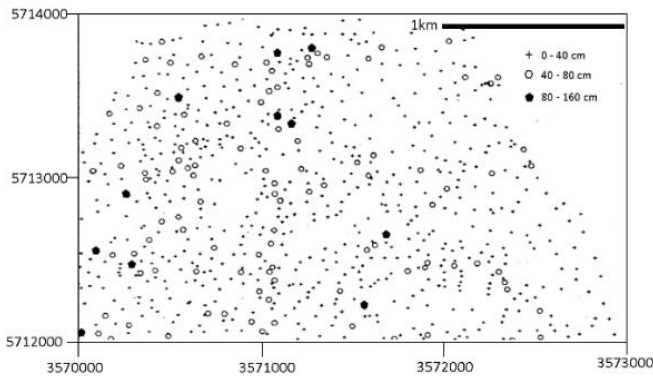
Mit dem Ziel, die Verteilung der Lössdecke im Untersuchungsgebiet enger zu fassen, wurden die Bohrungen der Standortkartierung geostatistisch ausgewertet. Aus dem Semivariogramm (Abb. 12) ist zu entnehmen, dass die Gesamtvariabilität der Mächtigkeit der Hauptlagen unterhalb 50 m auftritt. Erst in Distanzen >2 km ist ein räumlicher Trend zu erkennen.

Anhand der Bohrungen der forstlichen Standortkartierung mit 1 Bohrung pro ha lassen sich damit nur Bereiche mit höherer Dominanz geringmächtiger, mittlerer oder höherer Mächtigkeit der Hauptlagen ausweisen (Abb. 13).

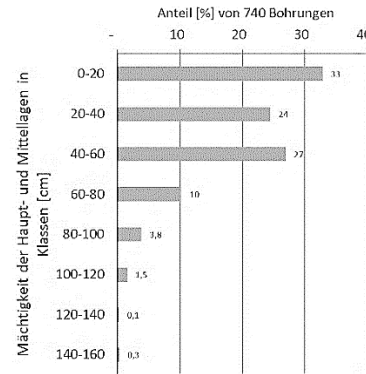
Die kleinräumige Verteilung wurde an ausgewählten Standorten durch Bohrungen genauer kartiert. Die Ergebnisse sind exemplarisch in

Abb. 14 und 15 dargestellt und bestätigen die Auswertungen der Bohrungen der Forstlichen Standortkartierung. Bei der Detailkartierung wurde eine Bohrdichte von 5 bis 20 m angestrebt. Die Semivariogramme der Lössverbreitung (Abb. 14 und 15) zeigen, dass hiermit die

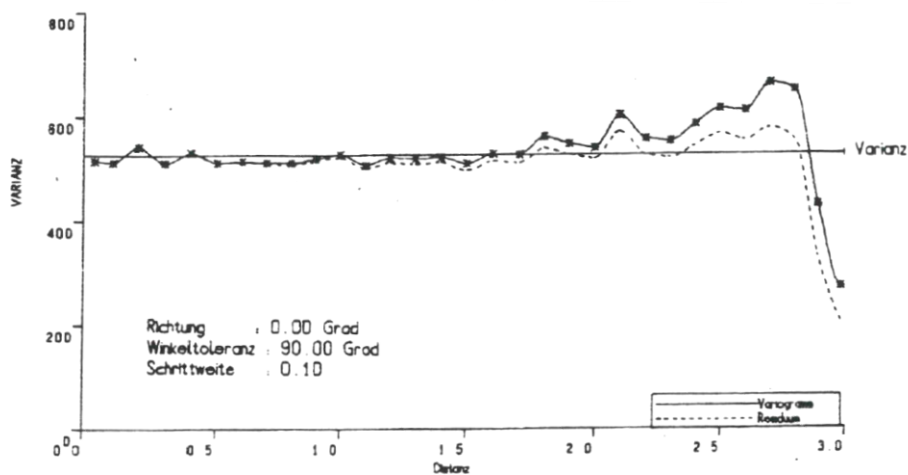
Variabilität der Detailgebiete weitgehend erfasst werden kann. Auf der Scheitelfläche wird die maximale Varianz (gemessen in der Längserstreckung von Südwest nach Nordost) bei etwa 100 m erreicht.



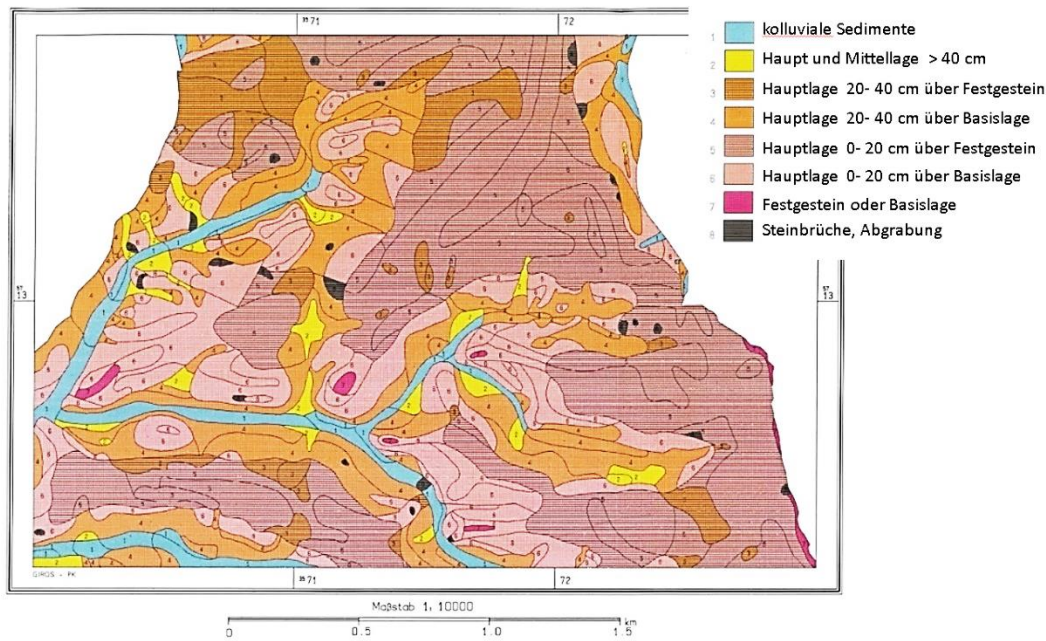
**Abb. 10:** 740 Bohrpunkte im Göttinger Wald mit Mächtigkeit der äolischen Deckschicht in drei Klassen



**Abb. 11:** Häufigkeitsverteilung der lössigen Deckschichten im Göttinger Wald auf Grundlage von 740 Bohrungen



**Abb. 12:** Semivariogramm der Mächtigkeit der lössigen Deckschichten im Göttinger Wald



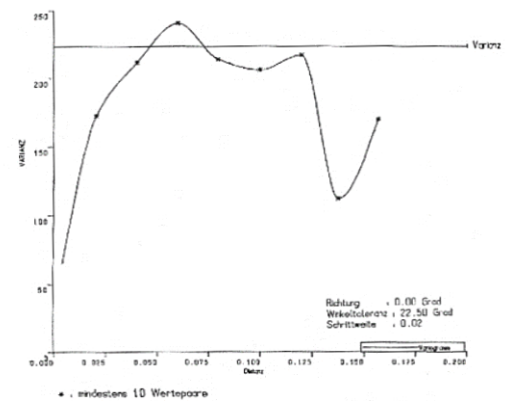
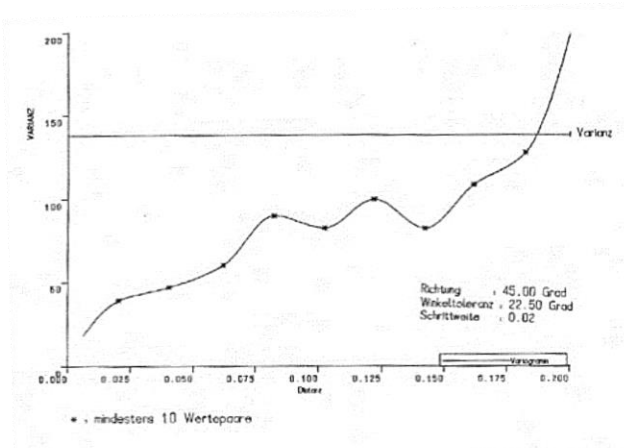
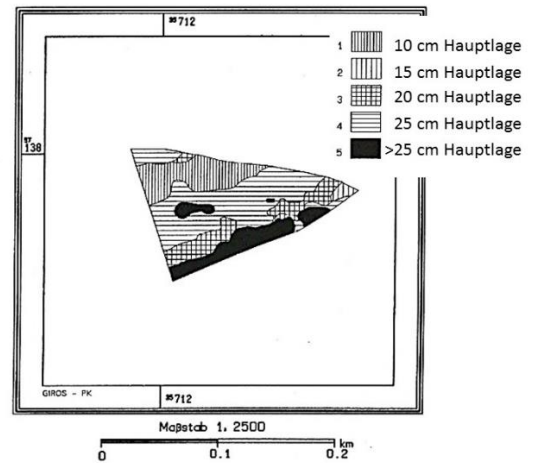
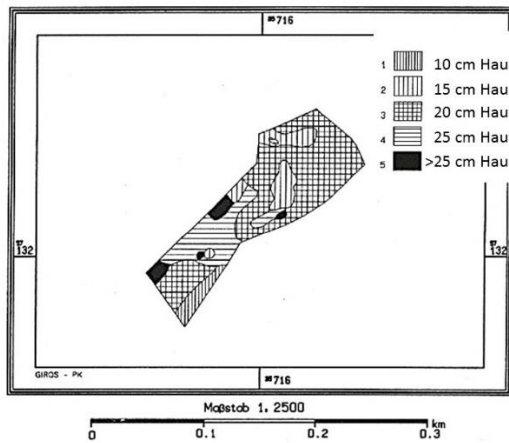
**Abb. 13:** Ausprägung der Hauptlage im Göttinger Wald auf Grundlage der Standortkartierung (Gehrt u. Heisler 1992, unveröff.)

Die Nuggetvarianz geht gegen null. Auf dem Flachhang wird die maximale Varianz schon bei etwa 50 m erreicht. Auch bei der engen Bohrdichte bleibt hier eine geringe Nuggetvarianz, die mit den in den Profilgruppen erkennbaren kleinräumigen sprunghaften Abweichungen erklärbar ist.

Die Verbreitung der lössigen Decken zeigt also ein kleinräumiges Mosaik, welches an kleine Hohlformen, Hangverebnungen und Talungen gebunden ist. Das sehr kleinräumig wechselnde, diskontinuierliche Vorkommen ist eine Abweichung zur gängigen Vorstellungen einer gleichmäßigen Hauptlage. Diese Variabilität der

Mächtigkeit geht im Untersuchungsgebiet mit einer zu qualitativen Differenzierung einher: In Bereichen geringer Mächtigkeit finden sich in der Regel höhere Tongehalte (35–65 %). Mit zunehmender Mächtigkeit der lösshaltigen Decke nimmt der Tongehalt (25–45 %) ab.

**In allen aufgenommenen Profilen lagern die lössigen Decken diskordant auf den älteren Bildungen.** Eine solifluidale Umlagerung oder kryptoturbate Überformung unter Beimischung von Kalksteinen ist aufgrund der Entcarbonatisierung nur selten nachweisbar (Abb. 13), für die Interpretation aber entscheidend.



**Abb. 14:** Detailkarte der Mächtigkeit der lössigen Deckschicht auf der Hochfläche des Göttinger Waldes (Totenberg Exkursionsgebiet) und Variogramm der Mächtigkeit der lössigen Deckschicht auf der Hochfläche des Göttinger Waldes (Totenberg Exkursionsgebiet)

**Abb. 15:** Detailkarte der Mächtigkeit der lössigen Deckschicht an einem Hang des Göttinger Waldes (Wallmannsort) und Variogramm der Mächtigkeit der lössigen Deckschicht an einem Hang des Göttinger Waldes (Wallmannsort)

#### Exkursionspunkt 4.1: Braunerde-Rendzina aus Hauptlage über Festgestein

Lage:	TK25: 4426 Ebergötzen LK Göttingen, Göttinger Wald
Koordinaten:	RW: 32571383; HW: 5711334 (ETRS89/UTM32)
Höhe:	386 m ü. NN
Position, Neigung:	Oberhang, schwach geneigt (N2.1)
Nutzung:	Forst, Laubwald
Humusform:	L-Mull (mit L-Horizont)



**Profilbeschreibung** von Profilnummer (PRONUM): 7493; Aufnahmejahr: 1991

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ah	-4	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, sehr dunkel graubraun (10YR3/3), sehr stark humos (h5), carbonatfrei (c0), Krümelgefüge, geringe Lagerungsdichte (Ld2)
Ah	-9	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, sehr dunkel graubraun (10YR3/3), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, geringe Lagerungsdichte (Ld2)
Bv-Ah	-16	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, dunkel graubraun (10YR3/3), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, geringe Lagerungsdichte (Ld2)
cmCv	-25	Kalkstein (^k) mit 10 % Kluffüllung aus schwach schluffigem Ton (Tu2), schwach gemengt aus Mittelgrus und Steinen, hell grauoliv (2.5Y6/3), humusfrei (h0), Carbonat (c7)

**Bodentyp:** KA5: Braunerde-Rendzina (BB-RR)  
 LBEG: sehr flache Braunerde-Rendzina (B-R1)  
 WRB (2014): Endocalcaric Mollic Leptosol (Clayic, Reptic)

**Ausgangsgestein:** Flache Hauptlage über Kalksteinverwitterung des Unteren Muschelkalks

**Substrattyp:** Flacher periglaziärer Ton (aus Lösslehm und Residualton) über kryoturbatem Carbonatschutt (aus Muschelkalkverwitterung) (p-u(Lol,Tr)\pky-en(^k(mu))

**Physikalische und chemische Analysendaten (PRONUM 7493)**

Horizont	Tiefe cm	$\Sigma S$ %	gU %	fmU %	$\Sigma U$ %	T %	Bodenart		UQ (gU/fmU)	Humus %	C <sub>org</sub> %	CaCO <sub>3</sub> %	Nt %	C/N
							KA5	Feld						
Ah	-4	2,1	20,1	28,8	48,9	49,0	Tu2	Ut4	0,7	16,9	9,8	-	0,7	15,1
Ah	-9	0,9	21,9	25,8	47,7	51,4	Tu2	Ut4	0,8	8,4	4,9	-	0,4	11,9
Bv-Ah	-16	1,0	22,6	31,2	53,8	45,2	Tu2	Ut4	0,7	6,8	4,0	-	0,3	12,0
cmCv	-25	-	-	-	-	-	-	^k	-	-	-	94,9	-	-

Horizont	Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK pot.	austauschbare Kationen				BS %
				Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
Ah	-4	5,3	444	305,39	16,25	7,29	1,20	59,68
Ah	-9	4,7	343	194,36	8,02	2,75	1,09	46,85
Bv-Ah	-16	5,7	354	270,21	6,58	2,37	0,87	64,52
cmCv	-25	7,3	90	286,43	4,94	1,53	2,18	99,66

## Exkursionspunkt 4.2: Terra fusca-Braunerde aus Hauptlage über Festgestein

Lage: TK25: 4426 Ebergötzen  
 LK Göttingen, Göttinger Wald  
 Koordinaten: RW: 32571386; HW: 5711337 (ETRS89/UTM32)  
 Höhe: 386 m ü. NN  
 Position, Neigung: Oberhang, mittelstark geneigt (N3.2)  
 Nutzung: Forst, Laubwald  
 Humusform: F-Mull (L/Of)

**Profilbeschreibung** von Profilnummer (PRONUM): 7504; Aufnahmejahr: 1991

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ah	-4	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, sehr dunkel graubraun (10YR3/3), sehr stark humos (h5), carbonatfrei (c0), Krümelgefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
(Al-)Bv	-8	Schwach schluffiger Ton (Tu2), skelettfrei, sehr dunkel graubraun (10YR3/3), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
(Al-)Bv	-14	Schwach schluffiger Ton (Tu2), sehr schwach steinig, sehr dunkel graubraun (10YR3/3), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Tv-B(t)v	-20	Mittel toniger Lehm (Lt3), schwach steinig, dunkel graustichig braun (7.5YR4/4), mittel humos (h3), z. T. carbonatreich (c4), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
emCv	-36	Kalkstein (^k) mit 20 % Kluffüllung aus mittel schluffigem Ton (Tu3), dunkel graustichig braun (7.5YR4/4), stark humos (h4), sehr carbonatreich (c5)

**Bodentyp:** KA5: Terra fusca-(Parabraunerde-)Braunerde (CF-(LL-)BB)  
 LBEG: Flache Terra fusca-(Parabraunerde-)Braunerde (CF-(L-)B2)  
 WRB (2014): Eutric Endocalcaric Brunic Regosol (Clayic, Ochric, Reptic)

**Ausgangsgestein:** Flache Hauptlage über Kalkstein des Unteren Muschelkalks (mu)

**Substrattyp:** Flacher periglaziärer Ton (aus Lösslehm und Residualton) über kryoturbatem Carbonatschutt (aus Muschelkalkverwitterung) p-u(Lol,Tr)\pky-en(^k(mu))

### Physikalische und chemische Analysendaten (PRONUM 7504)

Horizont	Tiefe cm	$\Sigma S$ %	gU %	fmU %	$\Sigma U$ %	T %	Bodenart	UQ (gU/fmU)	Humus %	C <sub>org</sub> %	CaCO <sub>3</sub> %	Nt %	C/N
							KA5 Feld						
Ah	-4	0,7	22,5	24,9	47,4	51,9	Tu2 Ut4	0,9	11,6	6,7	-	0,6	12,3
Bv	-8	0,6	22,4	24,8	47,2	52,2	Tu2 Ut4	0,9	6,4	3,7	-	0,3	11,0
Bv	-14	0,5	23,2	23,5	46,7	52,8	Tu2 Tu4	1,0	5,0	2,9	-	0,3	10,6
Tv-Btv	-20	16	14,6	27,9	42,5	41,4	Lt3 Tu3	0,5	4,4	2,6	18,2	-	-
emCv	-36+	0,5	18,3	24,0	42,3	57,2	Tu2 Tu3	0,8	5,3	3,1	-	-	-

Horizont	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK pot.	austauschbare Kationen				BS %
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
							mmol/kg
Ah	4,9	387	203,2	11,7	5,8	7,6	59
Bv	4,6	347	163,4	6,6	2,4	1,4	50
Bv	4,9	328	195,1	5,1	1,8	0,3	62
Tv-Btv	6,8	306	332,3	4,7	2,4	4,2	100
emCv	6,9	406	405,5	4,7	3,1	8,5	100

### Exkursionspunkt 4.3: Terra fusca-Parabraunerde aus Hauptlage über Festgestein

Lage: TK25: 4426 Ebergötzen  
 LK Göttingen, Göttinger Wald  
 Koordinaten: RW: 32571297; HW: 5711281 (ETRS89/UTM32)  
 Höhe: 382 m ü. NN  
 Position, Neigung: Oberhang, mittel schwach geneigt (N2.2)  
 Nutzung: Forst, Laubwald  
 Humusform: F-Mull (L/Of)

**Profilbeschreibung** von Profilnummer (PRONUM): 7490; Aufnahmejahr: 1991

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ah	-3	Hauptlage, stark schluffiger Ton (Tu4), skelettfrei, sehr dunkel graustichig braun (10YR3/4), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Krümelgefüge, geringe Lagerungsdichte (Ld2)
Ah	-6	Hauptlage, stark schluffiger Ton (Tu4), skelettfrei, dunkel graubraun (10YR4/3), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Al	-11	Hauptlage, stark schluffiger Ton (Tu4), skelettfrei, dunkel braun (10YR4/6), mittel humos (h3), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Al	-16	Hauptlage, stark schluffiger Ton (Tu4), skelettfrei, dunkel braun (10YR4/6), mittel humos (h3), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Al	-21	Hauptlage, stark schluffiger Ton (Tu4), skelettfrei, dunkel braun (10YR4/6), mittel humos (h3), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Tv-Bt	-26	Hauptlage, mittel schluffiger Ton (Tu3), skelettfrei, rötlich braun (7,5YR5/6), mittel humos (h3), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Tv-Bt-eCv	-46	Hauptlage, schwach schluffiger Ton (Tu2), schwach steinig, dunkel graustichig braun (7.5YR4/4), mittel humos (h3), carbonathaltig (c3), mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
emCv	-50	Kalkstein (^kc) durchsetzt mit 5 % schwach schluffigem Ton (Tu2), olivstichig schwarz (2.5Y2.5/1), humusfrei (h0), sehr carbonatreich (c5), mittlere Lagerungsdichte (Ld3)

**Bodentyp:** KA5: Terra fusca-Parabraunerde (CF-LL)  
 LBEG: Flache Terra fusca-Parabraunerde (CF-L2)  
 WRB (2014): Endocalcaric Endoleptic Abruptic Luvisol (Cutanic, Differentic, Humic)  
 T-Horizont nach WRB > 30 cm

**Ausgangsgestein:** Hauptlage über Muschelkalkverwitterungs(lehm?)ton

**Substrattyp:** Flacher periglaziärer Ton (aus Lösslehm und Residualton) über kryoturbatem steinführendem Ton über kryoturbatem Carbonatschutt (aus Muschelkalkverwitterung) p-t(Lol,Tr)\pky-(n)t/pky-en(^k(mu))

**Physikalische und chemische Analysendaten (PRONUM 7490)**

Horizont	Tiefe cm	ΣS %	gU %	fmU %	ΣU %	T %	Bodenart		UQ (gU/fmU)	Hu- mus %	C <sub>org</sub> %	CaCO <sub>3</sub> %	Nt %	C/N
							KA5	Feld						
Ah	-3	0,8	39,5	29,9	69,4	29,8	Tu4	Ut3	1,3	9,9	5,8	-	0,3	17,5
Ah	-6	0,5	39,3	30,8	70,1	29,3	Tu4	Ut3	1,3	5,3	3,1	-	0,2	14,5
Al	-11	0,6	47,4	25,9	73,3	26,0	Tu4	Ut3	1,8	3,5	2,0	-	-	-
Al	-16	0,6	43,2	30,1	73,3	26,1	Tu4	Ut3	1,4	3,2	1,9	-	-	-
Al	-21	0,6	44,4	27,8	72,2	27,2	Tu4	Ut3	1,6	2,8	1,6	-	-	-
Tv-Bt	-26	0,4	36,4	25,9	62,3	37,3	Tu3	Tu4	1,4	2,2	1,3	-	-	-
Tv-Bt- Cv	-46	1,7	20,0	23,8	43,8	54,5	Tu2	Tu3	0,8	2,9	1,7	4,2	-	-
Cv	-50+	-	-	-	-	-	-	^kc	-	-	-	36,2	-	-

Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK pot.	austauschbare Kationen				BS %
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
			mmol/kg				
Ah	4,7	270	83,0	7,6	4,5	1,1	36
Ah	4,2	220	46,2	4,1	2,0	1,9	25
Al	4,0	176	24,3	2,3	1,1	0,2	16
Al	4,1	171	31,2	2,7	1,0	n.n.	20
Al	4,4	169	45,1	3,5	0,9	n.n.	29
Tv-Bt	5,4	207	149,5	4,94	1,6	0,6	76
Tv-Bt- Cv	7,2	358	386,9	7,0	3,6	1,5	100
Cv	7,5	263	323,8	4,11	4,4	1,2	100

**Exkursionspunkt 5: Terra fusca-Parabraunerde aus Hauptlage über Mittellage über Basislage**

Lage: TK25: 4426 Ebergötzen  
 LK Göttingen, Göttinger Wald  
 Koordinaten: RW: 32570964; HW: 5711063 (ETRS89/UTM32)  
 Höhe: 354 m ü. NN  
 Position, Neigung: Oberhang, mittel schwach geneigt (N3.2)  
 Nutzung: Forst, Laubwald  
 Humusform: F-Mull (L/Of)



**Profilbeschreibung** von Profilnummer (PRONUM): 7500; Aufnahmejahr: 1991

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ah	3	Hauptlage, stark toniger Schluff (Ut4), skelettfrei, dunkel graubraun (10YR4/3), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Krümelgefüge, geringe Lagerungsdichte (Ld2)
Ah-Al	7	Hauptlage, stark toniger Schluff (Ut4), skelettfrei, graubraun (10YR5/3), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Krümel- bis Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Ah-Al	11	Hauptlage, stark toniger Schluff (Ut4), skelettfrei, graubraun (10YR5/3), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Kohärent- bis Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Al	16	Hauptlage, stark toniger Schluff (Ut4), skelettfrei, hell graustichig braun (10YR6/4), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Kohärent- bis Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Al	30	Hauptlage, stark toniger Schluff (Ut4), skelettfrei, hell graustichig braun (10YR6/4), stark humos (h4), carbonatfrei (c0), Kohärent- bis Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Al	35	Mittellage, stark toniger Schluff (Ut4), skelettfrei, hell graustichig braun (10YR6/4), mittel humos (h3), carbonatfrei (c0), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Bt	40	Mittellage, schwach grusiger, stark toniger Schluff (Ut4), braun (10YR5/6), mittel humos (h3), carbonatarm (c2), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Bt	45	Mittellage, schwach grusiger, mittel schluffiger Ton (Tu3), hell graustichig braun (10YR6/4), schwach carbonathaltig (c1), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)
Tv-Bt	51	Mittellage schwach grusiger, mittel schluffiger Ton (Tu3), dunkel graustichig braun (7.5YR4/4), mittel humos (h3), schwach carbonathaltig (c1), Polyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3)

Anmerkung: Humusgehalte im Gelände eine Stufe tiefer aufgenommen

- Bodentyp:** KA5: Terra fusca-Parabraunerde (CF-LL)  
 LBEG: Mittlere Terra fusca-Parabraunerde (CF-L3)  
 WRB (2014): Haplic Luvisol (Cutanic, Endoloamic, Ochric, Episiltic)
- Ausgangsgestein:** Hauptlage über Mittellage über Fließerde aus Kalkstein des Unteren Muschelkalks
- Substrattyp:** flacher periglaziärer Ton (aus Lösslehm und Residualton) über periglaziärer grusführender Ton-Fließerde (aus Muschelkalkverwitterung) p-u(Lol)/pfl-(z)t<sup>(k)</sup>(mu)

## Physikalische und chemische Analysendaten (PRONUM 7500)

Tiefe cm	Hori- zont	ΣS %	gU %	fmU %	ΣU %	T %	Bodenart		UQ (gU/fmU)	C <sub>org</sub> %	CaCO <sub>3</sub> %	Nt %	C/N
							KA5	Feld					
3	Ah	0,3	45,1	34,1	79,2	20,4	Ut4	Ut3	1,3	4,4	-	0,3	15
7	Ah-Al	0,6	44,7	35,7	80,4	19,0	Ut4	Ut3	1,3	1,7	-	-	-
11	Ah-Al	0,5	46,7	33,1	79,8	19,7	Ut4	Ut3	1,4	1,3	-	-	-
16	Al	0,6	45,6	33,1	78,7	20,7	Ut4	Ut3	1,4	0,9	-	-	-
30	Al	0,5	47,3	31,7	79	20,4	Ut4	Ut3	1,5	0,7	-	-	-
35	Al	0,5	52,9	24,7	77,6	21,9	Ut4	Ut3	2,1	0,5	-	-	-
40	Bt	1,0	43,4	31	74,4	24,6	Ut4	Tu4	1,4	0,5	1,9	-	-
45	Bt	0,5	36,8	24,4	61,2	38,3	Tu3	Tu4	1,5	0,5	0,4	-	-
51+	Tv-Bt	0,5	34	23,8	57,8	41,7	Tu3	Tu3	1,4	0,5	0,2	-	-

Tiefe cm	Hori- zont cm	pH CaCl <sub>2</sub>	KAK pot.	austauschbare Kationen				BS %
				Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
3	Ah	4,4	216	45,5	2,0	3,8	0,3	24,78
7	Ah- Al	4,0	137	14,0	0,6	1,6	0,2	12,43
11	Ah- Al	4,0	123	10,9	0,5	1,2	0,2	10,79
16	Al	4,1	115	16,9	0,6	1,0	0,2	16,76
30	Al	4,2	108	26,2	0,8	0,7	0,4	26,83
35	Al	4,8	114	55,3	1,3	1,0	0,5	52,16
40	Bt	6,7	138	112,3	1,9	1,5	0,7	85,63
45	Bt	5,4	223	166,2	2,8	3,1	1,2	78,92
51	Tv-Bt	5,8	241	194,3	2,7	3,5	1,0	84,67

### Altersstellung der Hauptlagen

Aufgrund der nachfolgenden Ausführungen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die lössigen Decken mit hoher Wahrscheinlichkeit eine jungtundrenzeitliche Entstehung haben und der Hauptlage entsprechen. Dazu lassen sich drei Argumente anführen:

1. Die vorliegenden Sedimentfolgen mit lössiger Decke über Schutten aus dem Muschelkalk entsprechen der Hauptlage bzw. der Basislage. Auch wenn das Erscheinungsbild mit den kräftigen braunen tonreichen Horizonten (hier als Tv-Bt bezeichnet) eine intensive Bo-

denbildung zeigt, ist aufgrund der allgemeinen Kenntnisse davon auszugehen, dass die Hauptlage und die Basislage wohl in die Jüngere Weichselzeit (qwj) zu stellen sind (Semmel 1964, 1968, Schilling u. Wiefell 1962).

2. Aus der näheren Umgebung (Hünstollen, ca. 6 km nördlich) ist als stratigrafischer Hinweis ein Fund vom Laacher See-Tuff bekannt (Rohdenbug u. Meyer 1968, Meyer et al. 1985). Der Tuff liegt dort in einer Kluftspalte und wird von Residualton des Gelbkalks bedeckt. Ein sicherer Beweis ist damit allerdings nicht erbracht, da eine ausgeprägte Hauptlage an der angegebenen Lokalität fehlt. Der Fund wird als Beleg für die

holozäne Genese des Kalksteinbraunlehms gewertet (Rohdenburg u. Meyer 1968, Meyer et al. 1985).

3. Aufgrund des Nachweises des Laacher See-Tuffs sowohl aus dem Leinegraben wie auch aus dem Göttinger Wald wurden an ausgewählten Proben Schwermineralzählungen vorgenommen (Knabe 1994, Tab. 6). In den lössigen Decken einschließlich der stark tonigen Horizonte an der Grenzfläche zu den Basislagen wurde durchgehend der Laacher See-Tuff nachgewiesen. Die höchsten Konzentrationen an tuffbürtigen Schwermineralen finden sich in den geringmächtigen (10–20 cm Hauptlage) Braunerden.

### **Ergebnisse der schwermineralogischen Untersuchungen** (Knabe 1994)

Folgende Ergebnisse der Schwermineralauszählungen sind mitzuteilen (Tab. 6):

1. Nach der „Korngrößenverteilung“ bestehen alle Proben aus schluffig-tonigem Material, das im Profil Totenberg 2 im Mittel deutlich feinkörniger ist als in den beiden anderen Profilen. Die geringere Grobschluff-Komponente (63–20 µm) in Totenberg 2 weist auf einen niedrigeren Lössanteil in diesem Profil.
2. Die Schwermineralgehalte der Kornklasse 63–20 µm sind in den Profilen Totenberg 1 und Wallmannsort mit 1,4 bis 2,1 % ähnlich – ausgenommen in Probe S/767121 0,1 % (Ausreißer). Im Profil Totenberg 2 liegen sie mit 0,15–0,3 % deutlich darunter.
3. Der Schwermineralbestand der Proben ist sehr ähnlich.
  - Hauptkomponenten: Epidot, Amphibole (weitgehend grüne Hornblende) und opake Minerale.
  - Nebenkomponten: Zirkon, Granat, Rutil und andere TiO<sub>2</sub>-Modifikationen, Turmalin und Titanit.
  - Akzessorien: metamorphe Minerale u. a.

**Dieses Schwermineral-Spektrum und die Verteilung der Schwerminerale weisen stark auf pleistozäne Ablagerungen als Lieferanten.**

4. Ein kleiner Teil der Schwerminerale (max. 5 %) stammt dagegen offensichtlich vom Laacher See-Tuff, vor allem basaltische (braune) Hornblenden und monokline Pyroxene (farblose bis schwach gefärbte basaltische Angite, gelegentlich mit deutlicher Titanangitkomponente, und untergeordnet kräftig grüne Ägirinangite bis Ägirine). Alle Proben – ausgenommen S/767125 – enthalten diese Tuffminerale.

**Bei den angegebenen Gehalten von basaltischer Hornblende und monoklinen Pyroxenen handelt es sich stark überwiegend um ehemalige Bestandteile des Laacher See-Tuffs. Ein kleiner Teil dieser Minerale stammt jedoch nicht vom Tuff, sondern offensichtlich von den pleistozänen Sedimenten. Bei einigen Körnern war die Herkunft nicht zu erkennen.**

5. Von besonderem Interesse war die Frage, ob sich der Tuffanteil im Boden innerhalb der Profile ändert. Durch genauere Bestimmung der Gehalte an brauner basaltischer Hornblende – stellvertretend für den gesamten Tuffanteil – wurde eine Klärung versucht. Die Ergebnisse erlauben folgende Interpretation:
  - a) Die Gehalte an brauner basaltischer Hornblende sind in den Schwermineralkonzentrationen des Profils Totenberg 2 (Braunerde) deutlich höher als in denen der beiden anderen Profile. Diese Erhöhung ist wahrscheinlich auf höhere Tuffanteile im Boden zurückzuführen. Schwermineralgehalte und Korngrößenverteilung lassen vermuten, dass der höhere Tuffanteil weniger primär ist, sondern erst mittelbar durch geringere Lössgehalte in diesem Profil entsteht. In Totenberg 1 sind die Gehalte wahrscheinlich höher als in Wallmannsort.

**Tab. 6:** Ergebnisse Schwermineralauszählung

Kennzeichnung	PRONUM	SM-Nummer	HOR_NR	OTIEF	UTIEF	HORIZ	Anzahl gesamt	Anz. br. HB	Anteil HB an Gesamt	Anzahl gesamt	Anz. br. HB	Anteil in %	SM Anteil in 63-20 µm	Bemerkung
Totenberg 56	7491	S/767112	4	3	8	Ah	3996	21	0,53	2710	21	0,77	1,9	Laacher See Tuff, mittel
	7491	S/767113	5	8	13	Al	2997	19	0,63	2200	19	0,86	1,6	Laacher See Tuff, mittel
	7491	S/767114	6	13	20	Al	n.g.		0,55				1,8	Laacher See Tuff, mittel
	7491	S/767115	7	20	25	Al	1998	10	0,50	1500	10	0,67	1,8	Laacher See Tuff, mittel
	7491	S/767116	8	25	30	Bt	1998	21	1,05	1450	21	1,45	1,7	atypisch kein Laacher See Tuff
Totenberg 66	7504	S/767117	3	0	4	Ah	1998	27	1,35	997	27	2,71	0,2	Laacher See Tuff, hoch
	7504	S/767118	4	4	8	Al-Bv	1998	25	1,25	914	25	2,74	0,3	Laacher See Tuff, hoch
	7504	S/767119	5	8	14	Al-Bv	1998	19	0,95	906	19	2,10	0,15	Laacher See Tuff, hoch
	7504	S/767120	6	14	20	Tv-Btv	1998	32	1,60	800	32	4,00	0,2	Laacher See Tuff, hoch
Wallmannsort 65	7500		6	11	16	Al								
	7500	S/767121	7	16	30	Al	2997	9	0,30	1407	9	0,64	0,1	Laacher See Tuff, mittel
	7500	S/767122	9	35	40	Bt	2997	5	0,17	2235	5	0,22	1,4	Laacher See Tuff, mittel
	7500	S/767123	11	45	51	Tv-Bt	1998	6	0,30	1510	6	0,40	1,4	Laacher See Tuff, mittel
	7500	S/767124	12	51	56	Tv-Cv	1998	4	0,20	1430	4	0,28	1,8	Laacher See Tuff, mittel
	7500	S/767125	16	80	95	Bv	n.g.	Sp		n.g.	Sp		2,1	atypisch kein Laacher See Tuff

- b) In Totenberg 2 ist diese Tendenz ebenfalls zu erkennen, sie ist jedoch weniger stark ausgeprägt.
- c) In Wallmannsort schwanken die (geringeren) Gehalte der oberen vier Proben wesentlich stärker als in den beiden anderen Profilen. Die Liegendprobe (S/767125) unterscheidet sich aber durch Abwesenheit bzw. durch sehr geringe, nicht sicher nachgewiesene Gehalte an brauner basaltischer Hornblende grundsätzlich von den Liegendproben der beiden anderen Profile. Durch deutlichen Apatitgehalt und durch Vormacht von grüner Hornblende gegenüber Epidot unterscheidet sich diese Probe außerdem von allen anderen Proben.

**Abschätzung der stofflichen Zusammensetzung der Deckschichten**

Um die Genese der Bodenhorizonte zu erfassen, ist es in Kalksteingebieten notwendig, Sedimente (hier Löss und Kalkstein) und deren Übergänge/Mischungen zu charakterisieren. Ziel der Kartierung ist es, im Gelände erfassbare Größen anzugeben bzw. Merkmale zu definieren, die es erlauben, diese Mischungen zu erkennen. Hierzu liegen sowohl methodische

Arbeiten (Alaily 1984) wie auch konkrete Untersuchungen zu den Böden des Göttinger Waldes vor (Thöle u. Meyer 1979, Fier 2012). Kornverteilungen, Schluff und Sandgehalte (Abb. 16) wie Quotienten der Kornfraktionen, Quarzanteile oder Gehalte von pedogen nur gering beeinflussten Elementen sind mögliche Zeiger.

Aus den vorliegenden Untersuchungen (Thöle u. Meyer 1979, Fier 2012) wird deutlich, dass in der Hauptlage eine Mischung von lössigen und kalksteinbürtigen Lösungsrückständen vorliegt. Die Mischungsverhältnisse sind bei den 20 bis 40 cm mächtigen Hauptlagen stabil. Bei geringmächtigeren Hauptlagen ist der kalksteinbürtige Anteil höher.

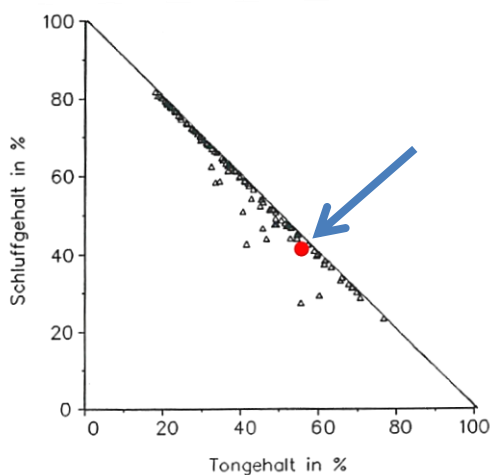
In Tabelle 8 (Abb. 16) sind die mittleren Kornverteilungen der im Untersuchungsgebiet auftretenden Sedimente angegeben. Der Sandgehalt der Proben entspricht den von Thöle u. Meyer (1979) ermittelten Werten. Lediglich bei den Proben mit geringen Schluffquotienten sind die Sandgehalte leicht erhöht. Dies ist wohl auf pedogene Konkretionen zurückzuführen. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale ergeben sich mit dem Ton- bzw. Schluffgehalt bzw. dem Verhältnis von Grobschluff zu Fein- und Mittelschluff (Schluffquotient). Im Vergleich der Analyseergebnisse zur Feldansprache fällt auf, dass die Tongehalte im Gelände bis zu zwei Klassen unterschätzt wurden. Dies gilt auch für



langjährig erfahrene Kartierer. Der Grund dafür ist in den feinen laminierten Tonaggregaten in den Hauptlagen (durch Dünnschliffe belegt, vgl. Profil 8 in Abb. 17) und vermutlich in einer Tonfreisetzung während der Dispergierung zu sehen.

Der Lösungsrückstand ist durch einen dominanten Fein- und Mittelschluffanteil und entsprechend kleine Quotienten aus Fein- und Mittelschluff zum Grobschluff gekennzeichnet (Schluffquotient = 0,18). Unverwitterte Löss zeichnen sich dagegen durch einen hohen Anteil an Grobschluff und Schluffquotienten  $>3$  aus (Gehrt 1994). In verbraunten und/oder kryoklastisch beanspruchten Lössen kann der Schluffquotient auf unter 2 absinken. Der Tongehalt kann bei solchen verwitterten Lössen dann auf über 30 % steigen.

Lössähnliche Charakteristika finden sich in dem untersuchten Datenkollektiv aus dem Göttinger



**Abb. 16:** Bodenartenverteilung der Sedimente (Dreiecke) im Göttinger Wald und des Lösungsrückstandes (Pfeil) im Korngrößendreieck

Im Prinzip lassen sich im Göttinger Wald maximal 4 Gruppen sinnvoll trennen (Tab. 8):

1. Residualton – Lösungsrückstände – Tonanteil  $> 60\%$
2. lössbeeinflusste Lösungsrückstände – Bodenart: mittel bis schwach schluffiger Ton (Tonanteil 35 bis 60 %)
3. Löss mit Beimischungen von Residualton – Bodenart: stark toniger Schluff bis schluffiger Ton (Tonanteil 25 bis 45 %).

Wald nur bei 4 Proben (Tab. 8). Die Proben mit Schluffquotienten von 0,5 bis 0,7 repräsentieren den Lösungsrückstand. Dies ist sowohl durch die hohen Tongehalte als auch durch die Fundorte (Klufffüllungen) wahrscheinlich. Bei Sedimenten mit Schluffquotienten um 1,4 sind wohl Mischungen von Löss und Residualton und/oder stärkere kryoklastische Beanspruchungen anzunehmen (Rohdenburg u. Meyer 1963, Gehrt 1994).

Der Tongehalt ist aufgrund der Verlagerbarkeit für die Bestimmung der Mischungsverhältnisse nicht brauchbar. So kann bei gleichem Mischungsverhältnis von lössigen und kalksteinbürtigen Bestandteilen der Tongehalt bis über 20 % schwanken. Diese Unterschiede legen die Vermutung nahe, dass die Tonverlagerung ursächlich ist. Dünnschliffuntersuchungen unterstützen diese These (Gehrt 1999, Fier 2012).

4. Lössähnliche Deckschichten – Bodenart: toniger bis stark toniger Schluff (Tonanteil 17 bis 35 %)

Der Schluffquotient ist ein einfacher, aber gut zu handhabender Parameter zur Abschätzung der Mischungsverhältnisse.

## Mineralzusammensetzung

Thöle u. Meyer (1979) ermittelten für Profile in Plateaulage des Unteren Muschelkalks die Mischungsanteile von Löss und Kalklösungsrückstand aufgrund verschiedener Trenngrößen (Quarz, Feldspat, Glimmer, 3-Schicht-Tonminerale). Der Sand und Schluff des Lösungsrückstandes besteht überwiegend aus Quarz, Feldspäten (meist Kalifeldspat), Glimmern (meist Muskovit), wenig eisenreichen Glimmern (Biotit, Chlorit, Glaukonit) und Schwermineralen (Turmalin, Rutil, Hornblende, Augit). Die Feldspatgehalte des Kalklösungsrückstandes schwanken

gesteinsunabhängig stark, z. B. im Wellenkalk 3 (muW3) zwischen 7 und 15 % (Thöle u. Meyer 1979).

Die Mineralartenzusammensetzung eines Lösslehms über Unterem Muschelkalk (Seckborngrund) besteht insgesamt aus 71 % Quarzen und Feldspäten (18 %) gegenüber 22 % Schichtsilikaten mit nur 6,2 % Glimmern und 9,4 % Illit (Thöle u. Meyer 1979). Nach Fier (2012) ist der Quarzgehalt in den lössigen Decken 2- bis 3-mal höher als in den Residualtonen (Tab. 7). Auch Knabe (1994) belegt dies im Rahmen der Schwermineralauszählungen (Tab. 6).

**Tab. 7:** Quarzanteile am Lösungsrückstand und in den Deckschichten (Thöle u. Meyer 1979, Fier 2012)

	Residualton [%]		Lössdeckschicht [%]	
	Thöle u. Meyer 1979	Fier 2012	Thöle u. Meyer 1979	Fier 2012
Quarz	20-40 (85)	13-24	71	28-50
Feldspat	7-15		1,8	
Schichtsilikate	>50-80		22	
Glimmer	15-30		6,2	
Illit	35-50		9,4	

**Tab. 8:** Bodenarten und Lössanteil aus Sedimenten des Göttinger Waldes (Die Gruppen wurden aufgrund der Kornverteilungen durch numerische Klassifikation ermittelt (nicht gewichtet, WARD-Verfahren.))

Lössanteil	Bodenartenuntergruppe	Anzahl n	Ton <2 µm	Fein- u. Mittelschluff 2-20 µm	Grobschluff 20-63 µm	Sand >63 µm	Schluffquotient
-	Tt	7	69,6	17,0	13,0	0,7	0,7
	Tu2	9	60,3	25,6	13,3	0,8	0,5
Lo1	Tu3	14	36,7	31,7	29,5	2,1	0,9
	Tu2	25	50,2	25,3	23,3	1,2	0,9
Lo2	Ut4	17	20,6	32,7	46,1	0,7	1,4
	Tu4	28	28,9	29,7	40,8	0,6	1,4
	Tu3	12	39,6	25,4	34,1	0,9	1,3
Lo3	Ut4	4	24,1	23,6	51,8	0,5	2,4

## Abschätzung der Zusammensetzung der Hauptlage

Unbestritten ist also, dass die Hauptlage eine Mischung aus lössigen Bestandteilen und Residualtonen ist. Zur weiteren Eingrenzung ist es hilfreich, das Mischungsverhältnis von lössigen Bestandteilen und dem Lösungsrückstand konkreter abzuschätzen. Fier (2012) versucht dies mit der Ton- bzw. der Schluffmassenanalyse

(Alaily 1972). Insbesondere die Tonmassenanalyse muss kritisch gesehen werden, da die lössigen Bestandteile der Hauptlage mit echten Lössen aus dem Leinegraben für die Berechnung gleichgesetzt werden und die Residualtone auf Grundlage der durch Kalklösung gewonnenen Tongehalte einfließen. Im Ergebnis liegen die abgeschätzten Lössanteile bei 22–45 % (Tonmassenanalyse) bzw. 28–44 %

(Schluffmassenanalyse) jedoch eng beieinander.

Im Rahmen der Schwermetalluntersuchungen wurde der Lössanteil aufgrund des Schluffquotienten abgeschätzt. Auf Grundlage des Schluffquotienten wurde horizontweise das Mischungsverhältnis von Löss und Lösungsrückstand bzw. der löss- bzw. lösungsrückstandbürtige Tonanteil abgeschätzt (Tab. 10) und mit dem analytisch bestimmten Tongehalt in Beziehung gesetzt (Tab. 11 u. 12). Für den Göttinger

Wald gilt als Faustzahl: Schluffquotient (gU/fmU) \* 40 = Lössanteil in der Hauptlage. Das so bestimmte Mischungsverhältnis von Löss und Lösungsrückstand ist mit dem von Fier (2012) vergleichbar. In Kenntnis der Mischungsverhältnisse und der Tongehalte der jeweiligen Ausgangsgesteine ist dann auch der anteilige Tongehalt bestimmbar. Bezogen auf den Lösungsrückstand, ist auch der gelöste Carbonatanteil abschätzbar (Tab. 9).

**Tab. 9:** Abschätzung der Mischungsverhältnisse von Löss und Lösungsrückstand (res) auf Grundlage des Schluffquotienten und abgeleiteter Größen wie anteilige Tongehalte

Schluffquotient gU/fmU	Anteile [%]		Tonanteil [%]		Ton Gesamt	Lösungsrück- stand >2 µm	CaCO <sub>3</sub> primär
	Löss	Lösungsrück- stand	Löss	Lösungsrück- stand			
2,2	88	12	22	7	29	5	14
2	80	20	20	12	32	8	16
1,8	72	28	18	17	35	11	22
1,6	64	36	16	22	38	14	29
1,4	56	44	14	26	40	18	35
1,2	48	52	12	31	43	21	42
1	40	60	10	36	46	24	48
0,8	32	68	8	41	49	27	54
0,6	24	76	6	46	52	30	61
0,4	16	84	4	50	54	34	67
0,2	8	92	2	55	57	37	74
0,1	4	96	1	58	59	38	77

### Primäre Eigenschaften der Hauptlage

Die Auswertungen der Kornverteilungen und Mineralzusammensetzungen lassen wie beschrieben den Schluss zu, dass in den Hauptlagen Lösungsrückstände des Kalksteins enthalten sind. Grobbodenhaltige Sedimente und erhöhte Carbonatgehalte lassen sich aber nur selten finden. Deshalb werden hier zunächst nochmals die Ergebnisse aus Freden/Leine wiedergegeben (Gehrt et al. 1999), wo eine primäre Hauptlage angetroffen wurde. Von Bedeutung sind dabei der Carbonat- und Tongehalt sowie als Indikator

für die pedogene Aktivität der Wert des dithionit- und oxalatlöslichen Eisens.

In Tab. 10 sind die Kennwerte der Hauptlage mit unterschiedlicher pedogener Überprägung wiedergegeben. Bei einem Schluffquotienten von 1,6 besteht der Grobboden mit Anteilen von 10–25 % ausschließlich aus Kalksteinersatz. Die Tongehalte liegen bei 8 %. Der Anteil des dithionitlöslichen Eisens ist mit 0,4 mg/g erwartungsgemäß gering. Die Carbonatgehalte von >30 %

wurden geringfügig durch sekundäre Carbonatanreicherung erhöht. Während die unverwitterte Hauptlage bei 30 % Kalkgehalt nur Tongehalte von 8 % aufweist, steigt dieser nach Entcarbonatisierung auf über 30 % an. Diese Werte bewegen sich in dem in Tab. 9 beschriebenen Niveau.

In der verbraunten Hauptlage geht der Grobbodenanteil deutlich zurück. Die Carbonatgehalte von 20 % sind auf Reste des Kalksteingruses zurückzuführen. Mit der Verbraunung steigen erwartungsgemäß die Tongehalte auf über 30 %. Bei einem Tongehalt von über 60 % im Lösungsrückstand des Kalksteins ist der Tongehaltsanstieg im Wesentlichen durch die Verwitterung von Gesteinsmehl in der Schlufffraktion zu erklären. Die Braunfärbung infolge der Eisenfreisetzung findet aufgrund der hohen pH-Werte bzw. der Carbonatgehalte keinen Niederschlag in den Feo-Werten. Die deutlich erhöhten Fed-Werte (0,9 mg/g) in der verbraunten Hauptlage belegen aber die Neubildung pedogenen Eisens. Bei fehlender Oberlage ist die

Hauptlage carbonatfrei. Die pH-Werte sinken im Oberboden unter 4. Durch Tonverlagerung findet sich in der Hauptlage eine deutliche Horizontdifferenzierung. Die Tongehalte um 16 % im Al-Horizont liegen unter denen im Bcv-Horizont der Braunerde. Im Bt-Horizont liegen sie mit 28 % vergleichbar hoch oder höher. Die deutlich erhöhten Tongehalte (bis 40 %) an der Grenzfläche zur liegenden Basislage sind im Wesentlichen auf die Tonanreicherung bei abrupt ansteigenden pH-Werten und Carbonatgehalten zurückzuführen und erklären auch die Fed-Gehalte von 1,2 mg/g. Bei den Hauptlagen in Kalksteingebieten ist aufgrund dieser Befunde davon auszugehen, dass die Lösungsrückstände in der Hauptlage aus Lösung der schuttigen Bestandteile stammen.

Die Abschätzung des Lössanteils anhand der im Gelände sensorisch erfassbaren Bodenart ist aufgrund der großen Tongehaltsunterschiede nur bedingt möglich, da der Tongehalt die Bodenartenansprache dominiert.

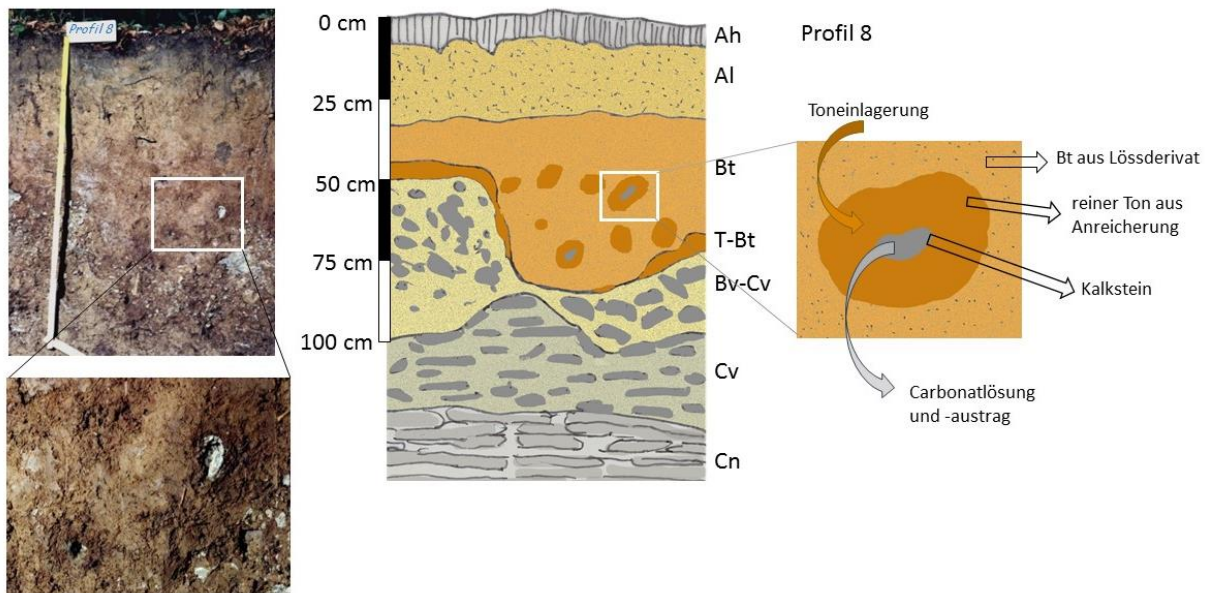
**Tab. 10:** Kennwerte der Hauptlage im Einflussbereich des Unteren Muschelkalks mit unterschiedlicher pedogener Prägung (Beispiel Catena Freden, Gehrt et al. 1999)

	Horizont	Ton	mU+fU	gU	Sandgehalt	Grobboden	Schluffquotient	Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> [%]	Fed mg/g	Tiefe
Hauptlage	<b>Cv</b>	<b>7,8</b>	<b>32,9</b>	<b>53</b>	<b>6,3</b>	<b>24,8</b>	<b>1,6</b>	<b>Ut2</b>	<b>7,8</b>	<b>33,5</b>	<b>0,4</b>	<b>120</b>
	Bv	32,5	30,8	34,7	2,1	0,7	1,1	Tu3	7,4	20,3	0,9	45
	Al	16,4	30,9	51,6	1,1		1,7	Ut3	3,8		0,6	30
	Bt	28,8	26,7	43,4	1,0		1,6	Tu3	4,7		1,0	45
	Tv-Bt	39,8	21,6	35,9	2,6		1,7	Tu3	6,3		1,2	70

In einer Schürfgrube im Seckborngrund (Profil 8) konnte die in Abb. 17 wiedergegebene Ausprägung angetroffen werden. In der Hauptlage waren noch Reste von Kalksteingrusen in der Matrix der Lössderivate anzutreffen. Die

durch die Lösung der Kalkbrocken entstehenden Hohlräume werden durch Toneinlagerung aufgefüllt. Im Ergebnis entstehen Tonhöfe um die Kalksteine und scheinbar in der Lössmatrix schwebende Linsen aus reinem Ton.





**Abb. 17:** Schemazeichnung Profil 4426/16/8, Terra fusca-Parabraunerde mit linsenförmiger Tonanreicherung im Bt, Hohlräume aus Kalklösung werden sukzessive durch Ton ersetzt.

### Zusammenfassend ist festzuhalten:

Die lössigen Deckenschichten im Göttinger Wald entsprechen den jungtundrenzeitlichen Hauptlagen (Semmel 1962, 1968, AG Boden 2005). Folgende Eigenschaften der Hauptlagen sind festzustellen:

- Die Hauptlagen weisen eine hohe räumliche Variabilität in Bezug auf die Mächtigkeit, die Anteile an Löss und Residualton und die Textur auf. Die Hauptlagen waren wohl primär carbonathaltig. Die heutige Mächtigkeit ist durch die Lösung der Carbonate geringer als die primäre.
- Die Schluffquotienten sind in erster Näherung geeignet, um den Anteil von Lösungsrückständen und lössigen Bestandteilen in den Deckschichten abzuschätzen.
- Die geringmächtigen lössigen Deckschichten unterscheiden sich von den Residualtonen durch höhere Grobschluffgehalte. In erster Näherung ergibt sich der Lössanteil durch die Multiplikation des Schluffquotienten mit dem Faktor 40. So ist bei einem UQ von 0,7 von einem Lössanteil von ca. 28 % auszugehen. Bei Schluffquotienten von 1,3 ist das Verhältnis etwa 1:1.
- Diese Mischungsverhältnisse bestätigen sich auch bei aufwendiger untersuchten Indikatoren (Quarz, geogene Schwermetalle

(z. B. Nickel), stabile Elemente wie Zirkon oder Titan oder Quotienten aus diesen Elementen) (s. u.).

- Tonmineralogisch ist bei Illitdominanz die Mischung nicht festzumachen.
- Bei hohen Anteilen an Lösungsrückständen war der primäre Carbonatgehalt höher und der Volumenverlust größer. Damit würde nicht die primäre Mächtigkeit, sondern die Lössinwehung variieren.

### Braunerde und Parabraunerde versus Terra fusca

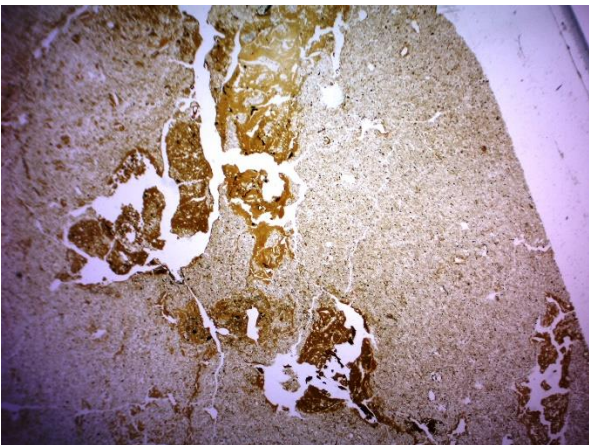
Nach den dargestellten Ergebnissen stellt sich die grundsätzliche Frage, wie die Böden und insbesondere die intensiv braunen Bodenhorizonte über den Kalksteinen anzusprechen sind. Einerseits ist Residualton in der Hauptlage nachzuweisen. Dies legt die Einstufung der entsprechenden Horizonte als Tv bzw. der Böden als Terra fusca nahe. Andererseits ist die Tonverlagerung sowohl im Gelände wie auch im Dünnschliff erkennbar. Daraus würde dann eine Einstufung als Parabraunerde mit Al- und Bt-Horizonten resultieren.

## Exkurs Bodengenese

Vorweg ist festzustellen, dass der pedogenetische Prozess bei der Lessivierung (Al) und Tonanreicherung (Bt) gut in unserem Verständnis verankert ist. Der pedogenetische Prozess der Tv-Horizontbildung ist dagegen nicht beschrieben. Allenfalls werden Randbedingungen (Residualton, Tongehalte > 65 %, intensive braune Farbe) oder Faktoren der Bildung (meist reliktsch oder warme klimatische Bedingungen) genannt.

Bei der Verbraunung wird die Bodenfarbe durch verwitterte Eisenverbindungen (Freisetzung und Oxidation von Eisen II) geprägt. Mit der Verbraunung geht die Tonfreisetzung und -neubildung (Verlehmung) einher. In den gemäßigten Breiten bilden sich eher bräunliche Eisenhydroxide wie Lepidokrokit ( $\gamma\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) oder Goethit ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ). Unter wärmeren Klimabedingungen bildet sich vor allem rötliches Eisen(III)oxid (Hämatit/ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Dies wird durch die vorgestellte Terra rossa repräsentiert. Die reliktschen Terra fusca sind intensiv überprägt, aber im Grundsatz verbrauchte Böden mit hohen Tongehalten (>65 %) ohne erkennbare Tonverlagerung.

Dies trifft für die Terra fusca Selzingen und die reliktschen Terra fusca im Göttinger Wald zu. Die reliktschen Bodenbildungen im Göttinger Wald erreichen allerdings Tongehalte >65 % nicht. Die Tongehalte dürften allerdings auch durch Tongehalte im Residualsediment gesteuert werden. Diese liegen im Unteren Muschelkalk unter 65 %. Dazu sind wohl auch die



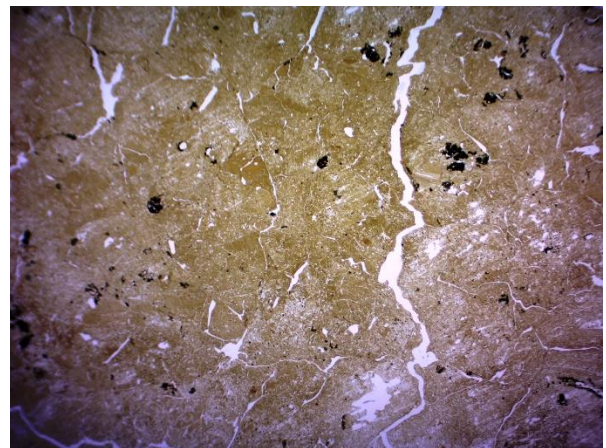
**Abb. 18:** Tv-Bt-Horizont mit deutlicher Toneinlagerung (dunkle Bereiche), Kantenlänge 2 cm

Schlottenfüllungen von Löss beeinflusst. Erkennbar sind allerdings die Bohnerze, die eine intensive Eisenumfällung anzeigen.

In den tonreichen Oberflächenhorizonten (hier als Tv-Bv- und Tv-Bt-Horizont angesprochen) werden die Tongehalte >65 % nur in Ausnahmen überschritten. Auffallend ist insbesondere bei den Tv-Bt-Horizonten die intensiv rötlich-braune Farbe. Die Tv-Bv-Horizonte sind dagegen oftmals durch die Humusmaskierung sehr dunkel.

Im Dünnschliff unterscheiden sich die jungen Tv-Bt-Horizonte in der Hauptlage durch die Quarzkörner des Grobschluffs und die deutlichen Toneinlagerungen von den reliktschen Tv-Horizonten (Abb. 18). Bei insgesamt gleichmäßiger Farbe lassen sich örtlich verstellte Gefügebuchstücke erkennen. Die Eisen-Mangan-Umfällungen sind prägender und größer.

Auch der Tv-Bt-Horizont ist nach den Schwermineralen noch zur Hauptlage zu rechnen und findet sich erst, wenn die Hauptlage die Mächtigkeit von 20–25 cm überschreitet. Die Beobachtungen im Gelände und in Dünnschliffen belegen, dass die Toneinlagerung den Tv-Bt-Horizont prägt. Nach Fier (2012) können die Toneinlagerungen bis 16 % Flächenanteile einnehmen. Auffallend ist, dass diese häufig gestört sind, was aber wohl mit der oberflächennahen Lage zu erklären ist (Störeinflüsse durch Wurzelwachstum, Baumwurf und/oder anthropogene Einflüsse).



**Abb. 19:** Reliktscher Tv-Horizont Göttinger Wald, schwarze Stippen Eisen-Mangan-Translokationen, Kantenlänge 2 cm

Während die jungen oberflächennahen Horizonte durch die Tonverlagerungsmerkmale geprägt sind, zeigt sich bei dem Tv-Horizont eine homogenere Braunfärbung mit verstellten Gefügestücken. In beiden Fällen sind Eisen-Mangan-Translokationen vorhanden. Diese Resultate von Redoxprozessen sind aufgrund der hohen Tongehalte und lokal reduzierender Prozesse erklärbar, ohne dass Nässe die Eigenschaften dieser Profile prägt. Dieser Umstand sollte ggf. im Kontext der Terra fusca-Bildung genauer betrachtet werden. Manganknollen oder Ähnliches sind in den Horizonten der Hauptlage nicht zu erkennen.

Die Beteiligung der Tonverlagerung ergibt sich auch aus Modellrechnungen (vgl. Tab. 11 und 12). Stellt man die rechnerisch aufgrund des Schluffquotienten ermittelten Tongehalte (Tab. 9) den analytisch ermittelten Tongehalten gegenüber, so findet sich bei den flachen

Braunerden keine nennenswerte Profildifferenzierung in der Tonbilanz (Tab. 11). Bei den Terra fusca-Parabraunerden ist in den Al-Horizonten ein rechnerisches Defizit im Tongehalt vorhanden. In dem gezeigten Beispiel (Tab. 12) findet sich der Ton rechnerisch in den Tv-Bt-Horizonten. Es soll aber nicht verschwiegen werden, dass der Tongehalt in Tv-Bt-Horizonten anderer Profile rechnerisch zu gering ausfällt. Darüber hinaus fällt auch auf, dass in Tv-Bt-Horizonten Tongehalte >60 % festgestellt werden. Diese sind höher als die Tongehalte der reinen Lösungsrückstände (Thöle u. Meyer 1979, Fier 2012). Zusammenfassend ist damit festzustellen, dass die hohen Tongehalte der Böden durch die Lösung der kalksteinbürtigen Bestandteile in der Hauptlage zu erklären sind. Der Tongehaltanstieg im unteren Teil der Hauptlage ist zum großen Teil mit der Tonverlagerung zu erklären.

**Tab. 11:** Abschätzung der Mischungsverhältnisse von Löss und Lösungsrückstand (res) auf Grundlage des Schluffquotienten und abgeleiteter Größen wie anteilige Tongehalte bei einer Terra fusca-Braunerde

BOTYP	Tiefe [cm]	HORIZ	Tongehalt		Anteile [%]		Tonanteil [%]		Ton Gesamt	res >2 µm	Differenz Analyse / Modell
			Analyse [%]	UQ	Löss	res	Löss	res			
Terra fusca-Braunerde	4	Ah	51,9	0,9	36	64	9	38	47	26	5
	8	Bv	52,2	0,9	36	64	9	38	47	26	5
	14	Bv	52,8	1,0	40	60	10	36	46	24	7
	20	Tv-Bv	41,4	0,5	20	80	5	48	53	32	<u>-12</u>
	36	Cv	57,2	0,8	32	68	8	41	49	27	8

**Tab. 12:** Abschätzung der Mischungsverhältnisse von Löss und Lösungsrückstand (res) auf Grundlage des Schluffquotienten und abgeleiteter Größen wie anteilige Tongehalte bei einer Terra fusca-Parabraunerde

BOTYP	Tiefe [cm]	HORIZ	Tongehalt		Anteile [%]		Tonanteil [%]		Ton Gesamt	res >2 µm	Differenz Analyse / Modell
			Analyse [%]	UQ	Löss	res	Löss	res			
Terra fusca-Parabraunerde	3	Ah	28,3	1,4	56	44	14	26	40	18	<b>-12</b>
	8	Al-Ah	28,8	1,3	52	48	13	29	42	19	<b>-13</b>
	13	Al	27,9	1,4	56	44	14	26	40	18	<b>-13</b>
	20	Al	27,4	1,4	56	44	14	26	40	18	<b>-13</b>
	25	Al	31,9	1,4	56	44	14	26	40	18	<b>-9</b>
	30	Bt	49	1,2	48	52	12	31	43	21	<b>6</b>
	35	T-Cv	65,9	1	40	60	10	36	46	24	<b>20</b>
	40	T-Cv	76,7	0,7	28	72	7	43	50	29	<b>27</b>
	45	Cv	55,6	0,5	20	80	5	48	53	32	<b>3</b>
	60	Cv	60,2	0,3	12	88	3	53	56	35	<b>4</b>

Das hier dargestellte Verständnis der Böden im Göttinger Wald fußt darauf, dass diese in der primär carbonathaltigen und ca. 30 bis 40 % mächtigeren Hauptlage entstanden sind. Weder die alten Arbeiten aus Göttingen (Scheffer u. Meyer 1959, Scheffer, Welte u. Meyer 1960, 1962, Thöle u. Meyer 1979) noch Fier (2012) berücksichtigen diese Möglichkeit. Rohdenburg u. Meyer (1968) schließen die Deckschuttgenese nach Semmel (1962, 1968) explizit aus, sehen die Böden allerdings durch den Nachweis von Laacher See-Tuff als holozäne Bildung.

Die Möglichkeit der Profildifferenzierung durch Tonverlagerung (Brunnacker 1958) wird von Rohdenburg u. Meyer (1968) bei den insgesamt hohen Tongehalten als vernachlässigbar beschrieben.

Fier (2012) kommt aufgrund eines relativen rechnerischen Tonüberschusses zu dem Ergebnis, dass ältere Residualtone beteiligt sein müssen. Eine Erklärung für die zu Fier (2012) abweichenden Ergebnisse liegt wohl darin, dass Fier (2012) bei der Hauptlage den aus der Jüngeren Tundrenzeit übernommenen carbonathaltigen Zustand bzw. das größere Volumen bei den Mengenerrechnungen nicht berücksichtigte und die Bodenbildungszeit mit 14.500 Jahren zu lang ansetzte.

Die Einbeziehung primär carbonatgrusführender Hauptlagen und die Einbeziehung mikromorphologischer Befunde (Fier 2012) eröffnen

neue Blicke auf die Böden und deren Ansprache. Die Einstufung erfolgt dann im Wesentlichen auf Grundlage der Tongehalte. Damit entsprechen viele Kalksteinstandorte einer Terra fusca-Definition im Hauptbodentyp. Diese würde dann wohl ohne Berücksichtigung weiterer Kriterien und ohne klare Vorstellung über die pedogenen Prozesse angewendet.

Die Terra fusca bzw. die Tv-Horizonte werden diskutiert, da mit hoher Stetigkeit an der Untergrenze der Hauptlage ein tonreicher, rotbrauner Horizont zu finden ist. Diese Lage, die vorhandenen Residualtone und die Braunfärbung legen Terra fusca nahe. Hier stellt sich die Frage, ob diese Kriterien als Alleinstellungsmerkmal des Tv-Horizontes ausreichen.

Es wurde dargestellt, dass die Tv-Horizonte nicht aus der Lösung des anstehenden Kalksteins oder der Basislagen hervorgehen und der nach unten zunehmende Tongehalt nur bedingt mit dem Lösungsrückstand aus dem Liegenden zu tun hat.

Die Kriterien zur Ausweisung von Tv-Horizonten sind entweder ungenau, oder sie werden in Abweichung zur Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005) gehandhabt. Eine isolierte Absenkung der Tongehaltsgrenze auf >45 % (Fier 2012) für die Terra fusca-Ansprache wird als wenig zielführend angesehen, solange nicht die grundsätzliche Genese und weitere pedogene Merkmale beschrieben sind.



Eine Klärung dieser genetischen Fragen wäre z. B. auch bei der Verwendung eines länderübergreifenden Kartenwerks wie der BÜK200 hilfreich. Bei der Beurteilung angewandter Fragen (z. B. Schwermetallgehalte oder Hintergrundwerte) kann diese Kenntnis nützlich sein.

Die großen Spannen der Tongehalte bei gleichem Mischungsverhältnis, die Geländebeobachtungen und die Dünnschliffauswertungen zeigen, dass die Prozesse der Tonverlagerung bei der Bodengenese unbedingt berücksichtigt werden müssen (s. u.).

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte sind die oberflächennahen Böden primär als Braunerden oder Parabraunerden anzusprechen. Bestenfalls wäre von einer beginnenden Terra fusca-Bildung zu sprechen. Zur Abgrenzung und Charakterisierung dieser verbreiteten Böden aus Hauptlagen könnten sie als Terra fusca-Braunerde oder Terra fusca-Parabraunerde angesprochen werden. Hierzu wären allerdings weitere kartiertechnisch brauchbare Kriterien zur Absicherung wie Farben und analytisch erfassbare Parameter notwendig (s. u.).

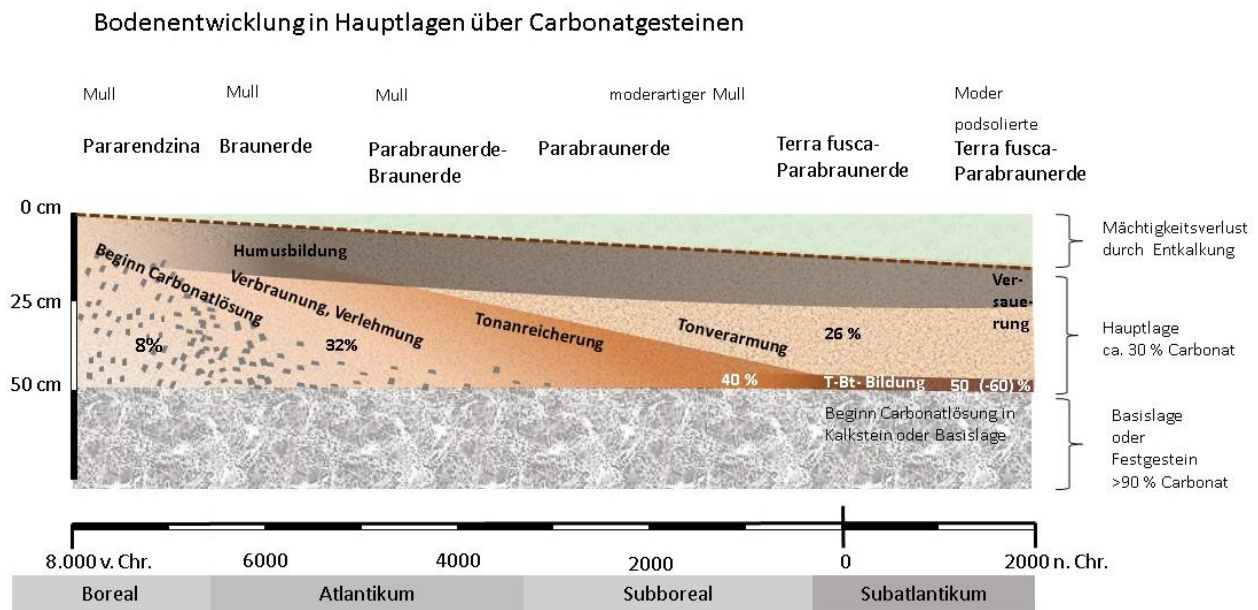
### **Genese der oberflächennahen tonreichen Horizonte und Böden**

Wie festgestellt, ergeben sich keine Merkmale oder Kennwerte, die es erlauben, die oberflächennahen Böden direkt mit den reliktschen Terra fuscen zu korrelieren. Daraus ergibt sich folgende Bodenentwicklung (Abb. 20):

1. Die Bodenbildung beginnt im Holozän in der Hauptlage nach der Jüngerer Tundrenzeit. Die Hauptlage im Göttinger Wald ist ein lockereres Mischsediment aus Löss und Schutt des Muschelkalks und ca. 30 %  $\text{CaCO}_3$ .
2. Die Kalklösung im Holozän führte zur relativen Anreicherung von Lösungsrückstand. Dies ist für Hauptlagen in Kalk- und Dolomitgesteinsgebieten ein Alleinstellungsmerkmal. Mengenberechnungen müssen dies berücksichtigen und entsprechend angepasst werden.
3. Holozäne Kalklösung findet damit zunächst in der Hauptlage statt. Um 30–40 % Carbonat in der Hauptlage zu lösen, werden auch

in Kenntnis des trockeneren und wärmeren Boreals und Atlantikums etwa 2/3 des Holozäns gebraucht. Die Lösung der liegenden Kalksteine begann damit frühestens mit dem Subboreal oder Subatlantikum.

4. Die hohen Tongehalte erklären sich aus der Mischung von Kalksteinersatz und Löss in der Hauptlage, durch die Entcarbonatisierung und Verlehmung. Sie korrelieren im Grundsatz mit den Schluffquotienten.
5. Die Profildifferenzierung in mächtigeren Hauptlagen ist auf die Tonverlagerung zurückzuführen, die im Dünnschliff nachzuweisen ist. Die Lessivierung wird wahrscheinlich auch erst mit dem Subboreal oder Subatlantikum einsetzen. Die hohen Tongehalte an der Grenzfläche zum Kalkstein wären durch den abrupten Abstieg der pH-Werte in diesem Bereich (wandernde Tonkolloide müssen hier ausflocken) und die Lösungsrückstände aus den liegenden Kalksteinen ab dem Subatlantikum gut zu erklären.



**Abb. 20:** Entwicklung der Terra fusca-Parabraunerden im Göttinger Wald und in Südniedersachsen in Bodenprofilen mit Hauptlage über Kalkgesteinen

### Kartierfähige Kriterien

In Hinblick auf die bodenkundliche Landesaufnahme ist es notwendig, eindeutige Kriterien für die Feldansprache und Beprobung festzulegen. Nach den vorstehenden Ausführungen stellt sich die Frage, wie in Bezug auf die Böden aus carbonatschuttführenden Deckschichten die Terra fusca als Bodentyp zur Anwendung kommt. Die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden 2005) kennt eine Reihe von Kriterien zur Abgrenzung und Definition von Haupt- und Nebenhorizonten und die Überführung zu Bodentypen und Subtypen. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang die Farbe, der Ton- und Humusgehalt, Merkmale der Tonverlagerung und die Mächtigkeit der Horizonte.

Eine systematische Anwendung sollte die Gesamtheit der möglichen Ausprägungen abdecken, damit nicht verschiedene Ausprägungen letztlich gleich benannt werden. Der T-Horizont ist in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005) als Horizont aus Carbonatgestein (meist reliktsch oder fossil) mit >65 % Tongehalt in Übergangs-T-Horizonten infolge Lössbeimischung mit 45–65 % Tongehalt, mit Polyedergefüge und carbonatfrei beschrieben. Der Tv-Horizont soll dabei nicht röter als 5YR sein.

Im Grundsatz ist damit klar, dass die tonreichen Horizonte im Göttinger Wald bestenfalls Übergangshorizonte sein können, da die Tongehalte unter 65 % liegen und in der Hauptlage entwickelt sind. Eine Ausweisung der Böden im Göttinger Wald als reine Terra fusca ist damit ausgeschlossen. Eine Festlegung in Bezug auf die Stellung der T-Horizonte als Haupt- oder Nebenhorizont besteht nicht.

Für die Kartierpraxis scheint eine weitergehende Spezifizierung der Kriterien angebracht. In Tabelle 13 ist die Umsetzung der Kriterien im LBEG beschrieben. Das Schema (Abb. 21) zeigt die Bodenformen-Reihe bei zunehmender Mächtigkeit der Hauptlage bzw. des Lössanteils in der Hauptlage mit den typischen Farben (nach Standard Soil Colour Charts) und Bodenarten.

Mit den Definitionen werden die mächtigen, meist reliktschen Terra-Böden eindeutig von den Terra-Übergangsbildungen in den Hauptlagen getrennt. Probleme mit den bestehenden Definitionen ergeben sich bei den Tongehalten. Tongehalte >65 % werden auch im reinen Lösungsrückstand nur bei einigen Gesteinen erreicht. Deshalb ist hier eine Öffnungsklausel notwendig. Reine Terra-Horizonte mit Tonge-

halten >45 % sind möglich, wenn der Lösungsrückstand nur 45 bis 65 % Tongehalt hat und die anderen Kriterien erfüllt werden. Reine Terra-Haupthorizonte sollten eine Mächtigkeit von 20 cm überschreiten. Bei den Terra-Horizonten in lössigen Deckschichten sind Tongehalte größer 35 % als sinnvoll anzusehen, da hier die Anteile der Lösungsrückstände deutlich werden (>30 %).

Die tonreichen Horizonte mit der rötlichbraunen Farbe (7.5YR5/6) an der Grenzfläche des Löss zum Kalkstein, die häufig als Tv-Horizont bezeichnet werden (Anders et al. 1985, Fiedler 1991, Fier 2012), haben einen intensiveren Farbton als normale Bt-Horizonte und sind mit Tongehalten >35 % von diesen zu trennen. Diese Horizonte treten nach den bisherigen Be-

obachtungen in Südniedersachsen nur in Zusammenhang mit der Hauptlage auf (vgl. auch Brunnacker 1958). Die genauere makro- und mikroskopische Betrachtung zeigt, dass in diesem Horizont grobe Röhren und Nadelstichporen mit Ton gefüllt sind. Die Oberflächen haben deutliche Tonbeläge, sodass der Bt-Charakter nicht infrage steht. Andererseits enthält der Horizont Lösungsrückstände und befindet sich im Grenzbereich zum liegenden Kalkstein, sodass ein guter Teil der Tongehalte aus dem Lösungsrückstand zu erklären ist. Der Horizont ist aber weder formal noch genetisch mit den reinen Tv-Horizonten (AG Boden 2005) gleichzusetzen. Aus diesen Überlegungen wird bei denjenigen Horizonten mit erhöhten Tongehalten und Farbwerten von 7.5YR5-6/6-8 der Übergangshorizont Tv-Bt verwendet. Bei Steingehalten >75 % wird der Horizont Tv-Bt-Cv genannt.

**Tab. 13:** Kartierkriterien Terra fusca und Übergangsbildungen in lössreicheren Deckschichten

Stellung Horizont-symbol	Horizont	Farbe	Tiefe	Tongehalt	Gefüge	Tonbeläge	Mächtigkeit	Weitere Kriterien
Haupthorizont	Tu	<b>2.5YR und rötter</b>		(45)* - >65 %	Subpolyeder- bis Kittgefüge, gleichmäßige Verteilung der Kornfraktionen im Dünnschliff, Gefügestörungen häufig	i. d. R. keine Tonbeläge (<2 % Flächenanteile im Dünnschliff)	>20 cm	Lössbestandteile <30 % Lösungsrückstand >80 %; *bei Tongehalten im Lösungsrückstand 45-65 %
	Tv	<b>7.5YR-5YR</b>		(45)* - >65 %			>20 cm	
		Value 5-6 Chroma 6-8						
Nebenhorizont	Tv-	5YR-7.5YR	Zwischen 5 und 15 cm Tiefe	35-65 %	Kohärent-Kitt-(Subpolyeder-)Gefüge, gleichmäßige Verteilung der Kornfraktionen im Dünnschliff, einzelne tonreiche Gefügebruchstücke möglich	i. d. R. keine Tonbeläge (<5 % Flächenanteile im Dünnschliff)	>2 - 20 cm	Lössanteil <70 % Anteil Lösungsrückstand 30-80 %
		Value 5-6						
		Chroma 6-8						
	Ah-Tv-Bv	<b>5YR-7.5YR</b>	Zwischen 5 und 15 cm Tiefe	35-65 %	Kohärent-Kitt-(Subpolyeder-)Gefüge, gleichmäßige Verteilung der Kornfraktionen im Dünnschliff, einzelne tonreiche Gefügebruchstücke möglich	i. d. R. keine Tonbeläge (<5 % Flächenanteile im Dünnschliff)	>2 - 20 cm	Lössanteil <70 % Anteil Lösungsrückstand 30-80 %
		Value 3-4 Chroma 4-						
	Tv-Bv	<b>5YR-7.5YR</b>	Zwischen 5 und 15 cm Tiefe	35-65 %	Kohärent-Kitt-(Subpolyeder-)Gefüge, gleichmäßige Verteilung der Kornfraktionen im Dünnschliff, einzelne tonreiche Gefügebruchstücke möglich	i. d. R. keine Tonbeläge (<5 % Flächenanteile im Dünnschliff)	>2 - 20 cm	Lössanteil <70 % Anteil Lösungsrückstand 30-80 %
		Value 5-6						
		Chroma 4-6						
	Tv-Bt	<b>5YR-7.5YR</b>	Zwischen 5 und 15 cm Tiefe	45-65 %	Subpolyedergefüge, Gefügestörungen möglich	Tonbeläge deutlich vorhanden (>5 % im Dünnschliff)	>2 - 20 cm	Lössanteil <70 % Anteil Lösungsrückstand 30-80 %
		Value 3-4						
Chroma 4-6								





**Tab. 15:** Mittelwerte ausgewählter Schwermetalle der Böden im Göttinger Wald

HORIZONT	n	Co	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zr
		mg/kg (Königswasseraufschluss)							mg/kg (RFA)	
Bv	38	10,0	19	42	855	28,5	61	90	<b>4,9</b>	470
Tv-Bt	119	10,0	20	47	670	33	50	82	<b>5,3</b>	509
Tv-Bt-Cv	70	9,5	20	36	585	28	53	70	<b>4,7</b>	379
Cv	7	6,0	16	26	440	17	60	51	<b>3,5</b>	273

**Tab. 16:** Mittelwerte ausgewählter Schwermetalle der Böden im Göttinger Wald

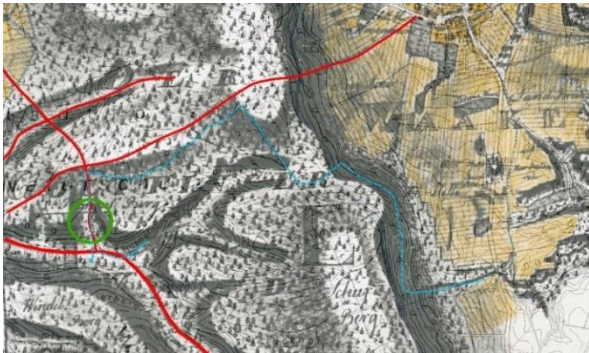
Gruppe	GEOGE	HORIZ	Anzahl	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
				mg/kg (Flusssäureaufschluss)							
1.1	LH	Ah	13	11	20	<b>2,7</b>	36	1290	26	90	142
1.2	LH	Bv	7	12	17	<b>2,7</b>	40	1060	28	71	121
1.3	LH	Tv-Bv	6	10	21	<b>3,2</b>	44	950	27		
2.1	LH	Ah	17	10	12	<b>1,8</b>	22	640	17	78	85
2.2	LH	Al	24	10	11	<b>2,0</b>	23	515	17	52	74
2.3	LH	Bt	16	11	17,5	<b>3,1</b>	30	565	29	47	75
2.4	LH	Tv-Bt	10	11	26	<b>3,5</b>	38	694	36	49	82
2.5	LM	Al	2	9	10	<b>1,9</b>	21	530	16	44	63
3.1	LB	Tv-Cv	11	13	22	<b>3,3</b>	34	650	37	55	81
3.2	LB	Cv	7	14	24	<b>4,4</b>	38	810	43	62	128

#### 4. Historische alte Waldstandorte und anthropogen überprägte Böden

Unterhalb der Lehmkuhle treten neben den natürlichen Böden stärker durch den Menschen geprägte Standorte auf. An den Unterhängen und Talrändern finden sich verbreitet Ackerterrassen. Während die inneren Talsohlen wie die Hochflächen die Bodengesellschaften der Braunerden und Terra fusca-Parabraunerden zeigen, finden sich mit dem Auftreten der Altacker Spuren in den Tälern humose Kolluvien. Flurnamen wie Seckborngrund zeigen, dass in diesen Bereichen auch Quellen (Born) auftreten und die Täler zumindest im Frühjahr Wasser führen. Bodenkundlich wird dies durch sekundäre Kalkausfällungen (Quellkalke, Travertin) belegt. Die Siedlungsrelikte sind wohl im Zusammenhang mit der Siedlung Omborn entstanden.

Omborn wurde vergleichsweise spät im Mittelalter von Herberhausen aus besiedelt und wurde schon früh nach seiner Zerstörung 1387 aufgegeben. Weite Teile des Göttinger Waldes blieben siedlungsfrei. Wahrscheinlich ist jedoch eine Nutzung als Waldhude. Der Holzbedarf dürfte ab dem Mittelalter auch aus dem Göttinger Wald gedeckt worden sein. Im Hochmittelalter (1347) ging der Göttinger Wald in den Besitz der Stadt. Im ausgehenden 14. Jh. fiel somit nicht nur die Siedlung Omborn wüst, auch der Göttinger Wald wurde extensiver genutzt (Deppe u. Troe 1956). Mit Beginn der Industrialisierung wurde die Nieder- und Mittelwaldwirtschaft eingestellt. Das Waldbild der heute weit verbreiteten Hochwaldbestände geht auf diese Phase zurück (Deppe u. Troe 1956). Eine verlässliche Quelle für die Verbreitung der Altackerfluren im Göttinger Wald ist nicht zugänglich. In der Karte der historischen Landesaufnahme

(Kurhannoversche Karte) ist das alte Wegenetz erkennbar (Abb. 22). Am Exkursionspunkt 6 wird ein erhaltener alter Hohlweg mit einem Profilschnitt geöffnet. Die Profilbeschreibungen und ggf. Analysendaten werden zur Exkursion verteilt. Am Exkursionspunkt 7 werden Beispiele der Ackerterrassen vorgestellt. Bodenprofile können leider im Bereich der Ackerterrassen nicht direkt vorgestellt werden, da die Parzelle inzwischen zum Naturwald erklärt wurde. Ein vergleichbares Bodenprofil konnte 200 m weiter talaufwärts gefunden werden.



**Abb. 22:** Historisches Wegenetz in der Kurhannoverschen Landesaufnahme im Göttinger Wald (rot), braun Altackerflächen, mit Schraffen markiert die Hänge im Wald, blau die Exkursionsroute. Der grüne Kreis markiert den Exkursionspunkt Hohlweg. Die Wüstung der Siedlung Omborn liegt etwas weiter westlich.

### Historisch alte Waldstandorte

In den letzten Jahren gewinnen „historisch alte Waldstandorte“ zunehmend an Bedeutung. Sie sind besonders in den Wäldern zu finden, die früher als herrschaftliche Jagdreviere dienten und daher mehr oder weniger durchgehend bewaldet gewesen sind (Kelm u. Sturm 1988). Im Allgemeinen wird von einer artenreicheren Fauna und Flora ausgegangen. Auch und insbesondere die walddtypischen Mykorrhiza und andere Pilze (Winter, Lüderitz u. Rzanny 2015) werden in diesem Zusammenhang hervorgehoben, da sie für das Baumwachstum von erheblicher Bedeutung sind. Definiert sind historisch alte Wälder als wenigstens 200 bis viele Hundert Jahre ununterbrochen mit weitgehend naturnahen Baumarten bestandene Flächen (Wulf 1994, Schulz 2004).

Bodenkundlich werden mit historisch alten Waldstandorten naturnahe humusreiche Böden assoziiert (Buczko 2014). Bei Betrachtung der vorgestellten Böden im Göttinger Wald sind die Kriterien der Naturnähe genauer zu betrachten. Für die Standorte 1–5 kann dieses Attribut durchaus akzeptiert werden. Die Pelosol-Braunerde ist unter einem naturnahen Waldbestand nicht erodiert. Auch die krautige Vegetation mit verbreiteten *Allium ursinum*-Beständen passt in dieses Bild. Bohrungen in benachbarten Grünland- und Ackerstandorten mit fehlender Hauptlage und Wölbäckern bestätigen dies. Die Pararendzina am Standort 2 ist aufgrund der Hangdynamik wahrscheinlich nie in anderer Nutzung gewesen. Allerdings ist der Boden auch aufgrund der Hangdynamik sehr jung.

Die Exkursionsstandorte 4 und 5 dürften tatsächlich die im Holozän weitgehend ungestörte Bodenentwicklung zeigen. Die Holzkohlen zeigen allerdings an, dass entweder natürliche oder anthropogene Brände vorhanden waren. Eine tiefgreifende Versauerung der Böden ist aufgrund der hochanstehenden Kalksubstrate ausgeblieben. Lediglich auf mächtigeren Lössen sind deutliche Versauerungen und flache Podsolierungen nachweisbar. Diese können möglicherweise durch anthropogen induzierte Säureeinträge verursacht sein.

Die Standorte 6, 7 und 8 sind definitiv durch den wirtschaftenden Menschen bodenkundlich stark beeinflusst. Diese Beeinflussungen liegen allerdings schon über 600 Jahre zurück. Insbesondere auf dem Altackerstandort sind erhebliche C-Vorräte im Boden vorhanden. Weitergehende Untersuchungen zum Themenkomplex Kohlenstoffgehalte und -bilanzen liegen bei Jörgensen (1983) und Anders et al. (1985) vor. Untersuchungen zur Bodenfauna und zur Mykorrhiza an den genannten Standorten liegen nicht vor.

Diese kurzen Ausführungen zeigen, dass bei der Beurteilung historisch alter Waldstandorte aus bodenkundlicher Sicht viele Fragen offen sind.

## Exkursionspunkt 6: Hohlweg (Profildaten werden auf der Exkursion verteilt)

### Standortbeschreibung

Lage: TK25: 4426 Ebergötzen  
LK Göttingen, Göttinger Wald  
Koordinaten: RW: 32570933, HW: 5710958 (ETRS89/UTM32)  
Höhe: 341 m ü. NN  
Position, Neigung: Hangdelle, mittel schwach geneigt (N2.2)  
Nutzung: Forst, Laubwald  
Humusform: F-Mull

## Exkursionspunkt 7: Ackerterrassen - Kolluvium

### Standortbeschreibung

Lage: TK25: 4426 Ebergötzen  
LK Göttingen, Göttinger Wald  
Koordinaten: RW: 32571239, HW: 5710758 (ETRS89/UTM32)  
Höhe: 321 m ü. NN  
Position, Neigung: Unterhang, 12 %, schwach geneigt (N2)  
Nutzung: Forst, Laubwald  
Humusform: F-Mull

**Profilbeschreibung** von Profilnummer (PRONUM): Aufnahmejahr: 2016

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
L	-2	Laubstreu, schwach zersetzt
Ah	10	Auftrag, sehr schwach grusiger, stark toniger Schluff (Ut4, Gr1), stark humos (h4), schwarz (10YR2/1), schwach kalkhaltig (c2), Krümelgefüge, sehr geringe Lagerungsdichte (Ld1), schwach durchwurzelt (w2)
Ah	25	Auftrag, grusiger, stark toniger Schluff (Ut4, Gr3), stark humos (h4), sehr dunkel braungrau (10YR3/2), schwach kalkhaltig (c2), Subpolyeder- bis Krümelgefüge, geringe Lagerungsdichte (Ld2), stark durchwurzelt (w4)
M	45	Auftrag, schwach grusiger, stark toniger Schluff (Ut4, Gr2), mittel humos (h3), dunkel braungrau (10YR4/2), kalkhaltig (c3), Subpolyeder- bis Krümelgefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3), mittel durchwurzelt (w3)
M	75	Auftrag, sehr schwach grusiger, stark toniger Schluff (Ut4, Gr1), schwach humos (h2), dunkel graustichig braun (10YR4/4), kalkhaltig (c3), Subpolyeder- bis Kohärengefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3), schwach durchwurzelt (w2)
Bv	90	Hauptlage stark toniger Schluff (Ut4), sehr schwach humos (h1), dunkel braun (10YR4/6)
Cv	130	Basislage Grus (Gr), durchsetzt mit 10 % schwach schluffigem Ton (Tu2), olivstichig schwarz (2.5Y2.5/1), humusfrei (h0), extrem carbonatreich (c6)

**Bodentyp:** KA5: Kolluvium (YK)  
 LBEG: Mittleres Kolluvium (K3)  
 WRB (2014): Calcaric Cambic Chernic Phaeozem (Colluvic, Endoraptic, Siltic, Escalic)

**Ausgangsgestein:** Auftrag über Muschelkalkverwitterungston

**Substrattyp:** Kolluvialschluff (aus Lösslehm) über Kolluvial-Carbonatschluff (aus Muschelkalkverwitterung und Lösslehm) über tiefem kryoturbatem Carbonatgrus (aus Muschelkalkverwitterung) (u-u(Lol)/u-eu(<sup>k</sup>(mu),Lol)//pky-ez(<sup>k</sup>(mu))

## 5. Soil and Landscape Evolution Model (SaLEM) – ein GIS-Modell zur Simulation von Regolith als Ausgangsmaterial der Bodenbildung

Am letzten Exkursionspunkt steht weniger der Boden im Fokus, sondern es sind vielmehr die periglaziären Füllungen in den Trockentälern. Seit einigen Jahren wird von einer Arbeitsgruppe der Universität Hamburg (Prof. J. Böhner u. a.) versucht, die Bildung, Mächtigkeit und Verbreitung dieser periglaziären Ablagerungen zu modellieren. Dazu zunächst die folgenden Ausführungen:

Die Eigenschaften des Regolith (in Mitteleuropa von herausragender Bedeutung sind dabei periglaziäre Lagen, in deutscher Literatur traditionell „Deckschichten“ genannt) spielen für den Wasser- und Stoffhaushalt auf Landschaftsebene in weiten Gebieten im Bergland der Bundesrepublik Deutschland eine bestimmende Rolle. Hingegen ist die Datenlage für diese Substrate in der Fläche eher ungenügend: Diese Lagen, differenziert nach gesteinsabhängigen Verwitterungs- sowie Verlagerungsprozessen sowie der Menge und Art des äolisch eingetragenen allochthonen Materials, weichen wesentlich von den in geologischen Karten verzeichneten Gesteinen ab, da in kleinmaßstäbigen geologischen Karten die obersten zwei Meter i. d. R. nicht beschrieben werden. In Bodenkarten dagegen wird der Schwerpunkt der räumlichen Differenzierung auf die Verbreitung von Bodentypen gelegt, was i. d. R. ebenfalls nicht zur räumlichen Identifikation von Regolith und dessen Eigenschaften benutzt werden kann.

SaLEM ist konzipiert, um diese Datenlücke zwischen Ausgangsgestein und Bodentyp, in der das Ausgangsmaterial der Bodenbildung steckt, zu schließen. SaLEM basiert auf GOLEM (Tukker u. Slingerland 1997), einem sog. Landscape

Evolution Model, das Einschneidung, orogenetische Hebung und Abtragung über lange geologische Zeiträume simuliert. Der Quelltext dieses Modells wurde mit Genehmigung des Autors an die hier behandelte Fragestellung angepasst und als Modul für die freie und quelltextoffene GIS-Software SAGA (Conrad et al. 2015) realisiert.

Als ein Simulationsmodell berücksichtigt SaLEM eine Vielzahl, doch nicht alle Prozesse, deren Zusammenspiel zur Bildung des Regoliths führt: Entlang einer Zeitreihe werden Verwitterung, Abtrag, Fremdmaterialeintrag, Transport und Ablagerung für verschiedene Gesteinstypen simuliert. Die Daten der lithologischen Schichten werden mit SaLEM aus einem geologischen Modell abgeleitet und in Form von Rasterdaten zu Mächtigkeit und Verbreitung zur Verfügung gestellt. Die dann simulierten Prozesse werden von Paläoklimadaten angetrieben, die aus Eisbohrkernanalysen und Reanalysedaten heutiger Periglazialgebiete gewonnen werden. Als Kulisse der Prozessinteraktion dient ein Digitales Gelände Modell (DGM). Dieses bildet zwar nur das heutige Relief ab, aufgrund der kurzen geologischen Zeit der Simulation wird diese Einschränkung aber als nicht gravierend angesehen und in Kauf genommen.

Für das Blatt Ebergötzen wurde eine Simulation für die letzten 50.000 Jahre durchgeführt. Da für die hier anstehenden Gesteine des Unteren Muschelkalks (Kalkstein), Oberen Buntsandsteins (Ton- und Siltstein des Röth) und Mittleren Buntsandsteins (Sandstein der Sollingformation) keine gesteinspezifischen Indizes für die verwendeten Verwitterungsgleichungen verfügbar waren, wurden diese basierend auf Gehrt



(2008) geschätzt. Der Eintrag allochthonen Materials wurde mithilfe von Akkumulationsraten nach Frechen et al. (2003) räumlich differenziert nach Luv- und Lee-Lagen angenommen. Die zeitlich dynamische Simulation berechnet aus diesen Eingangsdaten für jeden Zeitschritt (Monat) Verwitterung und Loslösung von Material und Einwehung von Fremdmaterial. Die Geländeform, repräsentiert im DGM, gibt dann vor, ob das entstandene Lockermaterial hangabwärts transportiert wird oder am Ort verbleibt. Der nächste Zeitschritt findet dann bereits geänderte Bedingungen vor, die je nach Situation entweder zu weiterer Verwitterung, Ablösung und Abtransport führen oder die Verwitterungsrate herabsetzen, weil sich bereits ein schützender Mantel aus Lockermaterial über dem Festgestein befindet. Aus Gründen der Rechenleistung werden im Moment die Monatszeitschritte mit einem Faktor (100) zu einem großen Zeitschritt verrechnet, und erst danach wird wieder

mit dann neuen Klimadaten die Simulation fortgesetzt.

Die Ergebnisse für Ebergötzen zeigen ein räumlich differenziertes Bild der Mächtigkeit der Regolithdecke. Eigenschaften des Regoliths werden bisher nur in Form von Herkunft und Transportdauer abgebildet. Eine systematische Validierung der simulierten Regolithmächtigkeit mit vorhandenen Daten erwies sich bisher allerdings als schwierig. Um eine Datenbasis für eine solche Analyse zu schaffen, wurden mithilfe des LBEG Tiefbohrungen auf Blatt Ebergötzen durchgeführt, die im Rahmen verschiedener studentischer Abschlussarbeiten der Universität Hamburg ausgewertet wurden. Einzelne Funde in den Bohrungen konnten mit den Modellergebnissen von SaLEM in Zusammenhang gebracht werden.

## Exkursionspunkt 8: Böden der Talfüllungen

### Standortbeschreibung

Lage: TK25: 4426 Ebergötzen  
LK Göttingen, Göttinger Wald  
Koordinaten: RW: 3571260; HW: 5712524 (ETRS89/UTM32)  
Höhe: 312 m ü. NN  
Position, Neigung: Talsohle schwach geneigt 6 % (N0.1)  
Nutzung: Forst, Laubwald  
Humusform: F-Mull

### Profilbeschreibung (PRONUM): 17527; Aufnahmejahr: 1989, Neubeschreibung 2016)

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
L	+2	Laubstreu, sehr schwach zersetzt
Ah	12	Abschlämmung, schwach grusiger, stark toniger Schluff (Ut4, Gr2), stark humos (h4), schwarz (10YR2/1), sehr schwach kalkhaltig (c1), Krümelgefüge, sehr geringe Lagerungsdichte (Ld2), schwach durchwurzelt (w2)
M	75	Abschlämmung, schwach grusiger, stark toniger Schluff (Ut4, Gr1), schwach z. T. mittel humos (h2, z. T. h3), sehr dunkel braungrau (10YR3/2), sehr schwach kalkhaltig (c1), Kohärent- bis Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3), schwach durchwurzelt (w2)
Bt	90	Hauptlage, schwach grusiger, stark toniger Schluff (Ut4, Gr2), mittel humos (h3), dunkel braun (10YR4/6), kalkfrei (c0), Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte (Ld3), sehr schwach durchwurzelt (w1)

**Bodentyp:** KA5: Kolluvisol (YK)  
LBEG: Mittlerer Kolluvisol über Parabraunerde (K3//L)  
WRB (2014): Eutric Cambisol (Colluvisol, Ochric, Endoraptic, Siltic) over Luvisol

**Ausgangsgestein:** Abschlammmasse über Hauptlage über Basislage

**Substrattyp:** Kolluvialschluff über tiefem periglaziärem grusführendem Schluff (u-u/p-(z)u)

### Literatur

- AG Boden 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Hannover
- Alaily F (1972): Entstehung von Decklehmen auf Lias  $\alpha$ -Schichtflächen in Südwestdeutschland und deren Veränderung durch Bodenbildung. Dissertation, Universität Hohenheim. 105 S.
- Alaily F (1984): Heterogene Ausgangsgesteine von Böden: Die Rekonstruktion und Bilanzierung von Böden aus heterogenen Ausgangsgesteinen. Habilitationsmonographie, Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 25, Berlin. 236 S. zitiert in Fier 2012
- Altermann M (1993): Gliederung von pleistozänen Lagen. Mittl. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 72
- Anders E, Becker K-W, Beese F, Benecke P, Dierschke H, Grimme K, Jörgensen R, Klages F-W, Meiwes K-J, Meyer B, Schäfer M, Ulrich B (1985): Exkursion Göttinger Wald. Mittl. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 42:143–218
- Benecke P (1982): Wasserhaushalt von Wäldern auf flachgründigen Standorten (Kalkbuchenwälder). Arbeitsberichte (1981/82) aus dem Sonderforschungsbereich 135 – Ökosysteme auf Kalkgestein – an der Georg-August-Universität Göttingen: 221–257. Materialien aus dem SFB 135
- Berger J, Breuer J, Stahr K, Fiedler S (2009): Geochemie und mikroskalige Elementverteilung in lateritischen Verwitterungsresiduen – Bohnerze. Sitzung der Kommission VII der DBG-Tagung 2009 in Bonn;

- Veranstalter DBG 5.-13.9.2009, Bonn Berichte der DBG, <http://www.dbges.de>
- Brunnacker 1957, zitiert in Rohdenburg H, Meyer B (1968): Zur Datierung und Bodengeschichte mitteleuropäischer Oberflächenböden (Schwarzerde, Parabraunerde, Kalksteinbraunlehm): Spätglazial oder Holozän? Göttinger Bodenkundliche Berichte 6: 127–12, Göttingen
- Buczko G, Jurasinski G, Köhle, S, Koch M, Glatzel S (2014): Kohlenstoffspeicherung in Abhängigkeit von der Nutzungsgeschichte in einem alten Waldstandort. *Geoöko*, Volume XXXV: 161–182, Göttingen
- Clausen C-D, Roth R (1995): Zur Ausbildung, Entstehung und Altersstellung von Karstfüllungen im Massenkalk bei Hemer (Sauerland, Rheinisches Schiefergebirge). *Geol. Paläont. Westf.* 41: 2–25, Münster
- Conrad O, Bechtel B, Bock M, Dietrich H, Fischer E, Gerlitz L, Wehberg J, Wichmann V, Böhner J (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.* 8 1991–2015
- Dahm-Arens H (1978): Überreste tertiärzeitlicher Bodenbildungen im Massenkalk des südlichen Sauerlandes. *Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf.* 28: 103–110, Krefeld
- Dahm-Arens H (1986): Die Böden des Massenkalkes von Attendorn. *Decheniana* 139: 384–394, Bonn
- Deppe A, Troe H (1956): Der Göttinger Wald und seine Umgebung. Heinz Reise-Verlag, Göttingen
- Dierschke H, Song Y (1982): Die Vegetation der Untersuchungsfläche des SFB 135 und ihrer Umgebung im Göttinger Wald. *Kurzmitteilungen aus dem Sonderforschungsbereich 135 - Ökosysteme auf Kalkgestein* 1: 3–8, Göttingen
- Dietel, J (2016): Vergleichsuntersuchung Terra rossa Terra fusca. Interner Bericht zur Tonmineralanalytik der Terra-Böden aus Kösel (2016) (unveröff.)
- Dünkel H, Vath U (1990): Ein vollständiges Profil des Muschelkalks (Mitteltrias) der Dransfelder Hochfläche, SW Göttingen (Süd-niedersachsen). *Geol. Jb. Hessen* 188: 87–126, Wiesbaden
- Ellenberg H (1982): *Vegetation in Mitteleuropa mit den Alpen*. 3. Aufl. Ulmer, Stuttgart
- Fiedler HJ, Hofmann W (1991): Bodenformen über Muschelkalk im Thüringer Becken. *Exkursionsführer Jahrestagung 1991 in Bayreuth, Mittl. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 64: 49–77, Göttingen
- Fier A (2012): Entstehung, Eigenschaften und Klassifikation tonreicher Unterbodenhorizonte in Böden auf Carbonatgestein in norddeutschen Berg- und Hügelländern. *Dissertation Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, FG Bodenkunde, Martin-Luther-Universität, Halle/S.*
- Franke W, Paul J, Schröder HG (1977): *Stratigraphie, Fazies und Tektonik im Gebiet des Leinetalgrabens <Trias, Tertiär>*. *Exkursionsführer Geotagung '77, II, Exk. I:* 41–62
- Frechen et al. (2003): Loess in Europe – mass accumulation rates during the Last Glacial Period. *Quaternary Science Reviews* 22: 1835–857
- Gehrt E (1994): Die äolischen Sedimente im Bereich der nördlichen Lößgrenze zwischen Leine und Oker und deren Einflüsse auf die Bodenentwicklung. *Dissertation Geowissenschaftlicher Fachbereich der Univ. Göttingen*
- Gehrt E (2008): *Verwitterungsresistenzen niedersächsischer Festgesteine*. (unveröff.)
- Gehrt E, Beckmann T, Dultz S, Hahn K, Hilgers A, Jarmer T, Rathgeber A, Schmidt M (1999): Böden der Lössbörde und des Berglandes. *Exkursionsführer. Jahrestagung der DBG, Mitteilungen der DBG.* 90: 249–78, Hannover
- Hempel L (1955a): Frostbodenbildung und Lößanwehung in der Würmeiszeit auf Muschelkalk und Buntsandstein bei Göttingen. *Akad. Wiss. u. Lit. Z. Mainz – Abh. Math.-Natwiss. Kl.* 1955, H. 2. 42 S. Wiesbaden
- Hempel L (1955b): Studien über Verwitterung und Formenbildung im Muschelkalkgestein. Ein Beispiel zur klimatischen Morphologie. *Göttinger geographische Abhandlungen* 18. 112 S. Göttingen (zgl. *Habil.-Schr. Universität Göttingen, Selbstverl. Geogr. Inst.*)
- Hempel L (1957): Gesteinsstruktur und klimatisch bedingte Formungstendenzen – Ihre Bedeutung für das Aussehen von Muschelkalklandschaften. *Verhdln. Dt. Geographentag* 30: 331–337, 2 Taf., 8 Abb., 2 Profile; Wiesbaden
- Hindell R, Gehrt E, Kantor W, Weidner E (1998): Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen und Daten. 1520. In: Rosenkranz D, Bachmann G, Einsele G, Harreß HM (Hrsg.) (1988): *Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser*. Berlin
- Hövelmann T, Heisle J (1991): *Standortskartierung Göttinger Wald*. (unveröff.)
- Hövermann J (1953): Die Oberflächenformen um Göttingen. *Göttinger Jb.* 1953: 63–74
- Jörgensen R (1981): Charakterisierung der organischen Substanz in Böden der bodengenetischen Morphosequenz auf Kalkgestein des Göttinger Waldes durch Kennzeichnung organischer Stoffgruppen mit Schwerpunkt auf der Analytik N-haltiger Verbindungen. *Diplomarbeit, Institut für Bodenwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen*
- Jörgensen R, Ahl R, Meyer B (1983): Qualität und Menge der organischen Substanz in der Boden-Morphosequenz Rendzina-Kalksteinbraunlehm (Terra fusca) auf dem Göttinger Muschelkalk. C- und N-Fraktionierung. - *Mitteilungen. Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft* 1983: 209–214

- Kelm H-J, Sturm K (1988): Waldgeschichte und Waldnaturschutz im Regierungsbezirk Lüneburg – Grundlagen und Ziele. Jb. Naturw. Verein Fstm. Lbg. 38: 47–82
- Knabe W (1994): Tab. 6, Schwermineralzählung Deckschichten Göttinger Wald (interner Bericht BGR)
- Kopp D (1970): Periglaziäre Umlagerungs-(Perstruktions-)zonen im norddeutschen Tiefland und ihre bodengenetische Bedeutung. Tagungsberichte der Deutschen Akademie für Landwirtschaft 102: 55–81
- Kösel M (2016): Paläoböden in quartärgeologischen Sequenzen und als Bestandteile des Solums rezenter Oberflächenböden. LGBR-Fachbericht 2016/1. 63 S. 19 Abb. 16 Fotos, 6 Tab. Freiburg i. Br.
- Lavahun C (1981): Unterer Muschelkalk und Oberer Buntsandstein am Ostrand des Göttinger Waldes zwischen Herberhausen und Mackenrode (TK 4426 Ebergötzen). Diplomarbeit Geolog.-Paläontolog. Inst. d. Georg-August-Universität Göttingen
- Meyer B, Jörgensen R, Hugenroth P, Ahl C (1985): Entwicklung und Gesellschaft der Böden aus Kalkstein im Muschelkalk-Gebiet des Göttinger Waldes. Exkursion DBG-Jahrestagung. Mittl. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 42: 435–454, Göttingen
- Nagel U, Wunderlich H-G (1969): Geologisches Blockbild der Umgebung von Göttingen. Veröff. Nds. Institut für Landeskunde u. Landesentwicklung Georg-August-Universität Göttingen. 48 S. Göttingen
- Paul J, Franke W (1977): Sedimentologie einer Transgression: Die Röt/Muschelkalk-Grenze bei Göttingen. N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 3: 148–177
- Rohdenburg H, Meyer B (1963): Rezente Mikroformung in Kalkgebieten durch inneren Abtrag und die Rolle der periglazialen Gesteinsverwitterung. Z. f. Geomorphologie N.F. 2: 120–146
- Rohdenburg H, Meyer B (1968): Zur Datierung und Bodengeschichte mitteleuropäischer Oberflächenböden (Schwarzerde, Parabraunerde, Kalksteinbraunlehm): Spätglazial oder Holozän? Göttinger Bodenkundliche Berichte 6: 127–212, Göttingen
- Roth R (1994): Deckschichten und Bodenentwicklung in lössbedeckten Kalksenken des Sauerlandes (Rheinisches Schiefergebirge), Eiszeitalter u. Gegenwart 44, 7–15. 7 Abb. Hannover
- Scheffer F, Meyer B (1959): Ein bodenkundlicher Beitrag zur Grabung im Muschelkalkgebiet des Hünstollens bei Göttingen. Göttinger Jahrbuch 1959: 3–8
- Scheffer F, Welte E, Meyer B (1960): Die Rendzinen der mitteldeutschen Berg- und Hügellandschaften (Leine-Weser-Bergland). 1. Mittlg.: Genese und Verbreitungsbedingungen der Rendzinen. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 20: 18–36
- Scheffer F, Welte E, Meyer B (1962): Die Rendzinen der mitteldeutschen Berg- und Hügellandschaften (Leine-Weser-Bergland). 2. Mittlg.: Fraktur, Nicht-carbonatgehalt und spezifische Auflösungs-geschwindigkeit des Kalkgesteins als bestimmende Größen der Bodenentwicklungsgeschwindigkeit. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 98: 1–17
- Schilling W, Wiefel H (1964): Jungpleistozäne Periglazialbildungen und ihre regionale Differenzierung in einigen Teilen Thüringens und des Harzes. Geologie 11: 428–460
- Schüller M (1967): Petrographie und Feinstratigraphie des Unteren Muschelkalkes in Südniedersachsen und Nordhessen. Sediment. Geol. 1: 353–401
- Schulz R (2004): Vom Reichtum alter Wälder. Naturmagazin Berlin-Brandenburg-Mecklenburg-Vorpommern 6
- Semmel A (1964): Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen. Notizblatt des hessischen Landesamtes für Bodenforschung 92: 275–285
- Semmel A (1968): Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. Frankfurter Geographische Hefte 45
- Stein V (1968): Stratigraphische Untersuchungen im unteren Muschelkalk Südniedersachsens. Z. deutsch. geol. Ges. 117: 819–828
- Stille H (1932): Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern. Erläuterungen zu Blatt Göttingen Nr. 2520. 3. Auflage
- Thöle R, Meyer B (1979): Bodengenetische und ökologische Analyse eines Repräsentativ-Areals der Göttinger Muschelkalk-Scholle als landschaftsökologische Planungsgrundlage. Göttinger Bodenkundl. Ber. 59: 1–230. Dissertation Institut für Bodenkunde, Georg-August-Universität, Göttingen
- Tucker GE, Slingerland R (1997): Drainage basin responses to climate change. Water Resources Research 33 (8): 2031–2047
- Ulrich B, Mayer R (1973): Systemanalyse des Bioelementhaushalts von Wald-Ökosystemen. In: Ellenberg H (Hrsg.) Ökosystemforschung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Ulrich B, Mayer R, Beese F, Meiwes K-J (1982): Stoffflüsse und Haushalt. Arbeitsberichte (1981/82) aus dem Sonderforschungsbereich 135 – Ökosysteme auf Kalkgestein – an der Georg-August-Univ. Göttingen: 299–327. Materialien aus dem SFB 135, IQ
- van Eimern J, Ehrhardt O (1984): Schriftl. Mitteilung. Inst. f. Bioklimatologie der Georg-August-Univ. Göttingen
- Winter S, Lüderitz L, Rzanny M (2015): Unterirdische Kontinuität und Pilzvielfalt alter Waldstandorte. Schweiz Z. Forstwes. 166, 2: 83–90
- Wulf M, Keim H-J (1994): Zur Bedeutung historisch alter Wälder für den Naturschutz. NNABer. 7. Jg., H. 3. 159 S. Schneverdingen



## C-03: Holzernte und Bodenschutz

Thorsten Gaertig<sup>1</sup>, Heinz-Christian Fründ<sup>2</sup>, Audrey Averdiek<sup>2</sup>, Corinna Ebeling<sup>1</sup>

<sup>1</sup> HAWK Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Büsgenweg 1a, 37077 Göttingen

<sup>2</sup> Hochschule Osnabrück, Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück

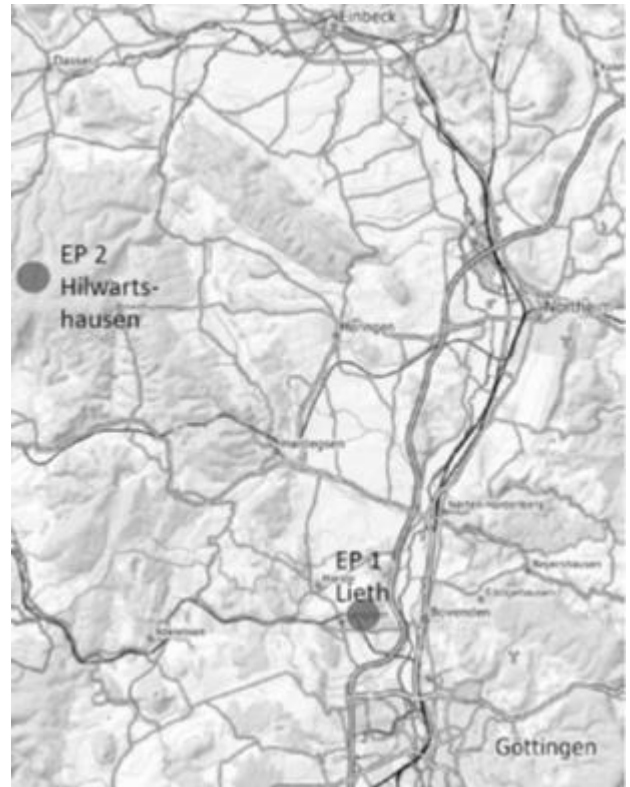
### 1. Einleitung

Das Befahren von Waldböden bewirkt Bodenschäden, die die Standortqualität nachhaltig beeinträchtigen können. Andererseits ist der Einsatz von fahrenden Forstmaschinen für eine rationelle Waldbewirtschaftung unvermeidlich. Dies führte bei den Forstverwaltungen zur Einrichtung dauerhafter Befahrungslinien („Rückegassen“) bei gleichzeitigem Ausschluss des Befahrens von der übrigen Fläche. Rückegassen, die je nach Erschließung 10–20 % der Waldfläche ausmachen, zählen nicht zu den dauerhaften Infrastruktureinrichtungen des Waldes, sondern zur produktiven Holzbodenfläche. Bei ihnen wird gegenwärtig eine Einschränkung von Bodenfunktionen in Kauf genommen.

Im Rahmen des auf fünf Jahre angelegten Forschungsschwerpunktes RÜWOLA, der gemeinsam von der HS Osnabrück und der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst bearbeitet wurde, wurden praktische und planerische Maßnahmen entwickelt, mit denen die Bodenfunktionen auf forstlichen Rückegassen nachhaltig gesichert werden können. U. a. wurde geprüft,

- ob und wie eine natürliche Regeneration von Rückegassen auf unterschiedlichen Waldstandorten erfolgt,
- ob und wie die Regeneration der Bodenstruktur durch aktive flankierende Maßnahmen initiiert, unterstützt und gefördert werden kann,
- wie Feinerschließungssysteme mit landschaftsplanerischen Bewertungsmaßstäben beurteilt und optimiert werden können.

Auf der Exkursion „Holzernte und Bodenschutz“ werden Untersuchungen des RÜWOLA-Projekts vorgestellt und Ergebnisse zu den o. g. Fragestellungen vor Ort diskutiert.



**Abb. 1:** Exkursionspunkte Lieth (EP1) und Hilwartshausen im Solling (EP2)

### 2. Veränderungen der Bodenstruktur, der Bodenmorphologie und der Waldbodenvegetation auf Rückegassen am Beispiel der Lieth (T. Gaertig u. C. Ebeling)

Thema des Exkursionspunktes 1, einem durchgewachsenen Eichen-Hainbuchen-Mittelwald auf der Lieth (Tab. 1, 2 und 3), sind die kleinstandörtlichen Veränderungen auf Rückegassen.

**Tab. 1: Standort Lieth**

Wuchsgebiet	Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland
Wuchsbezirk	Leine-Ilme-Senke
T (Jahr) / T (Veg.)	8,5 °C / 15,4 °C
N (Jahr) / N (Veg.)	666 mm / 340 mm
Geologie / Stratigrafie / Ausgangsmaterial der Bodenbildung	Quartär über Trias / Löss über Oberem Keuper
Bodentyp	Parabraunerde

**Tab. 2: Profilbeschreibung Lieth**

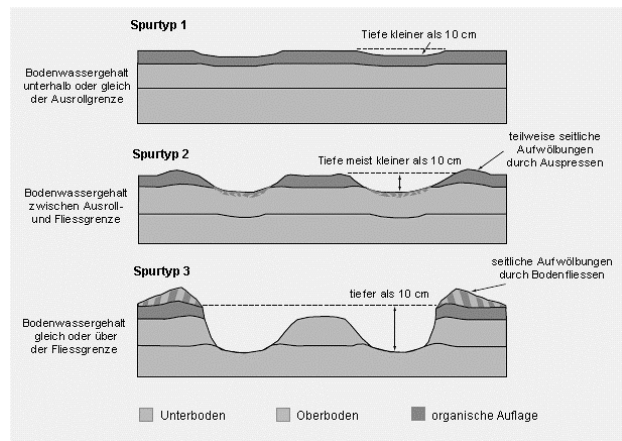
Tiefe (cm)	Horizont	Kurzcharakteristik
+6-2,3	OL	
+2,3-0,7	Of	locker
+0,7-0	Oh	krümelig, stark durchwurzelt
0-5	Ah	Ut2, LD2, W5, krümelig
5-30	Al	Ut2, LD2, W4, kohärent
30-70	II Al (Sw)	Ut3, LD4, W2, kohärent
70-110	Bt-Sw	Ut4, LD4, W1, subpolyedr.
110-150	III Cv-Sd	Tu2, LD3, W1, kohärent

**Tab. 3: pH-Werte und Humusgehalt**

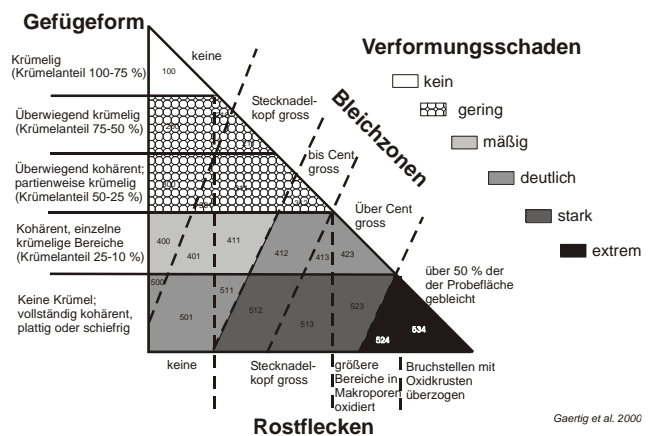
Tiefe (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	Humus
+2,3-0,7	5,43	4,47	Of
+0,7-0	4,74	4,00	Oh
0-5	4,14	3,46	stark humos
5-30	4,31	3,67	schwach humos
30-70	4,34	3,54	schwach humos
70-110	5,06	3,41	sehr schwach h.
110-150	6,32	4,82	sehr schwach h.

Auf dem befahrungsempfindlichen schluffigen Substrat können Veränderungen der Bodenstruktur anhand der Spurtypen nach Lüscher (2010) (Abb. 2), der Morphologie des Oberbodens nach Gaertig et al. (2000) (Abb. 3) und der Vegetation nach Weltecke u. Gaertig (2011) (Abb. 4) identifiziert werden. Darüber hinaus ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration des Oberbodens ein sensibler Indikator für Bodenstrukturstörungen. Die Messungen dazu werden mit einer tragbaren CO<sub>2</sub>-Sonde durchgeführt.

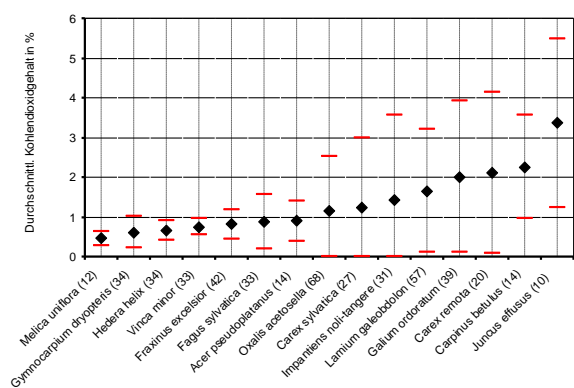
Am Exkursionsbild werden die genannten Methoden vorgestellt. Anhand der erhobenen Befunde werden die ökologische Relevanz und tolierierbare Schadensschwellen diskutiert.



**Abb. 2: Fahrspurtypen nach Lüscher (Lüscher et al. 2010)**



**Abb. 3: Dreiecksschlüssel zur feldbodenkundlichen Ansprache des Verformungsschadens (Gaertig et al. 2000).**



**Abb. 4: Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt im Wurzelraum (5 cm Bodentiefe) ausgewählter Pflanzenarten auf Lössstandorten im Göttinger Wald (Weltecke u. Gaertig 2011)**

### 3. Natürliche Regeneration von Rückegassen (T. Gaertig u. C. Ebeling)

Die natürliche Regeneration strukturgestörter Böden wird vor allem durch biologische und physikalische Prozesse gesteuert. Um eine Vorstellung von der Regenerationsfähigkeit von Böden mit unterschiedlichem Strukturbildungspotenzial bekommen, wurden in einer unechten Zeitreihe Rückegassen, die seit 10, 20, 30 und 40 Jahren nicht mehr befahren wurden, auf drei Standorten, die sich in biologischer Aktivität und Tongehalt unterscheiden, untersucht.

Ein Ausgangspunkt der unechten Zeitreihe war der Exkursionspunkt Naturwald Limker Strang, der seit 1972 nicht mehr bewirtschaftet wird (Tab. 4, 5 und 6).

**Tab. 4:** Standort Limker Strang (Lorenz et al. 2013)

Wuchsgebiet	Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland
Wuchsbezirk	Hoher Solling
T (J) / T (V) (1980–2010)	8,3 °C / 14,8 °C
N (J) / N (V) (1980–2010)	841 mm / 353 mm
Höhe über NN	410 m
Geologie / Stratigraphie / Ausgangsmaterial der Bodenbildung	Quartär über Trias / lössbeeinflusste Fließerden über Mittl. Buntsandstein
Humusform	Moder
Bodentyp	schwach podsolige Braunerde

**Tab. 5:** Profilbeschreibung Limker Strang (Lorenz et al. 2013)

Horizont	Tiefe (cm)	Beschaffenheit
OL	6,3-4,5	locker – schwach schichtig gelagerte Blattstreu
Of	4,5-2,4	vernetzt bis locker, mittel, tlw. stark durchwurzelt
Oh	2,4-0	bröckelig, mittel bis stark durchwurzelt
I Ahe	0-3,5	sIU - 7 % Grus, 3 % Steine
Bhv	3,5-14	sIU - 15 % Grus, 3 % Steine
I/II BV	14-32	sIU-sL2 - 20 % Grus, 5 % Steine
II Bv	32-60	sIS - 40 % Grus, 3 % Steine
Bv/Cv	60-95	IS - 55 % Grus, 5 % Steine

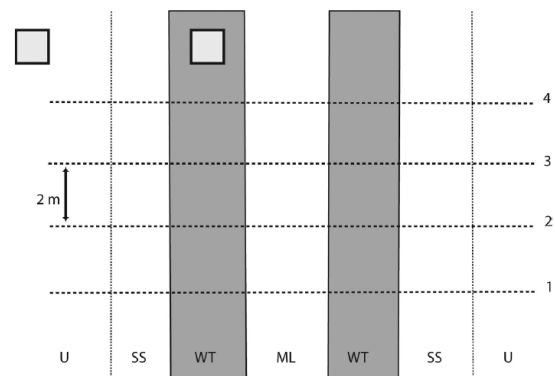
**Tab. 6:** pH, Basensättigung und eff. Austauschkapazität (Lorenz et al.2013)

Tiefe (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	BS (%)	AK
Of	4,15	3,40	-	
Oh	3,67	2,79	-	
0-5	3,73	2,86	10	44
5-10	3,83	3,08	6	40
10-90	4,15	3,52	4	108
30-60	4,54	4,02	3	133
60-90	4,44	3,96	3	227

Die noch sichtbaren Rückegassen wurden seit über 40 Jahren nicht mehr befahren.

An vier Transekten mit jeweils 31 Messpunkten quer über die Rückegasse, die jeweils die Bereiche Bestand, Fahrspur, Seitenstreifen und Mittelstreifen umfassten, wurde der feldbodenkundliche Verformungsschaden bestimmt und die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Bodenluft in 5 cm Tiefe gemessen (Abb. 5).

An einem weiteren Transekt wurden ungestörte Bodenproben in 0–5 cm Tiefe entnommen und der Gasdiffusionskoeffizient (DS/D0) bei 160 hPa mit der Kammermethode und dem Testgas Krypton sowie die Lagerungsdichte bestimmt. Für die Beurteilung der Phosphordynamik wurden an denselben Messstellen Bodenproben genommen.



**Abb. 5:** Stichprobendesign mit vier die Rückegasse querenden Transekten (U: ungestört, SS: Seitenstreifen, WT: Fahrspur). Die grauen Boxen symbolisieren die Lage der Bodenprofile (Ebeling et al. 2016)

Am Exkursionspunkt werden die Ergebnisse der unechten Zeitreihe zum Bodengashaushalt, zur Phosphordynamik und zur Morphologie des Oberbodens vorgestellt und diskutiert.

#### 4. Maßnahmen zur Förderung der Regeneration von Rückegassen (H.-C. Fründ und A. Averdiek)

In dem Teilprojekt 5 des RÜWOLA-Projekts wurden in den Jahren 2013 bis 2016 Maßnahmen zur Steigerung der Strukturregeneration des Bodens in verdichteten Fahrspuren von Rückegassen auf einer Versuchsfläche im Niedersächsischen Forstamt Dassel (Solling) untersucht. Eine Grundüberlegung zur Förderung der Strukturregeneration des Bodens ist es, die von der Bodenoberfläche ausgehenden Regenerationsprozesse (Rissbildung und Durchporung) in tiefere Bereiche des Bodens zu lenken, um auch hier einen intensiveren Austausch von Luft und Wasser zwischen Atmosphäre und Boden und eine biologische Aktivierung zu erlangen. Hierfür wurde das Konzept der Bodenperforation entwickelt.

#### Das Konzept der Bodenperforation

In den Boden der Fahrspur wurden Löcher gestanzt (26 mm Durchmesser, 20 cm tief). Dadurch sollte die verdichtete Bodenoberfläche durchbrochen werden bei einer gleichzeitigen Schonung des vorhandenen Wurzelwerks. Es wurde erwartet, dass von den künstlich geschaffenen Grobporen in Wechselwirkung mit biologischen Prozessen eine Restrukturierung des Waldbodens ausgeht (Abbildung 6). Die Löcher wurden in zwei Abstandsvarianten (50 cm und 20 cm) angelegt, was auf den Quadratmeter umgerechnet 9 Löchern/m<sup>2</sup> bzw. 21 Löchern/m<sup>2</sup> entspricht. Ein als „Aerifizieren“ bezeichnetes Verfahren mit 150 bis 400 Löchern pro m<sup>2</sup> wird zur Belüftung von Golf- und Sportrasenflächen eingesetzt.

Nach vorliegenden Kenntnissen wurde eine Adaption des Aerifizierungsverfahrens auf verdichtete Waldböden bisher nicht versucht.

#### Versuchsstandort

Der Versuchsstandort liegt im Revier Hilwarshausen (FoA Dassel) im Wuchsbezirk „Unterer Solling“. Beim Waldbestand handelt es sich um einen 35-jährigen Buchen-Reinbestand (Gerstenholz bis Stangenholz, Anteil Buche > 80 %)

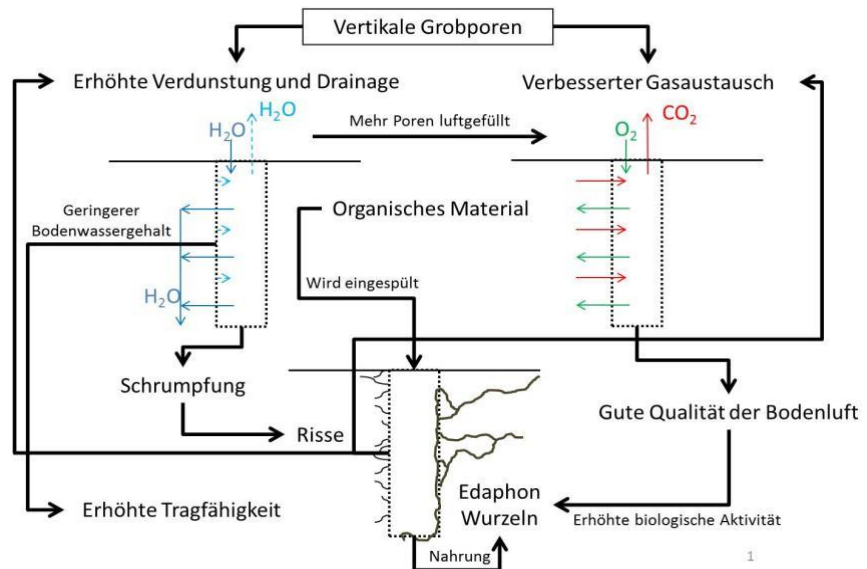


Abb. 6: Hypothetisches Schema der Wirkung gestanzter Löcher im Boden einer Fahrspur (Entwurf: Michael Müller-Inkmann)

aus Naturverjüngung mit normaler bis eingeklemmter Krone. Der Standortstyp wird beschrieben als: „19.4-.2.2l: Schattseitig frische und vorratsfrische, auch im Unterboden staufrische (= physiologisch günstig) Hang- und Hangmuldenstandorte, ziemlich gut mit Nährstoffen versorgt, aus sandig-lehmigen Böden oder schluffig-lehmigen Decken (Lösslehm) bei Mächtigkeiten <30 cm“ (NLF 2005). Variantenbezeichnung: I = stark schluffiges Material im Oberboden, (-) = schwächere Nährstoffversorgung als der Grundtyp. Die Fläche hat eine Hangneigung von 10 % bis 19 % mit Ausrichtung O-SO. Die Mächtigkeit der Lösslehmdecke wurde im 15 x 15 m<sup>2</sup>-Raster auskartiert und reichte auf 64 % der Fläche von 30 bis >70 cm (Struckmeyer 2013). Die Versuchsanlage wurde auf Bereiche mit >30 cm Lössmächtigkeit beschränkt.



## Bodenansprache

Eine Schürfgrube im unbefahrenen Bestand wurde 2016 angelegt (Tab. 7).

Es handelt sich um den Bodentyp Normbraunerde aus Löss-Fließerde über Ton- sowie Schlufflagen und Buntsandstein. Als Auflagehumusform lässt sich Mullartiger Moder ansprechen. Unterhalb des Verbraunungshorizontes „Bv“ folgt ein Übergangshorizont „Bv-ilCv“, in

dem sich Merkmale der Verbraunung und des Gesteinszersatzes überlagern. Ab etwa 63 cm geht dieser in einen Bereich über, der aus wechselnden Lagen von verwittertem Ton- und Schluffstein besteht, die jeweils über differenzierte Eigenschaften verfügen. Dieser Bereich wurde unter der Horizontbezeichnung „ilCv“ zusammengefasst. In einer Tiefe von ca. 100 cm folgt massiver Buntsandstein („imCv“), der an seiner Oberfläche schwach verwittert ist.

**Tab. 7:** Profilbeschreibung unbefahrener Bestand (zwischen Rückegasse 23 und 31) (pers. Mitt. Jannis Sparrer 2016)

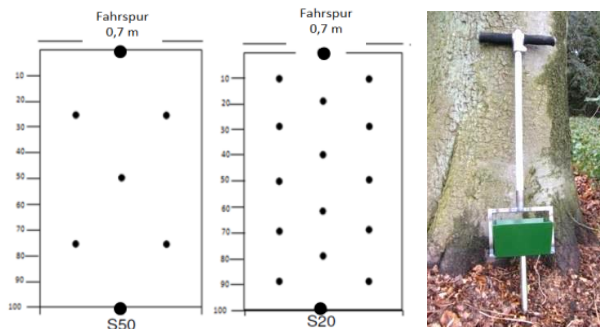
Schicht	Horizont	Tiefe (cm)	Form, Schärfe, Lage, Bodenfarbe, Bodenart, Carbonatgehalt, Bodenskelett, Humusgehalt, Bodenfeuchte, Konsistenz, Gefügeform, Aggregatgröße, Lagerungsart, Poren, Lagerungsdichte
	L	4	Blattstreu (Litter); eben, scharf, horizontale Lage; carbonatfrei
	Of	2	Fermentationshorizont; wellig, scharf, horizontale Lage; carbonatfrei
I	Ah	-4	zungenförmig, scharf, horizontale Lage; bräunlich-schwarz; schwach-toniger Schluff; carbonatfrei; skelettfrei; stark humos; feucht; halbfest (bröckelig); Krümel-/Subpolyedergefüge; feine bis mittlere Aggregate; halboffen; 5–10 % Feinporen, 2,5 % Mittelporen; geringe Lagerungsdichte; Feinwurzeln: sehr stark, Grobwurzeln: mittel
I	Bv	-31	eben, deutlich, horizontale Lage; matt-rötlich-braun; schwach-toniger Schluff; carbonatfrei; 5 % Skelett; sehr schwach humos; schwach feucht; halbfest (bröckelig); Subpolyeder-/Polyedergefüge; mittlere Aggregate; geschlossen; 2–5 % Feinporen, 1–2 % Mittelporen; mittlere Lagerungsdichte; Feinwurzeln: sehr stark, Grobwurzeln: mittel
I	Bv-ilCv	-63	wellig, deutlich, geneigte Lage; matt-rötlich-braun; schwach-toniger Schluff; carbonatfrei; 5 % Skelett; sehr schwach humos; schwach feucht; halbfest (bröckelig); Subpolyeder-/Polyedergefüge; mittlere Aggregate; geschlossen; 1–2 % Feinporen, 2–5 % Mittelporen; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; Feinwurzeln: mittel, Grobwurzeln: schwach
II	ilCv	-97	wellig, scharf, geneigte Lage; wechselnd aus dunkel-rötlich-braun und oliv-grau; Mischung aus schluffigem Lehm und schwach- bis mittel-schluffigem Ton; carbonatfrei; 40–60 % Skelett; humusfrei; schwach feucht; halbfest (bröckelig) bis fest (hart); Polyeder-(Subpolyeder-)Gefüge; feine bis große Aggregate; geschlossen; 1–2 % Feinporen, 1–2 % Mittelporen; hohe bis sehr hohe Lagerungsdichte; Feinwurzeln: sehr schwach, Grobwurzeln: keine
III	imCv	-100+	Feinboden: schwach schluffiger Ton; carbonatfrei; >50 % Skelett; humusfrei; schwach feucht; halbfest (bröckelig); große Aggregate; geschlossen; 1–2 % Feinporen, 1–2 % Mittelporen; sehr hohe Lagerungsdichte; Feinwurzeln: keine, Grobwurzeln: keine

## Anlegen der Gassen

Die Gassen wurde im Rahmen der ersten Feinerschließung einer 35 Jahre alten Buchendickung im Zeitraum Januar bis April 2013 angelegt. Es erfolgten zwei Überfahrten mit einem Harvester Logset F5 (13 t Leergewicht, 700 mm Reifenbreite, 3,3 bar Reifendruck). Das Holz wurde mit einem Forwarder Ponsse Buffalo gerückt (18 t Leergewicht, 4 Achsen, 700 mm Reifenbreite, 4 bar Reifendruck, Ackerprofil). In einigen Gassen kam alternativ der zum Forwarder umgebaute Logset F5 zum Einsatz. Mit dem Forwarder wurden ca. 6 bis 10 Überfahrten gemacht. Eine gewisse Bodenfeuchte wurde bewusst toleriert, um regenerationsbedürftige Fahrspuren des Typs 2 nach WSL-Bewertung (Lüscher et al. 2010) zu erhalten.

## Spurbild nach der Befahrung

Die Befahrung der Rückegassen hat sich unterschiedlich intensiv ausgewirkt. Es gibt sowohl Gassen ohne Eintiefung und Wulstbildung sowie Gassen mit einer maximalen Fahrspurtiefe von 35 cm uGOK. In Tab. 10 sind die 19 untersuchten Gassen aufgelistet mit Angaben zum Spurbild und zu den untersuchten Regenerationsmaßnahmen (s. u.).



**Abb. 7:** Verteilung der Stanzlöcher der Versuchsvarianten S50 und S20 und Lochstanzgerät

## Versuchsanlage

Es wurden vier verschiedene Maßnahmen zur Förderung der Bodenregeneration, sowohl einzeln wie auch in Kombination, getestet (siehe Tab. 8).

**Tab. 8:** Untersuchte Regenerationsmaßnahmen

Versuchsvarianten	Kürzel
Bodenperforation, Lochabstand 50 cm	S50
Bodenperforation, Lochabstand 20 cm	S20
flächiges Kalken, 82 % CaCO <sub>3</sub> ≈ 12 t/ha CaCO <sub>3</sub>	K
Bodenperforation + flächiges Kalken	S50 K
Bodenperforation + flächiges Kalken, 82 % CaCO <sub>3</sub> ≈ 12 t/ha CaCO <sub>3</sub>	S20 K
Bodenperforation + Verfüllen der Stanzlöcher mit Branntkalk, 70 % CaO ≈ 6 t/ha CaCO <sub>3</sub>	S50 Kd
Bodenperforation + Saatmischung	S50 P
Bodenperforation + flächiges Kalken + Saatmischung	S50 KP
Referenz	R

Die Maßnahmen wurden auf jeweils zwei Rückegassen über eine Länge von 50 Metern angelegt. Drei Referenzgassen blieben unbehandelt (vgl. Tab. 10).

Die Löcher wurden mit einem umgebauten Handgerät für das Aerifizieren von Rasenflächen in die Fahrspur gestanzt ([www.rasenspecht.de](http://www.rasenspecht.de)). Der ausgestanzte Boden wurde seitlich neben der Rückegasse abgelegt. Abb. 7 zeigt das verwendete Gerät und das Verteilungsbild der Stanzlöcher bei den Varianten S50 und S20.

**Tab. 9:** Mess- und Beobachtungsparameter

Parameter der Vernässung	Wasserspannung	Watermark-Sensoren in 6–10 cm, kontinuierlich
	Bonitur	Zeigerpflanzen, jährlich
Parameter der Belüftungssituation	CO <sub>2</sub> -Konzentr.	IR-Sensoren in 6 cm, kontinuierlich
	Redoxprozesse	Eisenstabmethode, jährlich
weitere Parameter	C <sub>org</sub> , pH-Wert, grav. Wassergehalt	

**Tab. 10:** Untersuchte Rückegassen mit Maßnahmenzuordnung und Ausmaß der Fahrspurbildung

Reihe	Gasse	Maßnahme	Stubben	ØSpurtiefe/ Stabw. [cm]	Spurtiefe Klasse 1–5	Wulstfläche Klasse 1–5/A/Stabw.	Spurausprägungs- stufe (Summe der Klassen)	WSL- Spurtyp
1	28	S50.a	m	11,0/3,1	3	4/156/83	7	II-III
2	27	S20.a	o	13,0/3,0	3	3/96/79	6	II-III
<b>3</b>	<b>26</b>	<b>Ref.a</b>	<b>m</b>	18,8/1,8	<b>4</b>	<b>3/95/80</b>	<b>7</b>	<b>III</b>
4	25	S20K.a	o	17,8/3,7	4	5/434/215	9	III
5	24	S50Kd.a	m	18,0/3,7	4	5/320/53	9	III
6	23	S50K.a	o	27,0/4,8	5	5/467/128	10	III
7	31	K.a	m	9,3/9,6	3	2/45/78	4	I-III
8	32	S50KP.a	m	9,0/0,0	2	1/0/0	3	II
9	33	S20.b	o	27,3/5,4	5	4/294/62	9	III
<b>10</b>	<b>34</b>	<b>Ref.b</b>	<b>m</b>	10,0/0,0	<b>2</b>	<b>1/0/0</b>	<b>4</b>	<b>II</b>
11	35	S50P.a	m	14,0/3,5	4	1/0/0	4	II-III
12	36	S20K.b	o	14,0/3,3	3	2/60/60	5	II-III
13	37	S50.b	m	21,3/4,9	4	4/202/23	9	III
14	38	S50P.b	m	21,0/0,0	5	3/90/0	8	III
15	45	K.b	o	8,0/0,0	2	1/0/0	3	II
16	46	S50KP.b	m	30,0/0,0	5	3/80/0	8	III
17	47	S50K.b	m	19,0/2,4	4	4/246/89	8	III
<b>18</b>	<b>48</b>	<b>Ref.c</b>	<b>o</b>	21,5/1,5	<b>5</b>	<b>4/205/53</b>	<b>9</b>	<b>III</b>
19	49	S50Kd.b	m	21,5/3,6	5	4/228/39	9	III

Klassenbildung der gemittelten Spurtiefe (cm uGOK): 1 = <5; 2 = 5 - <10; 3 = 10 - <15; 4 = 15 - <20; 5 = >20  
 Klassenbildung der gemittelten Wulstausprägung (cm<sup>2</sup>): 1 = 0 in allen Segmenten; 2 = 0 - < 80; 3 = 80 - <150; 4 = 150 - <300; 5 = >300. Mit m = mit Stubben; o = ohne Stubben  
 dunkelgrau = Spurtiefe von 20 cm auf 90 % der Rückegasse überschritten  
 mittelgrau = Spurtiefe von 20 cm auf 75 % der Rückegasse überschritten (NLF)  
 hellgrau = gemittelte Fahrspurtiefen nahe 20 cm und/oder ausgeprägte Bodenwülste liegen vor  
 A = Querschnittsfläche des Wulstes in cm<sup>2</sup>

### Datenerhebung

Fortlaufend wurden vor allem Parameter der Vernässung und der Belüftungsverhältnisse erfasst (Tab. 9).

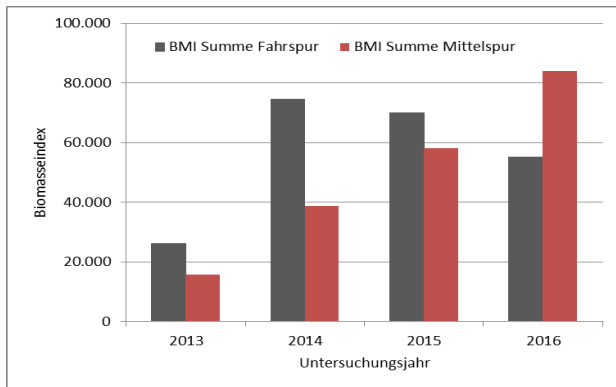
Zeigerpflanzen für Vernässung bzw. Verdichtung sind *Juncus effusus* (Flutterbinse) und *Carex remota* (Winkelsegge). Daneben wurde jährlich die gesamte Biomasse der Vegetation abgeschätzt, indem auf einer repräsentativen Fläche von ca. 1 x 0,5 m in vertikaler Richtung diejenige Pflanzenhöhe bestimmt wurde, in der die Biomasse der Krautschicht ihre maximale Dichte aufwies. In horizontaler Richtung wurde

der Bodenbedeckungsgrad der Pflanzen erfasst. Aus dem Produkt des vertikalen und des horizontalen Pflanzenparameters ergibt sich der Biomasseindex (BMI), welcher somit die Intensität des Pflanzenbewuchses widerspiegelt. Bei der Eisenstabmethode wird die Oberflächenveränderung von vier Wochen im Boden exponierten 30 cm langen Eisenstäben ausgewertet (Müller-Inkmann et al. 2016)

In den Jahren 2015 und 2016 wurden bei einigen Gassen ca. 40 cm tiefe und ca. 70 cm breite Profile quer zur linken Fahrspur der Versuchsgasse gegraben, um die Wirkung der Stanzlöcher zu erkunden.

## Ergebnisse

Wie Abb. 8 zeigt, hatte sich in den Rückegassen bereits im zweiten Jahr nach der Befahrung eine reichliche krautige Vegetation entwickelt. Fahrspur und Mittelstreifen der Rückegasse unterschieden sich in der Geschwindigkeit der Vegetationsentwicklung.



**Abb. 8:** Zeitliche Entwicklung der Biomasse

Über die Ergebnisse zur Wasserspannung und Bodenbelüftung wurde bereits berichtet (Fründ u. Averdiek 2016).

Aufgrabungen zeigten im Jahr 2015 eine deutlich erhöhte Feindurchwurzelung in den Stanzlöchern im Vergleich zum übrigen Boden (Ausnahme: Variante Kd). Über weitere Ergebnisse wird neben der Demonstration von Methoden und Messgeräten am Exkursionstermin berichtet werden.

- Ebeling C, Lang F, Gaertig T (2016): Structural recovery in three selected forest soils after compaction by forest machines in Lower Saxony, Germany. *For. Ecol. Manage.* 359: 74–82. DOI: 10.1016/J.FORECO.2015.09.045
- Fründ HC, Averdiek A (2016): Soil aeration and soil water tension in skidding trails during three years after trafficking. *For. Ecol. Manage.* 380: 224–231. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.09.008
- Gaertig T, Puls C, Schack-Kirchner H, Hildebrand EE (2000): Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden: Feldbodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten. *AFJZ* 171: 227–234
- Lorenz K, Meyer P, Mölder A, Schmidt M, Schmidt W (2013): Ergebnisse der Waldökosystemforschung im Solling. Exkursionspunkt 5. Exkursionsführer der Jahrestagung der AFSV, 11.-14.9.2013 im Solling. 137 S.
- Lüscher P, Frutig F, Sciacca S, Spjevak S, Thees O (2010): Physikalischer Bodenschutz im Wald. Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. WSL Birmensdorf, Schweiz (Merkblatt für die Praxis ISSN 1422-2876, 45)
- Müller-Inkmann M, Averdiek A, Fründ HC (2016): Eisenstäbe zur Erfassung der Bodenbelüftung. *AFZ-Der-Wald* 8: 22–24
- NLF (2005): Forstliche Standortsaufnahme – Geländeökologischer Schätzrahmen – Anwendungsbereich: pleistozänes (diluviales) Tiefland, Mittelgebirge, Berg- und Hügelland. Niedersächsisches Forstplanungsamt, Wolfenbüttel
- Struckmeyer C (2013): Standortsfeinkartierung in einem Buchenjungbestand auf lössüberlagertem Buntsandstein im niedersächsischen Forstamt Dassel. Bachelorarbeit
- Weltecke K, Gaertig T (2011): Methods for the assessment of soil deformation in forest stands: interrelationships and ecological relevance. *AFJZ* 182 (9/10):187–204



## D-01: Bodenschätzung in Südniedersachsen

Eckhard Ahlers<sup>1</sup>, Helmut Burghardt<sup>1</sup>, Christian Baethe<sup>2</sup>, Thilo Klockemeyer<sup>2</sup>,  
Karsten Krüger<sup>3</sup>, Silvia Langner<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Oberfinanzdirektion Niedersachsen Abt. Steuer, Am Festungsgraben 1, 26135 Oldenburg

<sup>2</sup> Finanzamt Göttingen, Godehardstraße 6, 37073 Göttingen

<sup>3</sup> Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Stilleweg 2, 30655 Hannover

---

### Einleitung

Anhand von Musterstücken der Bodenschätzung werden an 6 Standorten in der näheren Umgebung Göttingens typische Böden/Bodenbildungen des Leinetales bzw. des Leineberglandes vorgestellt. Das Spektrum reicht vom Kolluvium aus Löss bis zur Rendzina.

Schwerpunkt der Exkursion bilden die Böden, die sich auf Muschelkalk und Buntsandstein entwickelt haben.

Die Profilsprache erfolgt durch die Bodenschätzung und hinsichtlich bodenkundlich geologischer Aspekte durch das Niedersächsische Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.

### Geologie Südniedersachsens und des Exkursionsgebietes

Das Exkursionsgebiet im Umland der Stadt Göttingen gehört landschaftlich zum Leinebergland, das zusammen mit dem Weserbergland, dem Osnabrücker Bergland, dem Harz und dem Subherzynen Becken das niedersächsische Bergland bildet.

Mit Ausnahme des Harzes besteht das niedersächsische Bergland überwiegend aus mesozoischen Sedimentgesteinen. Dabei dominieren im Weserbergland Jura- und Kreidesedimente, während im Leinebergland hauptsächlich Ablagerungen der Trias vorkommen.

Seit dem Jura waren diese Sedimentgesteine zunehmend tektonischen und salztektonischen Beanspruchungen ausgesetzt. Auslöser dieser Prozesse waren Bewegungen der Erdkruste und Salzablagerungen aus der Zechsteinzeit und dem Mesozoikum, die durch Gesteinsdruck mobil wurden. Durch das Aufpressen der Salze wurden die überlagernden Gesteine zu

Sätteln und Mulden gefaltet und an zahlreichen Störungen zerbrochen. Daraus ergibt sich ein teilweise kleinteiliges Mosaik aus Bruchschollen mit einem uneinheitlichen und komplizierten Aufbau des Untergrundes und mit vielfältigen Landschaftsformen. Durch das unterschiedliche Verwitterungsverhalten der tektonisch verstellten und zerbrochenen Gesteine hat sich zudem eine Schichtstufenlandschaft gebildet, in der besonders feste Gesteine als Geländerippen, Einzelberge oder steinige Hochflächen herauspräpariert wurden (z. B. die Muschelkalkhochebene des Göttinger Waldes).

Eine das Exkursionsgebiet prägende tektonische Störung stellt der im Tertiär entstandene Grabenbruch des Leinegrabens dar, der mit ca. 6 bis 8 km Breite das Gebiet in Nord-Süd-Richtung durchzieht. Der Leinegraben ist Teil einer großen Bruchlinie in der Erdkruste, die über 2.000 km weit von der Rhonemündung in Südfrankreich über den Oberrheingraben bis nach Südnorwegen verläuft. Mit dem Einbruch der Gesteinsschichten kam es westlich des Grabenbruchs durch das Aufreißen grabenparalleler Spalten zum Austritt basaltischer Laven. Die von den ehemaligen Vulkanen noch erhalten gebliebenen kuppigen Härtlingsformen (z. B. der Hohe Hagen und der Ossenberg bei Dransfeld) liegen aber bereits außerhalb des Exkursionsgebietes.

Kennzeichen der durch den Leinegraben gebildeten Senke sind weite, durch kleine Tälchen und Dellen unterbrochene und gegliederte Lössflächen, die von den Rändern der Senke aus ca. 200 m über NN bis auf ca. 150 bis 100 m zur Talaue der Leine hin abfallen. Weiterhin treten einzelne Keuperkuppen bzw. Keuperhöhenzüge auf, die sich südlich des Exkursionsgebietes zu einem Keuper-Hügelland zusammenschließen.

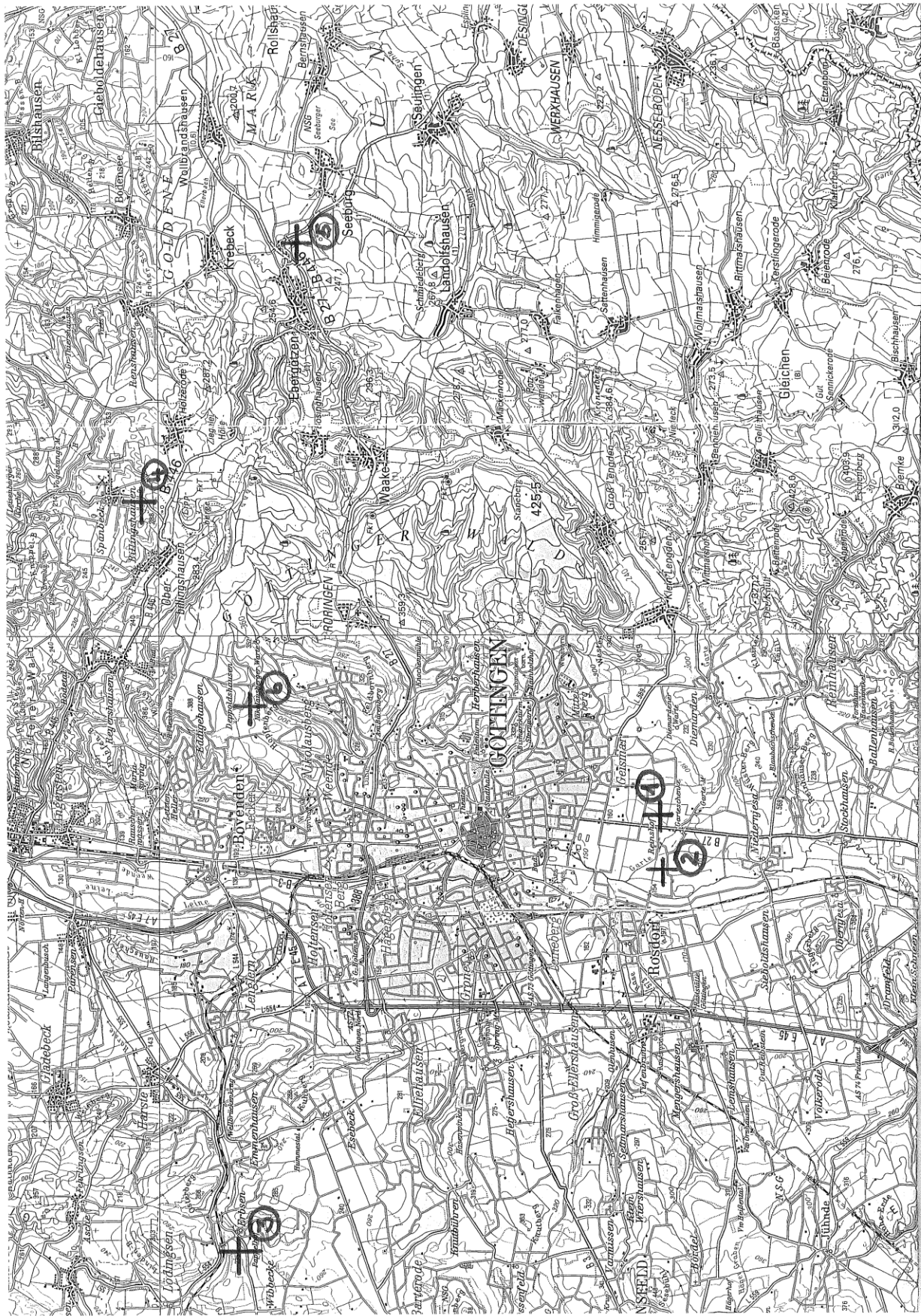
Durchflossen wird der Leinegraben vom namensgebenden Fluss Leine, wobei der Fluss südlich von Göttingen der Grabenachse folgt. Bereits nördlich von Göttingen an verläuft die Leine in der Nähe des östlichen Grabenrandes. Prägend für die Talau der Leine sind die großflächigen Bereiche mit ackerbaulich genutzten, tiefgründigen Auenböden. Vor allem im südlichen Bereich des Exkursionsgebietes werden die unterlagernden pleistozänen Schotter und Kiese abgebaut.

Die an den Leinegraben unmittelbar westlich und östlich angrenzenden Hochflächen werden im Bereich des Exkursionsgebietes aus Gesteinen des Muschelkalkes gebildet, weiter westlich bzw. nördlich und östlich schließen sich dann die Gesteine des Oberen und vor allem des Mittleren Buntsandsteins an. Die Böden dieser Hochflächen sind in der Regel relativ flachgründig und werden durch geringe Lössanteile auch nur wenig aufgewertet. Tiefgründigere Böden, entstanden aus pleistozänen

Fließerden oder im Holozän erodiertem Löss, finden sich nur in Senken und Tallagen.

## Literatur

- Arp G (2013): Geologie von Göttingen und Umgebung  
In: Kirnbauer T. Geologische Exkursionen in die Region um Göttingen und weitere wissenschaftliche Beiträge. Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, N.F. Band 95: 71–90, Stuttgart
- LBEG (2007): Erdgeschichte von Niedersachsen. Geoberichte 6, Hannover
- Meynen E, Schmithüsen J (Hrsg.) (1953–1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen
- Seedorf HH, Meyer HH (1992): Landeskunde Niedersachsen Bd. 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung. Karl Wachholtz Verlag, Neumünster



**Legende**

**GUEK500 - Geologische Übersichtskarte**

- 1 Holozän/Wasser
  - 2 Holozän/Ton, Schluff, Sand/Flussablagerungen (Auelehme, -sand)
  - 3 Weichsel-Kaltzeit bis Holozän/Kalk, Kalkstein/Quarzkalk, Sinterkalk
  - 4 Weichsel-Kaltzeit/Schluff/Löss, Lösslehm, Schwemmlöss
  - 5 Weichsel-Kaltzeit/Sand/Steigperrigilläre Hang- und Schwemmlagerungen, Flässerde, Blockschutt
  - 6 Weichsel-Kaltzeit/Sand, Kies/Flussablagerungen der Niederterrasse
  - 7 Dorsale Stadium der Saale-Kaltzeit/Sand, Kies/Flussablagerungen der Mittelterrasse
  - 8 Pk. Elbe- bis Elster-Kaltzeit/Sand, Kies/Flussablagerungen der Oberterrasse
  - 9 Tonstein/Ton, Schluff, Sand, z.T. Kies, Braunkohle//
  - 10 Tonstein/Basalt//
  - 11 Unterer Jura (Lias)/Tonstein, Mergelstein, Kalkstein, Sandstein, otolith Bienenstein//
  - 12 Tria, ungliedert//
  - 13 Keuper, ungliedert//
  - 14 Oberer Keuper/Sandstein, Quarz, Tonstein//
  - 15 Mittlerer Keuper/Dolomitmergelstein, Gips, Anhydritstein//
  - 16 Muschelkalk, ungliedert//
  - 17 Oberer und mittlerer Muschelkalk/Kalkstein, Mergelstein, Tonstein, Gips, Anhydritstein//
  - 18 Unterer Muschelkalk/Kalkstein, Mergelstein//
  - 19 Buntsandstein, ungliedert//
  - 20 Oberer Buntsandstein/Tonstein, Schluffstein, Gips, Anhydritstein//
  - 21 Mittlerer Buntsandstein/Sandstein, Schluffstein, Tonstein//
  - 22 Innerer Buntsandstein/Sandstein, Schluffstein, Tonstein, otolith Regenstein//
- Exkursionspunkt (mit laufender Nummer)



**LEIG**  
 Leibniz-Institut für  
 Erdwissenschaften  
 und Geoökologie  
 GOSSENBERG HANNOVER  
 - Referat L3.5 - Geologie und Boden  
 Prospektstrasse / Silesia-Lager  
 30559 Hannover  
 Fax 0511 643-3618 bzw. 643-3689  
 Karsten.Kueger@ing-niedersachsen.de  
 Silke.Langner@ing-niedersachsen.de

Das LEIG über die MEG-Online mit der zur Erstellung seiner thematischen Aufstellungen erforderliche Software. Es übernimmt jedoch keine Gewähr für Richtigkeit und Vollständigkeit dieser Daten. Eine Weiterverbreitung dieser Auskünfte ist nur mit Erlaubnis des LEIG gestattet. Als Voraussetzung für die Nutzung dieser Informationen ist die Registrierung, die Identifizierung und die Genehmigung der Datenanfragen.





EP 1

<b>Gemarkung</b> Geismar				<b>Finanzamt</b> Göttingen				
Höhe ü. NN	Jahresniederschläge	Jahreswärme	Flur	Flurstück	Feuchtigkeitszustand des Bodens		Datum	
m	620 mm	8,4 °C			F3		08.04.2015	
Nr. der Bodenbeschreibung			DGK 5	Rahmenkarte	Lfd. Nr.			
			Position d. Grabloches	Hangrichtung	freies Wasser ab ... dm	Wechsel d. Entst. nach Schicht	Bodentyp	
			E		19	3	K	
Kult.Art	BoZahl Grgz	Bodenart	ZuSt./BoSt	Entstehungsart	Klimast.	Wasserst.	Ackerzahl Grünlandzahl	
A	93	L	1	Lö				
Allg. Klima (± %)	M, L, V	T, N	Wa +, Wa -, Wa gt, RIWa W, Hu, Str		Besonderheiten			
alt L 2 L6 89								
Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feuchte	Sonstiges	Bodenart	Schichtmächtk.	Horizont
h3						L, fs2	3,0	Ap
h2						L, fs2	3,0	wM
h2, zt(h4)						L, fs2, t1	2,0	wM
h4-h3				fr3		L, fs2, t2	3,0-4,0	fAh
	ka3-ka4	glb3, gr3	ei1-ei2	fr3		L, fs3-fs4		Sw-Cv

<b>19 Bodenuntersuchungsergebnisse</b>									
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Gewichtsanteile der Korngrößengruppen in v.H. des Feinbodens							Gew.% Steine > 2,0 mm	Bodenart nach Kopeccky
	Abschlämmbare Bestandteile < 0,01 mm	Staubsand 0,01-0,05 mm		Feinsand 0,05-0,1mm	Grobsand 0,1-2,0 mm				
0 - 3,0	39,3							L	
3,0 - 6,0	43,8							L	
6,0 - 8,0	46,1							L/LT	
8,0 - 12,0	46,4							L/LT	
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Ton <0,002 mm	Feinschluff 0,002-0,0063mm	Mittelschluff 0,0063-0,02 mm	Grobschluff 0,02-0,063 mm	Feinsand 0,063-0,2 mm	Mittelsand 0,2-0,63 mm	Grobsand 0,63-2,0 mm	Horizont	Bodenart KA 5 - Gelände
0 - 3,0	22,6	5,5	19,5	44,0	4,9	2,6	1,0	Ap	Ut4 - Ut3
3,0 - 6,0	24,8	7,0	21,6	41,0	3,6	1,6	0,5	wM	Ut4 - Ut3
6,0 - 8,0	29,2	5,8	19,5	40,3	3,4	1,6	0,2	wM	Tu4 - Ut4
8,0 - 12,0	33,1	3,9	16,0	41,2	4,2	1,5	0,2	fAh	Lu - Ut4
Entnahmetiefe in dm unter Flur	pH-Wert	Carbonat-gehalt %	C org. %	Humus %	Nt %	C/N-Verhältnis	KAK mval/100g	Basen-sättigung %	
0 - 3,0	7,24	1,4	1,27	2,19 (h3)	0,13	9,77			
3,0 - 6,0	7,45	1,40	0,65	1,12 (h2)	0,06	10,83			
6,0 - 8,0	7,42	<0,5	0,87	1,50 (h2)	0,06	14,50			
8,0 - 12,0	7,32	<0,5	0,77	1,33 (h2)	0,05	15,40			

## Exkursionspunkt 1: Mittl. Normkolluvisol über fossiler Schwarzerde

### Standortbeschreibung

Bearbeiter: K. Krüger / S. Langner (LBEG)  
 TK25: 4525 Friedland  
 Lage: Leinetal südlich Geismar (Leine-Ilme-Senke)  
 Koordinaten (GK3): RW: 3565490, HW: 5707551  
 Höhe über NN: 161 m  
 Jahresmitteltemperatur: 8,7 °C  
 Jahresniederschlag: 646 mm  
 Relief: Hangverflachung, Unterhang, sehr schwach geneigt  
 Nutzung: Acker

### Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ap	-30	stark toniger Schluff (Ut4), dunkel bräunlich grau (7.5YR4/1), mittel humos, carbonatarm, mittlere Lagerungsdichte
M1	-60	stark toniger Schluff (Ut4), dunkel rötlich braungrau (7.5YR4/2), schwach humos, carbonatarm, mittlere Lagerungsdichte
M2	-80	stark schluffiger Ton (Tu4), sehr dunkel bräunlich grau (7.5YR3/1), schwach humos, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte
fAxh	-120	schluffiger Lehm (Lu), bräunlich schwarz (7.5YR2.5/1), schwach humos, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte
Sw-Cv	-170	mittel toniger Schluff (Ut3), bräunlich gelb (10YR7/8), humusfrei, sehr schwach eisenfleckig, carbonatarm, mittlere Lagerungsdichte
Cv	-200+	sandig-lehmiger Schluff (Us), schwach kiesig, schwach grusig, graustichig beige (7.5Y.R7/4), humusfrei, carbonathaltig, mittlere Lagerungsdichte

**Bodensubtyp (KA5):** YKn (Normkolluvisol)

**Substrattyp:** uk-u(Lol) → Kolluvialer Schluff (aus Lösslehm)

**Bodentyp (WRB):** Eutric Cambisol (Aric, Anocolluvic, Loamic) over Phaeozem

### Physikalische und chemische Analysedaten

Horizont	Textur (Gew.-% des humusfreien Feinbodens)								pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub> Gew.-%	N <sub>tot</sub>
	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU	T				
Ap	1,0	2,6	4,9	2,8	44,0	19,5	5,5	22,6	7,2	1,4	1,27	0,13
M	0,5	1,6	3,6	2,3	41,0	21,6	7,0	24,8	7,5	1,4	0,65	0,06
M	0,2	1,6	3,4	2,1	40,3	19,5	5,8	29,2	7,4	<0,5	0,87	0,06
fAxh	0,2	1,5	4,2	2,7	41,2	16,0	3,9	33,1	7,3	<0,5	0,77	0,05
Sw-Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Besichtigt am		NfD		Beschreibung						
28.6.1938				des Musterstückes für Ackerland Nr. 2320.14						
1	OFD	Hannover		2	Finanzamt Göttingen					
3	Gemeinde			4	Gemarkung	5	Flur	6	Flurstück(e)	
	Friedland				Reinshof	1	40/1			
7	Höhe NN	155 m	8	Jahreswärme	8,4°C	9	Jahresniederschlag 620 mm			
10	Größe	1200 m <sup>2</sup>	11	Geologische Entstehung Holozän/Auelehme						
12	Bodenbeschreibung			h ka kr L 3		13	Klasse:	Bodenart LT		
				h ka sch-kr L 3			Zustandsstufe 1			
				rost' schli t' L			Entstehung A1			
14	Bodenzahl	15	Besonderheiten / Abrechnung in v. H.			16	Ab-/Zurechnung für all-gemeines Klima in v. H.		17	Ackerzahl
	86		/				+ 4		89	
			/							
			/							
18	Bemerkungen:									
19	Bodenuntersuchungsergebnisse									
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Gewichtsanteile der Korngrößengruppen in v. H. des Feinbodens							Gew. % Steine > 2,0 mm	Bodenart nach Kopecky	
	Abschlammbare Bestandteile < 0,01 mm	Staubsand 0,01 - 0,05 mm		Feinsand 0,05 - 0,1 mm	Grobsand 0,1 - 2,0 mm					
	0 - 3	51,5	37,5	8,5	2,5					
	3 - 6	65,5	32,0	1,5	1,0					
6 - 10	74,0	22,0	3,5	0,5				T		
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Ton < 0,002 mm	Feinschluff 0,002 - 0,0063 mm	Mittelschluff 0,0063 - 0,02 mm	Grobschluff 0,02 - 0,063 mm	Feinsand 0,063 - 0,2 mm	Mittelsand 0,2 - 0,63 mm	Grobsand 0,63 - 2,0 mm	Horizont	Bodenart nach Köhn	
	0 - 3	27,6	37,7	28,1	5,6	0,8	0,2			
	3 - 6	36,3	47,1	15,3	0,8	0,3	0,2			
	6 - 10	41,2	45,9	11,9	0,7	0,2	0,1			
Entnahmetiefe in dm unter Flur	pH-Wert	Carbonatgehalt %	C org. %	Humus %	N <sub>t</sub> %	C / N-Verhältnis	KAK mval/100 g	Basensättigung %		
	0 - 3	7,5	5,2		2,4		22,3	100,0		
	3 - 6	7,5	4,8		2,1		29,8	97,8		
	6 - 10	7,4	0,9		2,2		32,5	96,2		

## Exkursionspunkt 2: Mittlere Pseudogley-Vega

### Standortbeschreibung

Bearbeiter: K. Krüger / S. Langner (LBEG)  
 TK25: 4425 Göttingen  
 Lage: Leinetal zwischen Rosdorf und Reinshof (Leine-Ilme-Senke)  
 Koordinaten (GK3): RW: 3563836, HW: 5707551  
 Höhe über NN: 154 m  
 Jahresmitteltemperatur: 8,7 °C  
 Jahresniederschlag: 650 mm  
 Relief: Ebener Tiefenbereich  
 Nutzung: Acker

### Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ap	-30	schluffiger Lehm (Lu), dunkel rotbraungrau (5YR4/2), mittel humos, carbonathaltig, mittlere Lagerungsdichte
M	-60	mittel schluffiger Ton (Tu3), dunkel graurotbraun (5YR4/3), schwach humos, z. T. sehr schwach eisenfleckig, carbonathaltig, mittlere Lagerungsdichte
Sw-M	-95	mittel schluffiger Ton (Tu3), dunkel rötlich braungrau (7.5YR4/2), mittel humos, schwach eisenfleckig, carbonatarm, mittlere Lagerungsdichte
fAh-Sd	-105	schwach schluffiger Ton (Tu2), sehr dunkel rötlich braungrau (7.5YR3/2), mittel humos, carbonatfrei, hohe Lagerungsdichte
fAa	-135	schwach schluffiger Ton (Tu2), dunkel grau (N4/0), anmoorig, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte
Go	-195+	schluffig-lehmiger Sand (Slu), grau (N5/0), schwach kiesig, humusfrei, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte

**Bodensubtyp (KA5):** SS-AB (Pseudogley-Vega)  
**Substrattyp:** fo-t(Lf) → Ton aus Auelehm  
**Bodentyp (WRB):** Eutric Cambisol (Aric, Loamic, Humic)

### Physikalische und chemische Analysedaten

Horizont	Textur (Gew.-% des humusfreien Feinbodens)								pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub> Gew.-%	N <sub>tot</sub>
	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU	T				
Ap	0,2	1,4	6,0	3,9	26,2	24,4	12,1	29,7	7,6	5,8	1,28	0,13
M	0,1	0,7	1,7	1,0	15,1	25,6	17,6	39,3	7,7	6,1	0,96	0,10
Sw-M	-	0,4	0,9	0,6	6,5	21,7	16,2	54,2	7,5	1,2	1,43	0,14
fAh-Sd	-	0,7	2,1	1,4	8,3	16,5	13,8	58,6	7,4	<0,5	2,18	0,24
fAa	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Go	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.



EP 3

Besichtigt am 28.6.1938		<b>NfD</b>		<b>Beschreibung</b>				des Musterstückes für Ackerland Nr. 2320.05	
1 OFD Hannover			2 Finanzamt Göttingen						
3 Gemeinde Adelebsen			4 Gemarkung Erbsen			5 Flur 2	6 Flurstück(e) 10		
7 Höhe NN 220 m		8 Jahreswärme 7,4 °C		9 Jahresniederschlag 800 mm					
10 Größe 1200 m <sup>2</sup>		11 Geologische Entstehung Unterer Muschelkalk							
12 Bodenbeschreibung h st kr L 1,5 - 2				13 Klasse: Bodenart L					
				Zustandsstufe 6					
				Entstehung Vg					
14 Bodenzahl 38		15 Besonderheiten / Abrechnung in v. H. Gel S / - 2			16 Ab-/Zurechnung für all-gemeines Klima in v. H. - 8		17 Ackerzahl 34		
18 Bemerkungen:									

19 **Bodenuntersuchungsergebnisse**

Entnahmetiefe in dm unter Flur	Gewichtsanteile der Korngrößengruppen in v. H. des Feinbodens				Gew. % Steine > 2,0 mm	Boden- art nach Kopecky			
	Abschlammbare Be- standteile < 0,01 mm	Staubsand 0,01 - 0,05 mm	Feinsand 0,05 - 0,1 mm	Grobsand 0,1 - 2,0 mm					
0 - 2,5	42,0	47,0	7,0	4,0		L			
2,5 - 4	47,0	43,0	8,5	1,5		LT			
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Ton < 0,002 mm	Feinschluff 0,002 - 0,0063 mm	Mittelschluff 0,0063 - 0,02 mm	Grobschluff 0,02 - 0,063 mm	Feinsand 0,063 - 0,2 mm	Mittelsand 0,2 - 0,63 mm	Grobsand 0,63 - 2,0 mm	Horizont	Bodenart nach Köhn
	0 - 2,5	29,9	23,4	39,9	2,3	2,0	2,5		
2,5 - 4	30,8	26,9	38,8	1,8	1,1	0,6	utL		
Entnahmetiefe in dm unter Flur	pH-Wert	Carbonat- gehalt %	C org. %	Humus %	N <sub>t</sub> %	C / N- Verhältnis	KAK mval/ 100 g	Basen- sättigung %	
	0 - 2,5	7,2	5,7		3,0		19,8	96,4	
2,5 - 4	7,3	1,2		1,7		19,5	96,2		

7.87

### Exkursionspunkt 3: Flache Rendzina

#### Standortbeschreibung

Bearbeiter: K. Krüger / S. Langner (LBEG)  
 TK25: 4424 Dransfeld  
 Lage: Westlich Erbsen (Sollingvorland)  
 Koordinaten (GK3): RW: 3555209, HW: 5716665  
 Höhe über NN: 218 m  
 Jahresmitteltemperatur: -  
 Jahresniederschlag: 749 mm  
 Relief: Mittelhang, mittel geneigt  
 Nutzung: Acker

#### Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ap	-25	mittel schluffiger Ton (Tu3), steinig, dunkel braungrau (10YR4/2), mittel humos, carbonathaltig, mittlere Lagerungsdichte
Cv	-35+	Kalksteinersatz („Gelbkalk“)

**Bodensubtyp (KA5):** RRn (Normrendzina)

**Substrattyp:** pfl-(n)et(^k,Lol)/c-n(^kc) → flacher Schutt führender Ton (aus Fließerde aus Kalksteinverwitterung und Lösslehm) über Schutt (aus Kalksteinverwitterung)

**Bodentyp (WRB):** Calceric Leptosol (Aric, Humic, Loamic, Raptic)

#### Physikalische und chemische Analysedaten

Horizont	Textur (Gew.-% des humusfreien Feinbodens)								pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub> Gew.-%	N <sub>tot</sub>
	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU	T				
Ap	3,8	2,7	2,5	1,5	32,6	19,3	7,5	31,6	7,5	6,2	2,24	0,23
Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Besichtigt am 28.6.1938		<b>NfD</b>		<b>Beschreibung</b>				des Musterstückes für Ackerland Nr. 2320.16				
1	OFD	Hannover		2	Finanzamt		Göttingen					
3	Gemeinde			4	Gemarkung		5	Flur	6	Flurstück(e)		
			Bovenden			Spanbeck	2	66/2				
7	Höhe NN	270	m	8	Jahreswärme		8,0	°C	9	Jahresniederschlag	660	mm
10	Größe	700	m <sup>2</sup>	11	Geologische Entstehung		mittlerer Buntsandstein					
12	Bodenbeschreibung			h' l S		2,5	13	Klasse: Bodenart		1S		
			l t' S		2 - 3			Zustandsstufe		4		
			l' Buntsandstein V						Entstehung		V	
14	Bodenzahl	15	Besonderheiten / Abrechnung in v. H.			16	Ab-/Zurechnung für all-gemeines Klima in v. H.		17	Ackerzahl		
		38	/					+ 2	39			
			/									
			/									
18	Bemerkungen:											
19	<b>Bodenuntersuchungsergebnisse</b>											
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Gewichtsanteile der Korngrößengruppen in v. H. des Feinbodens							Gew. % Steine > 2,0 mm	Boden- art nach Kopecký			
	Abschlämmbare Be- standteile < 0,01 mm	Staubsand 0,01 - 0,05 mm		Feinsand 0,05 - 0,1 mm	Grobsand 0,1 - 2,0 mm							
0 - 2,5	14,5	11,0		12,0	62,5			0,3	1S			
2,5 - 5	14,0	10,0		12,0	64,0			-	1S			
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Ton < 0,002 mm	Feinschluff 0,002 - 0,0063 mm	Mittelschluff 0,0063 - 0,02 mm	Grobschluff 0,02 - 0,063 mm	Feinsand 0,063 - 0,2 mm	Mittelsand 0,2 - 0,63 mm	Grobsand 0,63 - 2,0 mm	Horizont	Bodenart nach Köhn			
	0 - 2,5	10,9	8,0	8,5	44,2	28,1	0,3			1S		
2,5 - 5	10,5	7,6	8,2	42,5	30,8	0,4	1S					
Entnahmetiefe in dm unter Flur	pH-Wert	Carbonat- gehalt %	C org. %	Humus %	N <sub>t</sub> %	C / N- Verhältnis	KAK mval/ 100 g	Basen- sättigung %				
	0 - 2,5	4,6	-	0,9			6,7	36,8				
2,5 - 5	4,9	-	0,8				6,3	44,9				

## Exkursionspunkt 4: Flache Braunerde

### Standortbeschreibung

Bearbeiter: K. Krüger / S. Langner (LBEG)  
 TK25: 4325 Katlenburg-Lindau  
 Lage: Südlich Spanbeck (Göttingen-Northeimer Wald)  
 Koordinaten (GK3): RW: 3572640, HW: 5719294  
 Höhe über NN: 268 m  
 Jahresmitteltemperatur: -  
 Jahresniederschlag: 758 mm  
 Relief: Zentraler Kulminationsbereich, sehr schwach geneigt  
 Nutzung: Acker

### Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ap	-30	mittel lehmiger Sand (SI3), sehr schwach steinig, sehr dunkel bräunlich rotgrau (2.5YR3/2), schwach humos, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte
Bv	-40	mittel lehmiger Sand (SI3), sehr schwach grusig, z. T. sehr schwach steinig, dunkel bräunlich rotgrau (2.5YR4/2), sehr schwach humos, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte
Cv	-50+	Sandsteinzersatz; in den Klüften schwach toniger Sand (St2), sehr schwach humos, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte

**Bodensubtyp (KA5):** BBn (Normbraunerde)

**Substrattyp:** pky-(n)s(^s)\c-n(^sc) → Schutt führender Sand (aus kryoturbater Sandsteinverwitterung) über Schutt (aus Sandsteinverwitterung)

**Bodentyp (WRB):** Leptic Phaeozem (Anthric, Loamic)

### Physikalische und chemische Analysedaten

Horizont	Textur (Gew.-% des humusfreien Feinbodens)								pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub> Gew.-%	N <sub>tot</sub>
	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU	T				
Ap	0,8	30,5	42,6	15,2	7,4	4,8	2,5	11,4	5,5	0,0	0,66	0,07
Bv	0,6	22,9	42,5	23,7	6,4	4,4	2,3	10,9	5,8	0,0	0,32	0,04
Cv	0,3	9,5	76,5	41,1	5,6	1,6	0,5	6,2	6,0	0,0	0,10	0,02



Besichtigt am		NfD		Beschreibung					
1.7.1938				des Musterstückes für Ackerland Nr. 2320.04					
1	OFD	Hannover		2	Finanzamt	Göttingen			
3	Gemeinde	Ebergötzen		4	Gemarkung	5	Flur		
					Ebergötzen	16	68		
7	Höhe NN	200 m	8	Jahreswärme	8,0 °C	9	Jahresniederschlag		
							640 mm		
10	Größe	800 m <sup>2</sup>	11	Geologische Entstehung	Mittlerer Buntsandstein				
12	Bodenbeschreibung h' gru s L			2	13	Klasse:	Bodenart		
	s t" L			1			sL		
	gru st s' t L			1,5			Zustandsstufe		
	s t St-Bä s t Buntsandstein						5		
							Entstehung		
							v		
14	Bodenzahl	15	Besonderheiten / Abrechnung in v. H.		16	Ab-/Zurechnung für all-gemeines Klima in v. H.	17	Ackerzahl	
	48		Gel N / - 2			+ 0		47	
			/						
			/						
18	Bemerkungen:								
19	Bodenuntersuchungsergebnisse								
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Gewichtsanteile der Korngrößengruppen in v. H. des Feinbodens						Gew. % Steine > 2,0 mm	Boden- art nach Kopecky	
	Abschlammbare Be- standteile < 0,01 mm	Staubsand 0,01 - 0,05 mm	Feinsand 0,05 - 0,1 mm	Grobsand 0,1 - 2,0 mm					
0 - 2,5	30,0	23,0	15,5	31,5				L	
2,5 - 4	40,5	25,5	11,5	22,5				L	
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Ton < 0,002 mm	Feinschluff 0,002 - 0,0063 mm	Mittelschluff 0,0063 - 0,02 mm	Grobschluff 0,02 - 0,063 mm	Feinsand 0,063 - 0,2 mm	Mittelsand 0,2 - 0,63 mm	Grobsand 0,63 - 2,0 mm	Horizont	Bodenart nach Köhn
	0 - 2,5	17,7	20,6	19,2	27,8	13,9	0,8		
2,5 - 4	22,1	30,2	17,1	18,8	11,6	0,2		s'L	
Entnahmetiefe in dm unter Flur	pH-Wert	Carbonat- gehalt %	C org. %	Humus %	N <sub>t</sub> %	C / N- Verhältnis	KAK mval/ 100 g	Basen- sättigung %	
	0 - 2,5	6,5	-		1,8		12,5	85,5	
2,5 - 4	6,4	-		0,6			14,2	83,8	

## Exkursionspunkt 5: Flacher Braunerde-Ranker

### Standortbeschreibung

Bearbeiter: K. Krüger / S. Langner (LBEG)  
 TK25: 4426 Ebergötzen  
 Lage: Östlich Ebergötzen (Eichsfelder Becken (Goldene Mark))  
 Koordinaten (GK3): RW: 3577737, HW: 5715780  
 Höhe über NN: 204 m  
 Jahresmitteltemperatur: -  
 Jahresniederschlag: 709 mm  
 Relief: Unterhang, mittel geneigt  
 Nutzung: Acker

### Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ap	-25	mittel sandiger Lehm (Ls3), schwach steinig, z. T. sehr schwach grusig, sehr dunkel graubräunlich rot (2.5YR3/3), schwach humos, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte
Bv-Cv	-35	sandig-lehmiger Schluff (Uls), schwach steinig, z. T. sehr schwach grusig, dunkel graubräunlich rot (2.5YR4/3), sehr schwach humos, carbonatfrei, mittlere Lagerungsdichte
Cv	-45+	Sandsteinersatz

**Bodensubtyp (KA5):** BB-RN (Braunerde-Ranker)

**Substrattyp:** pfl-(n)u(^s,Lol)c-n(^sc) → Schutt führender Schluff (aus Fließerde aus Sandsteinverwitterung und Lösslehm) über Schutt (aus Sandsteinverwitterung)

**Bodentyp (WRB):** Leptic Phaeozem (Anthric, Loamic, Raptic)

### Physikalische und chemische Analysedaten

Horizont	Textur (Gew.-% des humusfreien Feinbodens)								pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub> Gew.-%	N <sub>tot</sub>
	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU	T				
Ap	2,0	15,5	27,0	16,4	17,8	14,8	5,8	17,1	6,1	0,0	0,82	0,09
Bv-Cv	1,8	9,9	20,7	13,0	26,5	25,6	3,6	11,8	6,3	0,0	0,22	0,04
Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

EP 6

Besichtigt am 30.6.1938		<b>NfD</b>		<b>Beschreibung</b>				des Musterstückes für Ackerland Nr. 2320.03		
1	OFD	Hannover			2	Finanzamt Göttingen				
3	Gemeinde Göttingen			4	Gemarkung Deppoldshausen		5	Flur 1	6	Flurstück(e) 33/25
7	Höhe NN	335 m	8	Jahreswärme	7,4 °C	9	Jahresniederschlag 680 mm			
10	Größe	1200 m <sup>2</sup>	11	Geologische Entstehung Mittlerer Muschelkalk						
12	Bodenbeschreibung h' ka gru' st' l T 2,5				13	Klasse: Bodenart T				
	ka gru' st' l T 3-4					Zustandsstufe 4				
	t Me - me Muschelkalk V					Entstehung V				
14	Bodenzahl	46	15	Besonderheiten / Abrechnung in v. H.		16	Ab-/Zurechnung für all-gemeines Klima in v. H.		17	Ackerzahl
				/			- 12			40
18	Bemerkungen:									
19	<b>Bodenuntersuchungsergebnisse</b>									
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Gewichtsanteile der Korngrößengruppen in v. H. des Feinbodens							Gew. % Steine > 2,0 mm	Boden- art nach Kopecky	
	Abschlämmbare Be- standteile < 0,01 mm	Staubsand 0,01 - 0,05 mm	Feinsand 0,05 - 0,1 mm	Grobsand 0,1 - 2,0 mm						
	0 - 2,5	60,0	32,5	4,5	3,0					
	2,5 - 6	Keine Analyse; hoher Karbonatgehalt								
6 - 7										
Entnahmetiefe in dm unter Flur	Ton < 0,002 mm	Feinschluff 0,002 - 0,0063 mm	Mittelschluff 0,0063 - 0,02 mm	Grobschluff 0,02 - 0,063 mm	Feinsand 0,063 - 0,2 mm	Mittelsand 0,2 - 0,63 mm	Grobsand 0,63 - 2,0 mm	Horizont	Bodenart nach Köhn	
	0 - 2,5	42,9	31,5	21,0	2,1	1,0	1,5			
	2,5 - 6	Keine Analyse; hoher Karbonatgehalt								
	6 - 7									
Entnahmetiefe in dm unter Flur	pH-Wert	Carbonat- gehalt %	C org. %	Humus %	N <sub>t</sub> %	C/N- Verhältnis	KAK mval/ 100 g	Basen- sättigung %		
	0 - 2,5	7,3	16,5		2,5		24,6	96,6		
	2,5 - 6	7,5	51,5		0,5		17,0	86,0		
	6 - 7	7,6	76,3		0,2		10,1	84,9		

7.87

## Exkursionspunkt 6: Mittlere Pseudogley-Pararendzina

### Standortbeschreibung

Bearbeiter: K. Krüger / S. Langner (LBEG)  
 TK25: 4425 Göttingen  
 Lage: Südlich Deppoldshausen (Göttingen-Northeimer Wald)  
 Koordinaten (GK3): RW: 3567190, HW: 5716493  
 Höhe über NN: 337 m  
 Jahresmitteltemperatur: -  
 Jahresniederschlag: 787 mm  
 Relief: Hangverflachung, Unterhang, sehr schwach geneigt  
 Nutzung: Acker

### Profilbeschreibung

Horizont	Tiefe (cm)	Beschreibung
Ap	-25	mittel schluffiger Ton (Tu3), sehr schwach grusig, z. T. sehr schwach steinig, dunkel grauoliv (2.5Y4/3), mittel humos, sehr carbonatreich, mittlere Lagerungsdichte
Cv	-50	schluffiger Lehm (Lu3), grusig, z. T. steinig, olivgrau (2.5Y5/2), sehr schwach humos, z. T. sehr schwach eisenfleckig, sehr carbonatreich, mittlere Lagerungsdichte
Swd-Cv	-60	mittel toniger Lehm (Lt3), grauoliv (2.5Y5/3), sehr schwach humos, eisenfleckig, carbonatreich, hohe Lagerungsdichte
Cv	-75+	Mergelsteinersatz

**Bodensubtyp (KA5):** SS-RZ (Pseudogley-Pararendzina)

**Substrattyp:** pfl-(z)et(^m,Lol)\c-n(^mc) → Grus führender Ton (aus Fließerde aus Mergelstein und Lösslehm) über Schutt (aus Mergelsteinersatz)

**Bodentyp (WRB):** Calcaric Leptic Regosol (Aric, Clayic, Humic, Raptic)

### Physikalische und chemische Analysedaten

Horizont	Textur (Gew.-% des humusfreien Feinbodens)								pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub> Gew.-%	N <sub>tot</sub>
	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU	T				
Ap	3,3	2,1	3,2	2,3	16,1	20,6	14,0	40,8	7,5	26,2	1,28	0,15
Cv	5,6	3,9	6,8	4,8	18,0	21,4	15,2	29,1	7,7	47,8	0,5	0,03
Swd-Cv	6,6	2,7	3,1	2,2	7,8	19,3	17,3	43,2	7,6	21,4	0,07	0,04
Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.



## D-02: Langfristige Kohlenstoff-Dynamik im Nationalpark

### Hainich

Alexander Knohl<sup>1</sup>, Heinrich Kreilein<sup>1</sup>, Lukas Siebicke<sup>1</sup>, Martina Mund<sup>2</sup>, Marion Schruppf<sup>3</sup>, Ingo Schöning<sup>3</sup>, Gerd Gleixner<sup>3</sup>, Manfred Großmann<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Abteilung Bioklimatologie, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

<sup>2</sup> Abteilung Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 1, 37077 Göttingen

<sup>3</sup> Abteilung Biogeochemische Prozesse, Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Hans-Knöll-Str. 10, 07745 Jena

<sup>4</sup> Nationalparkverwaltung Hainich, Bei der Marktkirche 9, 99947 Bad Langensalza

---

Die Exkursion führt in die Kernzone des Nationalparks Hainich in Thüringen. Dort finden seit 1999 Messungen zum Kohlenstoffhaushalt eines alten, nicht bewirtschafteten Buchenwaldes statt. Dafür wurde ein Eddy-Kovarianz-Klimaturm errichtet, an dem seitdem kontinuierliche Messungen des Netto-CO<sub>2</sub>-Austausches des Waldes mit der Atmosphäre stattfinden. Außerdem werden umfangreiche Messungen zu Änderungen der Kohlenstoff-Vorräte im Boden und in der Vegetation sowie zu den zugrunde liegenden Prozessen durchgeführt. Die aktuellen Messungen sind eine Kooperation der Georg-August Universität Göttingen und des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena.

Im Rahmen der Exkursion werden Ergebnisse aus über 15 Jahren Messungen zur Kohlenstoff-Dynamik im Weberstedter Holz im Nationalpark Hainich vorgestellt. Es besteht die Möglichkeit, auf den Klimaturm zu steigen.

Vom Parkplatz am Rande des Nationalparks geht man ca. 30 min durch den Wald zum Klimaturm. Wetterangepasste Kleidung und entsprechendes Schuhwerk werden vorausgesetzt.

#### Standort

Die Untersuchungsfläche im Weberstedter Holz im Nationalpark Hainich ist ein ca. 100 ha großer, mehrschichtiger Buchen-Laubholzmischbestand. Das Kronendach ist überwiegend geschlossen mit einzelnen Lücken und Löchern in Folge von Bruch und Wurf. Im Oberstand ist die Buche Hauptbaumart (Grundflächenanteil ca.

40 %, 120 Jahre, Altersspanne: ±40). Mischbaumarten sind Esche und Bergahorn mit jeweils 25 % Grundflächenanteil (beide ca. 140 Jahre ±40 Jahre) sowie Hainbuche mit 10 % (110 Jahre, Altersspanne: ±20). Darüber hinaus kommen einzelne Eichen, Bergulmen, Spitzahorne, Winterlinden und Fichten vor. Auf ca. 35 % der Bestandesfläche ist ein Zwischenstand aus Buche (40 Jahre, Altersspanne: ±20) vorhanden, an dem auch wenige Berg-, Spitz- und Feldahorne sowie Hainbuchen beteiligt sind. Der Bestand gehört zum FFH-Lebensraumtyp „Waldmeister-Buchenwald“ (Code: 9130).

Es handelt sich überwiegend um einen mäßig frischen, nährstoffreichen Kalkton-Standort in einer Höhenlage zwischen 425 und 450 m ü. NN in meist ebener bis schwach geneigter Lage. Das Ausgangssubstrat für die Bodenbildung ist Löss über Muschelkalk, aus dem sich je nach Mächtigkeit der Lössdecke Braunerden und Parabraunerden mit unterschiedlichem Grad an Pseudovergleyung entwickelt haben. Der Tongehalt steigt innerhalb der Profile von 51 ± 3 % in 0–5 cm auf 70 ± 4% in 50–60 cm Tiefe an, während der Sandgehalt durchgängig unter 5 % bleibt (Tu2 bis Tt). Die pH-Werte steigen in den gleichen Tiefenstufen von 6,0 auf 7,8. Die Gesamtvorräte an organischem Kohlenstoff und Stickstoff betragen 0,6 ± 0,2 kg C m<sup>-2</sup> und 20 ± 7 g N m<sup>-2</sup> in der organischen Auflage und 11,8 ± 1,9 kg C m<sup>-2</sup> und 1,1 ± 0,2 kg N m<sup>-2</sup> im Mineralboden von 0–60 cm Tiefe.

## Exkursionspunkt 1

### Messungen von Kohlendioxid und anderen klimawirksamen Gasen als Grundlage von Bi-lanzierungen

#### Vorstellung des „Eddy-Kovarianz“-Messturms

Ziel der Untersuchungen am „Eddy-Kovarianz“-Messturm ist die Beschreibung der Interaktion des Waldökosystems mit der Atmosphäre. Vegetation und Boden sind mit der Atmosphäre über Stoff- und Energieflüsse gekoppelt, insbesondere über den Austausch von klimawirksamen Spurengasen wie Wasserdampf, Kohlendioxid und Methan sowie durch Flüsse von fühlbarer und latenter Energie.

Am Eddy-Kovarianz-Messturm werden seit über 15 Jahren Kohlenstoffflüsse zeitlich hochaufgelöst gemessen und langfristig bilanziert. Derartige Langzeitbeobachtungen ermöglichen einerseits die Bewertung des Waldbestandes als langfristiger Kohlenstoffspeicher. Andererseits können Veränderungen der Kohlenstoffspeicherkapazität sowie anderer Ökosystemfunktionen in Reaktion auf Klimaschwankungen unter-

sucht werden. Wichtige Größen zur Beschreibung der gasförmigen Kohlenstoffflüsse sind die Bruttoprimärproduktion (Kohlenstoff-Aufnahme durch Fotosynthese), die Ökosystem-Respiration (Kohlenstoff-Abgabe durch Atmung), Bodenatmung sowie der Netto-Ökosystemaustausch, also die Bilanz der vorgenannten Flüsse.

Die Untersuchungen im unbewirtschafteten Waldbestand des Weberstedter Holzes bieten einzigartige Möglichkeiten, den Einfluss der Waldbewirtschaftung im Vergleich mit anderen Standorten zu beurteilen.

Insgesamt zeigt sich, dass der Wald im Weberstedter Holz eine verhältnismäßig große und stabile Senke für CO<sub>2</sub> ist (Abb. 1), mit nur einer geringen inter-annuellen Variabilität im Vergleich zu bewirtschafteten Wäldern (Abb. 2).

Die Exkursion gibt Einblick in das Spektrum der an dem Turm und seinem Umfeld gemessenen Größen, skizziert die Grundlagen der Messmethodik Eddy-Kovarianz und erläutert die Relevanz der Messungen im räumlichen und zeitlichen Kontext.

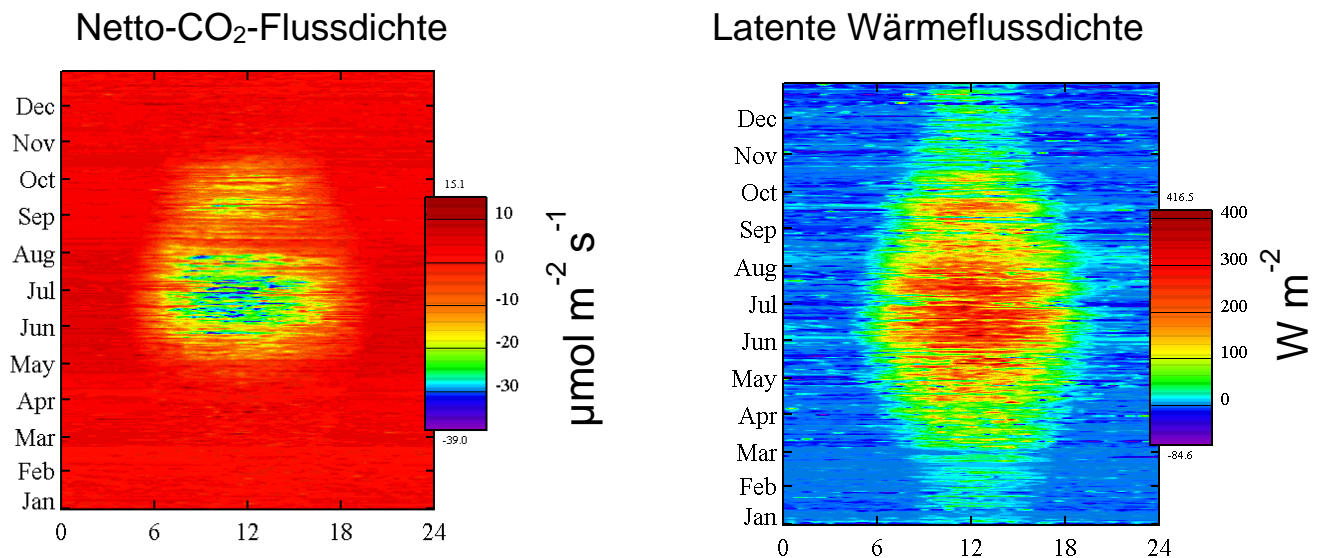


Abb. 1: „Fingerprint“-Diagramme zum Netto-CO<sub>2</sub>-Austausch und zum latenten Wärmefluss im Jahr 2003. Das Jahr 2003 war charakterisiert durch eine extreme Trockenheit im August, was zu einer starken Reduzierung der Netto-CO<sub>2</sub>-Aufnahme im August führte.

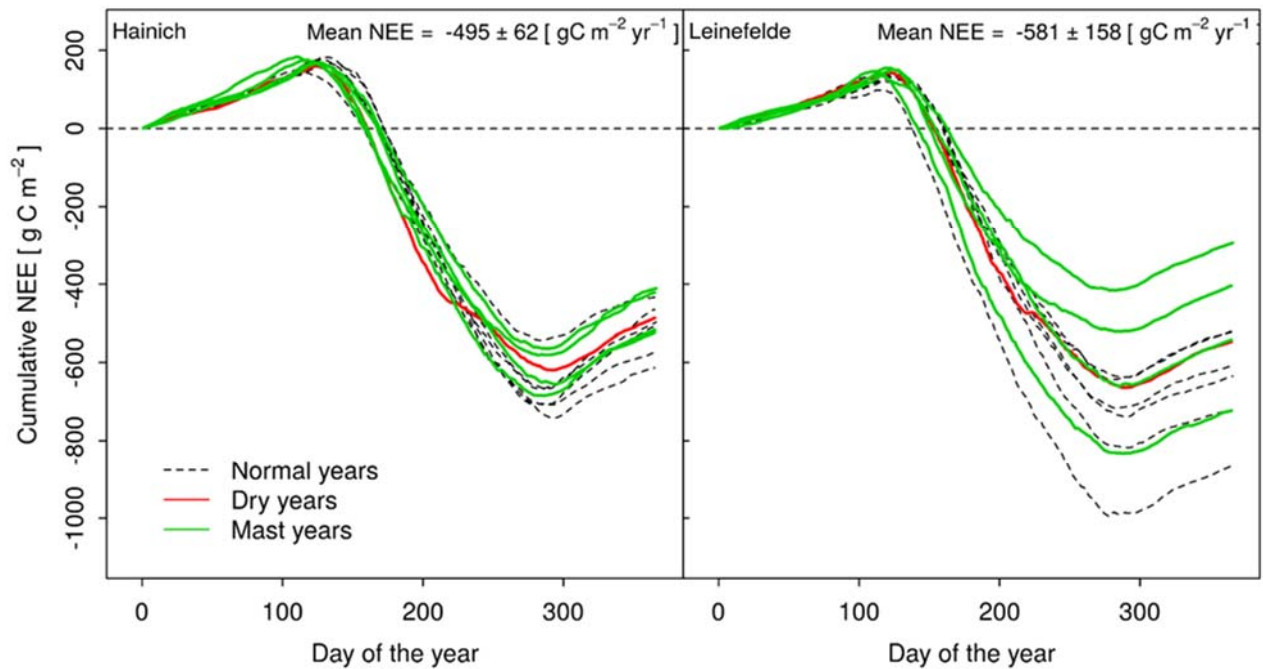


Abb. 2: Interannuelle Variabilität des kumulierten Netto-CO<sub>2</sub>-Austauschs (NEE) im Nationalpark Hainich im Vergleich zu einem bewirtschafteten nahe gelegenen Buchenwald bei Leinefelde

## Exkursionspunkt 2

### ***Vorstellung der Untersuchungen in der „Foot-print“-Fläche des Messturms***

Ziel der Untersuchungen in der „Footprint“-Fläche des Messturms ist es, die Ökosystemprozesse zu identifizieren und zu quantifizieren, die die langfristige Kohlenstoff-(C-)Dynamik und Netto-C-Bilanz des Waldbestandes (siehe Exkursionspunkt 1) bestimmen. Die wichtigsten untersuchten Komponenten sind: das Baumwachstum (dargestellt als Nettoprimärproduktion (NPP)), das Absterben der Bäume (Totholzproduktion), der Abbau von Totholz und die Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff im Boden. Zusammen mit den Klimadaten (Exkursionspunkt 1), Daten zur Bestandesstruktur (Baumartenzusammensetzung, Durchmesser- und Höhenverteilung) oder Isotopenmessungen kann beispielsweise die mittlere Verweildauer von Kohlenstoff im Bestand bestimmt werden, können Witterungseffekte (interannuelle Varia-

bilität) von Langzeiteffekten, die mit der natürlichen Waldentwicklung einhergehen, getrennt werden oder kann die Bedeutung von Kohlenstoff als wachstumslimitierender Faktor abgeleitet werden.

Als Flächenbezug für die Untersuchungen dient der sogenannte „Footprint“ des „Eddy-Kovarianz“-Messturms (= Bereich des Bestandes, dessen CO<sub>2</sub>-Flüsse vom Messturm erfasst werden, Abb. 3). Die wichtigsten Teilprojekte bzw. Messungen sind:

- wiederholte Bestandesinventuren (2000, 2005, 2011, geplant 2017)
- fortlaufende Dendrometermessungen
- jährlicher Streufall
- Isotopenmessungen
- Totholzmonitoring (2 Transekte, jeweils 1 km lang und 40 m breit, Aufnahme aller lebenden und toten Bäume mit BHD über 30 cm und dendro-ökologische Untersuchungen an toten Stämmen).

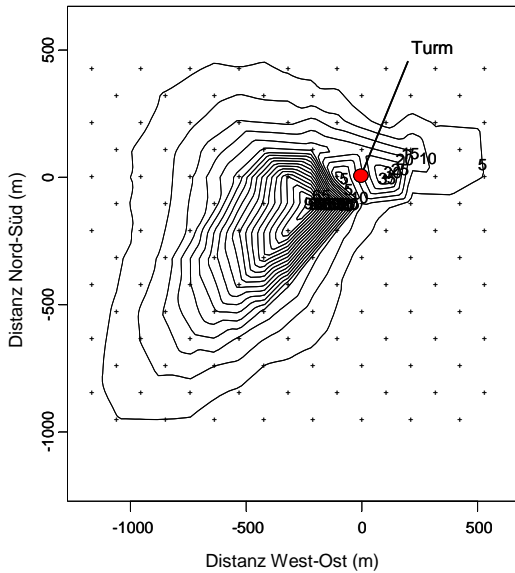


Abb. 3: „Footprint“ des Eddy-Kovarianz-Mess-turms. Die Isolinien geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der die eingefassten Flächen zur am Turm gemessenen CO<sub>2</sub>-Bilanz beitragen.

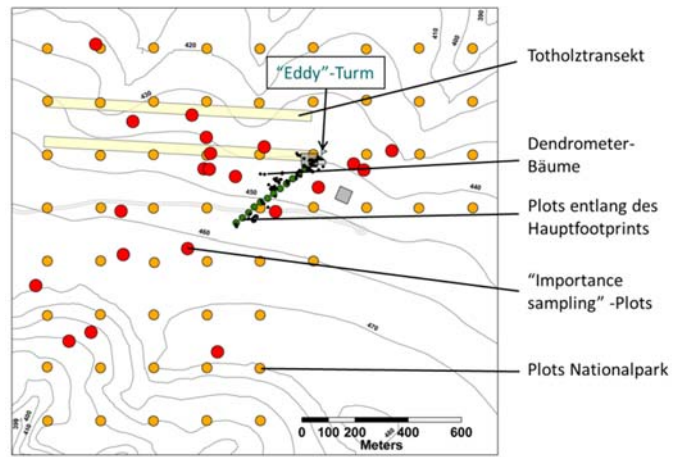


Abb. 4: Räumliche Verteilung der Inventurplots, Dendrometerbäume und Totholztransekte

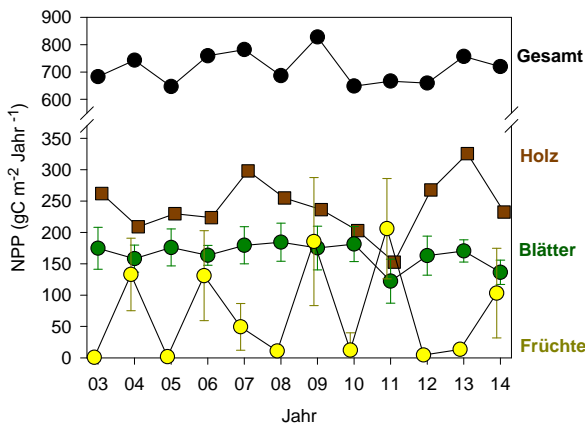


Abb. 5: Jährliche Netto-Primärproduktion (NPP) verschiedener Baumkompartimente

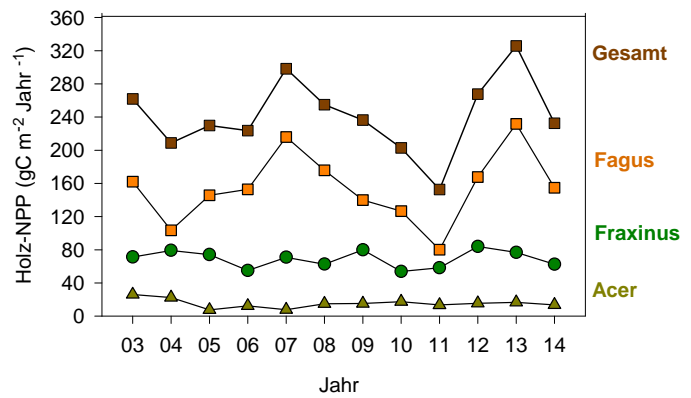


Abb. 6: Jährliche Produktion von Holzbiomasse (Holz-NPP) verschiedener Baumarten

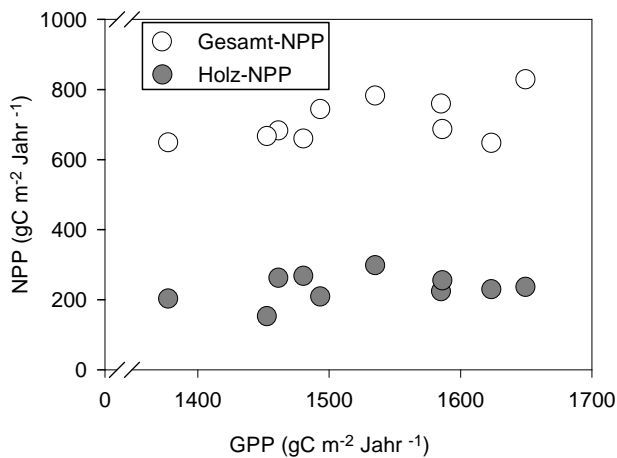


Abb. 7: Jährliche Netto-Primärproduktion (NPP) im Vergleich zur jährlichen Brutto-Primärproduktion (GPP)

### Exkursionspunkt 3

#### Vorstellung der bodenkundlichen Untersuchungen um den Messturm

Die Ziele der bodenkundlichen Untersuchungen im Bereich des Footprints des Messturms bestehen darin, festzustellen, ob sich die vom Turm beobachtete Kohlenstoffsenke auch durch Änderungen im Bodenkohlenstoffvorrat nachweisen lässt und welche Rolle gelöste organische Substanz für die Kohlenstoffbilanz am Standort spielt. Mit zwei verschiedenen Methoden wurden dabei auf Basis von jeweils 100 Probenahmepunkten im Footprint von 2000 bis 2004 bzw. von 2004 bis 2009 (Abb. 8) jeweils geringe Kohlenstoffzunahmen im Boden beobachtet ( $164$  bzw.  $65 \pm 29 \text{ g C m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ ). Bei der Quantifizierung der Vorratsänderung

stellt die exakte Bestimmung der Lagerungsdichten und deren Änderungen eine der größten Herausforderungen dar, weshalb die Ergebnisse nicht auf Tiefenstufen, sondern auf Bodenmassen pro Quadratmeter bezogen wurden (Abb. 9). Der Kohlenstoffaustrag aus dem Ökosystem über das Sickerwasser wird mit Saugplatten bestimmt und spielt mit  $2\text{--}3 \text{ g C m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$  keine sehr große Rolle. Darüber hinaus werden am Standort die zeitlichen Änderungen im Radiokohlenstoffgehalt ( $^{14}\text{C}$ ) des Bodens zur Bestimmung der C-Umsatzzeiten bestimmt, und die chemische Zusammensetzung der gelösten organischen Substanz wird charakterisiert.

Am Exkursionspunkt werden die verwendeten Methoden vorgestellt und die wichtigsten Ergebnisse erläutert.



Abb. 8: Beispiel für einen mit Rammkernsonde beprobten Bohrkern aus dem Hainich-NP

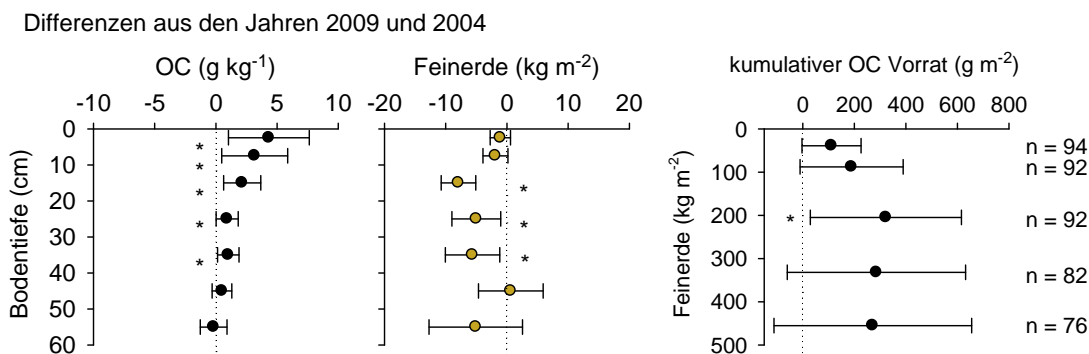


Abb. 9: Mittlere Unterschiede der in den Jahren 2004 und 2009 mit Rammkernsonde ermittelten C-Konzentrationen, Feinerdemassen und der C-Vorräte



## D-03: Bergbau- und Umweltgeschichte des Oberharzes

Matthias Deicke, Hans Ruppert

Geowissenschaftliches Zentrum der Georg-August-Universität Göttingen, Goldschmidtstraße 3, 37077 Göttingen

---

**Fahrtroute:** Göttingen – Schulenberg – Goslar (Rammelsberg) – Langelsheim – Zellerfeld – Bad Grund (Iberg) – Göttingen

### Einführung

Der Naturpark Harz lässt in seiner heutigen Erscheinung kaum erahnen, dass diese Region vom frühen Mittelalter bis in die Neuzeit intensiv für die Metallgewinnung genutzt wurde, die Wälder abgeholzt worden sind und die Böden bis heute hochgradig mit Schwermetallen belastet sind.

Der frühe Bergbau und die Verhüttung von Buntmetallerzen beeinträchtigten die Umwelt des Harzes in vielerlei Hinsicht. Neben Veränderungen im Umfeld der Gruben durch Tagebaue oder Abraumhalden war es vor allem der hohe Holzkohlenbedarf für die Erzverhüttung, welcher zu weitflächigen Kahlschlägen führte. Schadstofffreisetzung aus Erzhalde, der Erzaufbereitung und der Erzverhüttung belasteten massiv die Vegetation, die Böden und die Bachläufe. Atmosphärische Schwermetallimmissionen wurden über den Harz hinaus verfrachtet und lassen sich heute in teilweise weit entfernten Ablagerungen nachweisen. Die Abholzungen verstärkten die Bodenerosion im Harz. Hochwässer verfrachteten kontaminiertes Material in das Harzvorland, wo es im Überflutungsbereich der Flussauen teilweise wieder abgelagert wurde.

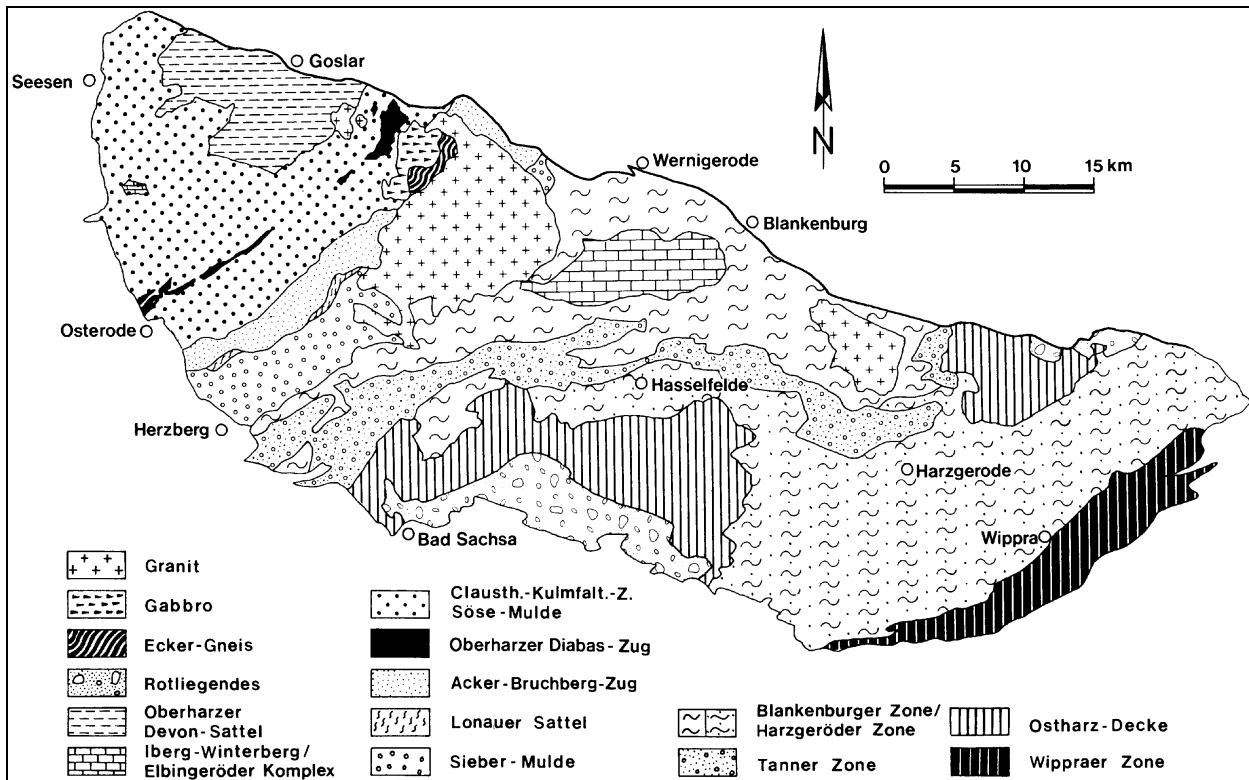
Die negativen Folgen der Harzer Metallgewinnung blieben nicht auf die Harzregion beschränkt und sind bis heute spürbar.

In der Exkursion werden Stätten des mittelalterlichen Bergbaus, der Verhüttung und der Holzkohlenproduktion besucht. Die jeweils technischen Prozesse werden unter den Gesichtspunkten der Umweltbelastung erläutert.

### Kurze Geologie des Harzes

Der Harz ist das nördlichste deutsche Mittelgebirge und gehört zu den Bundesländern Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Er bedeckt eine Fläche von ca. 2.000 km<sup>2</sup> und erreicht an seinem höchsten Berg, dem Brocken, eine Höhe von 1.142 m ü. NN. Der westliche (niedersächsische) Teil des Harzes wird als Oberharz bezeichnet.

Der Harz gehört wie das Rheinische Schiefergebirge im Westen und der Flechtinger Höhenzug im Nordosten geologisch zur rhenoheryzinen Zone des mitteleuropäischen Varistikums. Die Hauptfaltung der vorwiegend klastischen Sedimente erfolgte im Oberkarbon (asturische Phase). Der Faltenbau ist NW-vergent. Neben den Sedimentgesteinen (vorwiegend Grauwacken, Ton- und Siltschiefer) sind alle magmatischen Begleiterscheinungen einer Orogenese im Harz vertreten. Der initiale Vulkanismus ist durch devonische spilitisierte Basalte und Trachyte sowie deren Tuffe und Tuffite repräsentiert (Lüders 1988). Der Harzburger Gabbro wird dem synorogenen Plutonismus zugeordnet, während die Granite und der Kersantit postorogen intrudierten. Subsequente Vulkanite finden sich in Form von Rhyolithen und Latiten (Andesiten) im Mittel- und Unterharz. Bereits während der Rotliegendzeit wurde das Gebiet des heutigen Harzes wieder weitgehend eingerumpft. Die Transgression und Eindunstung des Zechsteinmeeres führte zur Ablagerung von Evaporiten, die besonders im Umfeld der Hunsrück-Oberharz-Schwelle hohe Anhydrit- und Gipsmächtigkeiten aufweisen (Sulfat-Plattform).



**Abb. 1:** Geologische Übersichtskarte des Harzes (aus Wachendorf 1986)

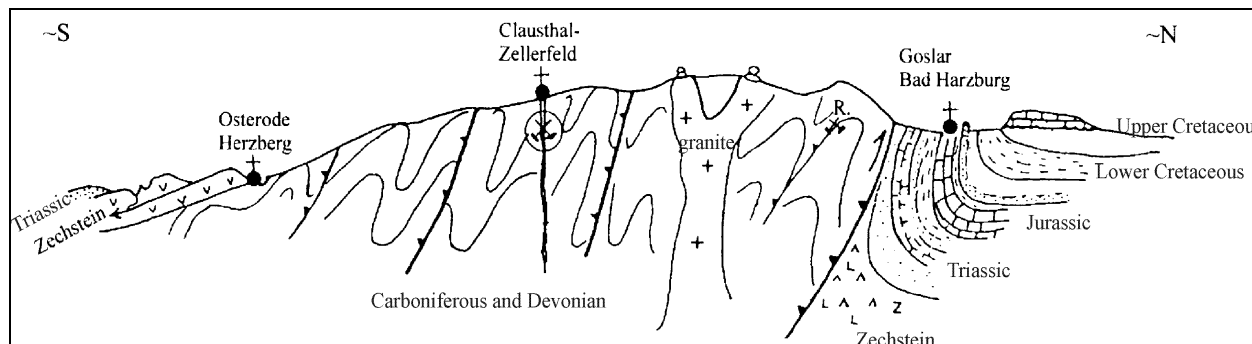
Die stärkste jüngere Hebung des Harzes erfolgte während der Oberkreide. Der Harz wurde als Pultscholle entlang herzynisch streichender Störungen über das umliegende Mesozoikum herausgehoben. Am nördlichen Harzrand beträgt der vertikale Versatz ca. 3.000 m. Dort wurden die mesozoischen Schichten überkippt und teilweise vom Harzpaläozoikum überlagert (Abb. 2). Am südlichen und westlichen Harzrand liegen die Gesteine des Perms diskordant auf dem gefalteten Karbon.

Tertiäre Ablagerungen beschränken sich auf Braunkohlen und Sande in Subrosionssenken am westlichen Harzrand. Im Pleistozän erreich-

te während des Elster- und Saale-Glazials das nordische Inlandeis den nördlichen Harzrand. Im Weichsel-Glazial waren die Hochlagen des Harzes selbst vergletschert.

Seit dem Beginn des Holozäns wachsen im Oberharz die Hochmoore. Im Vorland kommt es phasenweise zur Ablagerung mehrerer Meter mächtiger Auensedimente. Im Zechstein des südwestlichen Harzvorlands setzt eine intensive Verkarstung ein.

Im Oberharz und in seiner näheren Umgebung sind auf engstem Raum Erzlagerstätten unterschiedlicher Genese und Bildungsalter anzutreffen.



**Abb. 2:** Schematischer, stark vereinfachter, etwa N-S verlaufender Profilschnitt durch den Westharz (aus Kulke 1996)

Zu den Erzlagerstätten des Oberharzes, die sich bereits vor dem Mittelalter in Abbau befanden, zählen die Bunt- und Edelmetallagerstätte des Rammelsbergs bei Goslar sowie die der Oberharzer Gangzüge. Ein prämittelalterlicher Eisenerzbergbau ist im Oberharz für die Roteisenerze des Oberharzer Diabaszugs sowie für die Eisen-Mangan-Vererzungen des Ibersbergs belegt (Klappauf u. Linke 1990).

### **Bergbaugeschichte im Harzraum**

Im **Neolithikum** (bis ca. 1800 v. Chr.) gab es noch keinen Erzbergbau im Harzraum. Es befinden sich aber mehrere steinzeitliche Siedlungen im Umland des Harzes. Aus dem Harzgebirge selber sind zahlreiche steinzeitliche Funde bekannt, die zumindest auf eine regelmäßige Begehung des Gebirges schließen lassen (Valde-Nowak et al. 2004). Eine steinzeitliche Siedlung im Harz konnte bisher nicht nachgewiesen werden.

### **Bronzezeit (1800–800 v. Chr)**

Aus der Bronzezeit gibt es nach wie vor keinen gesicherten Beweis für Metallgewinnung im Harzraum. Alles, was an vermeintlichen „Befunden“ vorliegt, beruht auf Mutmaßungen und Wunschdenken verschiedener Bearbeiter und Autoren. Trotz dieser Tatsache ließ sich selbst das Rammelsberger Bergbaumuseum nicht davon abhalten, „3000 Jahre Bergbau“ auf die vor dem Museum flatternden Fahnen zu schreiben.

Verschiedene Untersuchungen in Auenbereichen sind in Bezug auf die Datierung der nachgewiesenen Anomalien unsicher (z. B. Birkefeld 1997) bzw. unseriös (Niehoff et al. 1992). Isotopengeochemische Untersuchungen an bronzezeitlichen Metallfunden bei Hannover schließen Harzer Lagerstätten als Erzlieferant zwar nicht aus, können das aber mit absoluter Sicherheit auch nicht bestätigen (z. B. Brockner et al. 1999).

Was ebenfalls gegen einen bronzezeitlichen Bergbau im Harz spricht, sind die Befunde aus zwei Menschenopferhöhlen der älteren Bronzezeit bei Osterode und der jüngeren Bronze-

zeit am Kyffhäuser. In beiden Höhlen konnten Metalle gefunden werden, die jedoch für bronzezeitliche Verhältnisse als ärmlich zu bewerten sind (Flindt u. Leiber 1999). Neben zinnreichen Bronzen (keine Zinnlagerstätten im Harz!) waren es Bernsteine und elfenbeinartiger Alltagschmuck, die auf intensive Handelsverflechtungen schließen lassen, nicht aber auf die Ausbeutung einer nahegelegenen Erzlagerstätte.

Die unweit des Kyffhäusers aufgefundene bronzezeitliche „Himmelscheibe von Nebra“ ließ sich isotopisch der Osttiroler Kupferlagerstätte am Mitterberg zuweisen (mündl. Mitteilung Pernicka 2004).

Anhand von Sedimentuntersuchungen der am südlichen Harzrand bei Herzberg gelegenen Erdfallsenken „Aschenhütter Teich“ und „Finnenbruch“ lässt sich eine bronzezeitliche Besiedelung dieser Region nachweisen. Ein Abbau des dort anstehenden Kupferschiefers ist aber nicht erkennbar (Begemann 2003, Deicke 2003).

### **Eisenzeit (800 v. Chr.–Chr. Geb.)**

Den bisher ältesten Hinweis auf frühe Metallgewinnung im Harzraum liefern die Torfe des vermoorten Erdfalls „Silberhohl“ bei Seesen (Hettwer 1999, Hettwer et al. 2003). Die älteste technogene Elementanreicherung im Silberhohl beschränkt sich auf die Schwermetalle **Cd, Cu, Pb** und **Zn**, was durch die Verhüttung von Rammelsberger Erzen erklärt werden könnte.

Ein weiterer Hinweis auf eisenzeitliche Metallgewinnung im Harzraum liefert das Bleiisotopenmuster eines Bronzenadelfragmentes von der „Pipinsburg“ bei Osterode. Dieses deckt sich mit dem des Bleierztes der nahe gelegenen Grube in Bad Grund (Brockner 1992).

### **Römische Kaiserzeit (0–400 A. D.)**

Der älteste archäologische Nachweis der Verhüttung von Harzer Erzen gelang bei der Ortschaft Düna am südlichen Harzrand bei Herzberg. Von 1981 bis 1985 wurde hier eine Siedlung freigelegt, in der eine intensive Metallge-

winnung betrieben wurde. Mittels <sup>14</sup>C- und Keramik-Datierungen konnte die Verhüttung von Rammelsberger, Oberharzer und Iberger Erzen sowie von Eisenerzen des Oberharzer Diabaszugs bereits in das 3.–5. Jahrhundert n. Chr. datiert werden. Der Hüttenbetrieb ist in Düna mit Unterbrechungen bis in das 13. Jahrhundert zu verfolgen (Klappauf u. Linke 1990).

Weitere Hinweise auf Erzverhüttung im Harzraum liefert die geochemische Untersuchung von Erdfallablagerungen des südlichen Harzvorlandes (Deicke 2005). In mehreren Erdfällen konnten für die römische Kaiserzeit Anreicherungen von **Pb** und den Begleitelementen **Bi** und **Sb** nachgewiesen werden, was auf eine Verhüttung von Blei- und evtl. Fahlerzen zwecks Silbergewinnung schließen lässt.

#### **Völkerwanderungszeit** (ca. 400–750 A. D.)

Über die Völkerwanderungszeit lässt sich nur wenig in Erfahrung bringen. Schriftliche Überlieferungen existieren für die Region noch nicht. Nach bisheriger Auffassung waren während der Völkerwanderungszeit weite Teile Norddeutschlands entvölkert. Jüngere pollenanalytische Untersuchungen (Beug et al. 1999) gehen davon aus, dass die Besiedelung in der Harzregion rückläufig war, aber nicht gänzlich verlassen wurde. Im Jahr 2001 wurden bei archäologischen Grabungen im Zuge des Neubaus der B 6 östlich von Wernigerode (Nordharz) völkerwanderungszeitliche Siedlungen ausgegraben. Diese Siedlungen wurden während der VWZ aus bisher unbekanntem Grund aufgegeben.

In den von Deicke (2003) und Begemann (2003) untersuchten, am südlichen Harzrand gelegenen Erdfällen „Aschenhütter Teich“, „Moosloch“ und „Finnenbruch“ (Abb. 3) setzen die technogenen Schwermetalleinträge im 4. Jh. plötzlich aus, ebenso die anthropogene Bodenerosion. Anhand des Pollenspektrums konnte eine Wiederbewaldung belegt werden. Die rückläufige Bildung von Seekreide im Aschenhütter Teich während der VWZ kann auf eine Klimaverschlechterung zurückzuführen sein.

Die siedlungsarme Zeit dauert im Aschenhütter Teich, im Moosloch und im Finnenbruch bis um 850 A. D.

#### **Frühes Mittelalter** (ca. 750–1000 A. D.)

Das Wissen über die frühmittelalterliche Metallgewinnung im Harzraum ist bisher noch gering, da es kaum historische Überlieferungen aus dieser Zeit gibt. Aus diesem Grund wird im Englischen auch von „Dark Ages“ gesprochen. Die heutigen Erkenntnisse über dieses Zeitalter sind Ergebnisse archäometrischer Untersuchungen.

Nach Holzkohlenanalysen der zahlreichen Überreste von Kohlenmeilern war bis etwa 800 A. D. der Oberharz durch seine natürlichen Waldgesellschaften geprägt. Ab dieser Zeit treten vermehrt Kohlenmeiler auf, deren Holzkohlenspektren Destruktionszeiger (Pioniergehölze) zeigen, die weit abseits von Siedlungen bereits auf eine intensive Waldnutzung schließen lassen (Hillebrecht 1989).

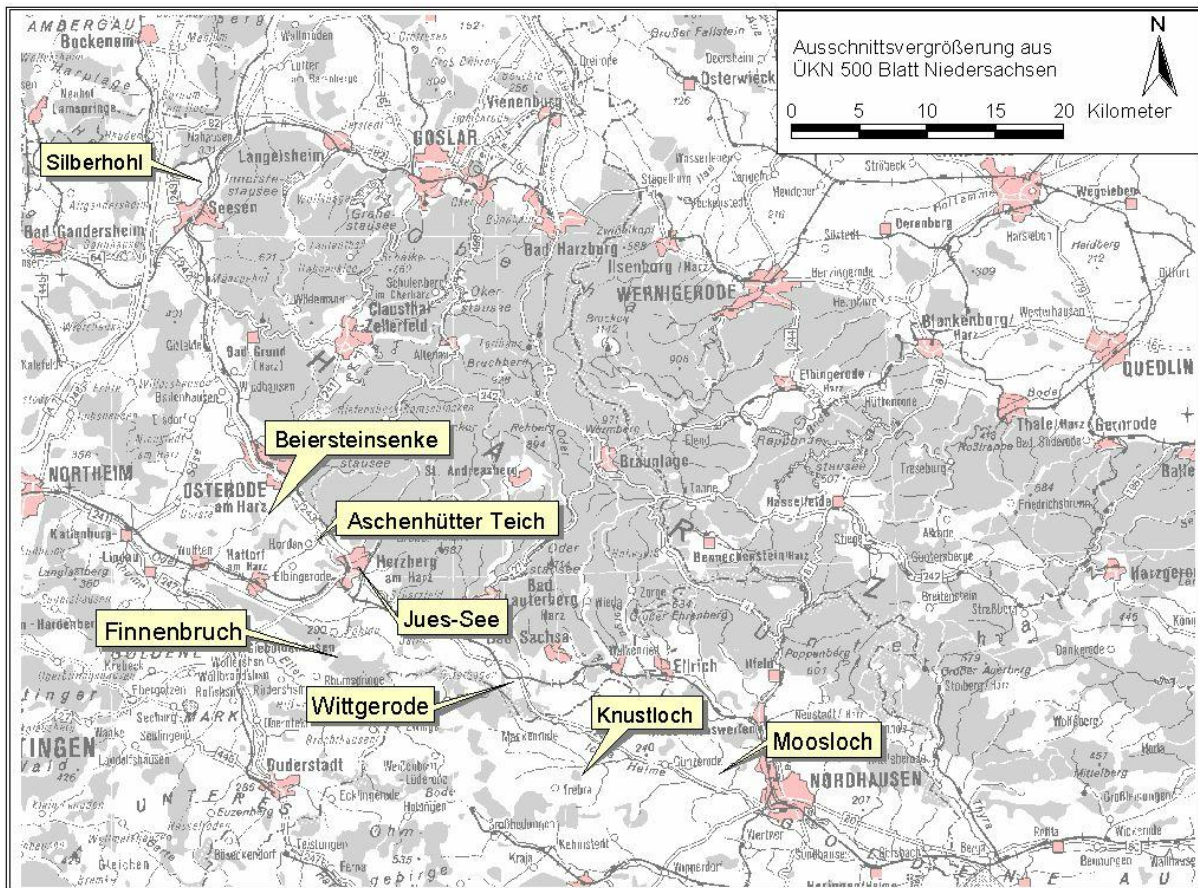
Ab ca. 850 A. D. treten immer häufiger kleine Schlackenhalde stets in der Nähe von Bachläufen auf, in denen meist Rammelsberger Erze oder Oberharzer Blei-/Fahlerze verhüttet worden sind. Bleiglättefunde (= Bleioxid) belegen die Silbergewinnung mittels Treibprozess. Im Jahr 965 A. D. wird eine Münzstätte bei Gittelde am westlichen Harzrand eingerichtet.

Ab 900 A. D.) treten immer häufiger die sog. Plattenschlackenplätze auf, und zwar bevorzugt in kammnahen windexponierten Lagen. Verhüttet wurde an diesem Schmelzplatztyp kupferreiches Rammelsberger Erz (Klappauf et al. 2000).

„... im Sachsenland sind Silberadern aufgedeckt worden ...“ (Widukind von Corvey 968). Dieses Zitat aus einer Schenkungsurkunde wurde bisher als der Beginn des Erzbergbaus am Rammelsberg bei Goslar gedeutet. Einen früheren Beginn des Bergbaus hielt man aufgrund der schweren Verhüttbarkeit der verwachsenen Blei-Kupfer-Zinkerze des Rammelsbergs nicht für möglich (Kraume 1955). Es stellt sich allerdings die Frage, warum ab 968 A. D. die Verhüttung auf einmal möglich gewesen sein soll, da ein Technologiesprung

um die Jahrtausendwende anhand der archäometrischen Erkenntnisse nicht erkennbar ist (Deicke 2000). Absolut unzutreffend ist die Bezeichnung „Silberadern“ sowie die Verwendung des Plurals für die Rammelsberger Erzlagerstätte, deren einzelner linsenförmiger Massivsulfidkörper dieser Beschreibung in keiner Weise entspricht.

Der Erzreichtum des Harzes stand auch im Interesse der mittelalterlichen Herrscher. Der Harz und das südliche Harzvorland wurden ab 919 A.D. zum Stammland der ersten deutschen Kaiser und Könige aus dem Geschlecht der Liudolfinger. Zahlreiche Pfalzen und Königssitze entstehen im Harzrundland.



**Abb. 3:** Lage von geochemisch und palynologisch untersuchten Erdfallsedimenten im Zechsteingürtel des südwestlichen Harzrandes (aus Deicke 2005)

### Hohes Mittelalter (1000–1250 A. D.)

Für die Zeit um die Jahrtausendwende ist eine Ausweitung der Verhüttung von Harzer Erzen festzustellen, die es in diesem Umfang vorher nicht gegeben hatte. Der Bedarf an Holz und Holzkohlen überstieg mengenmäßig den des zu verhüttenden Erzes um ein Vielfaches, was zur Folge hatte, dass man das Erz zur Holzkohle transportierte. Ganze Waldgebiete wurden wahllos und unsystematisch für die Holzkohlegewinnung abgeholzt (Abb. 4), was bereits nach wenigen Jahren der Waldnutzung zu

regionalen Energiekrisen und lokal sogar zum Erliegen des Bergbaus führte (Hillebrecht 1982, 1989).

Da eine nachhaltige Waldnutzung in Form einer geregelten Forstwirtschaft erst am Anfang des 18. Jahrhunderts im Harz eingeführt wurde, bestand die Notwendigkeit, das Erz auf immer weitere Entfernungen in noch waldbedeckte Gebiete zu transportieren. Schlackenhalde als Abfallprodukte der zahlreichen kleinen



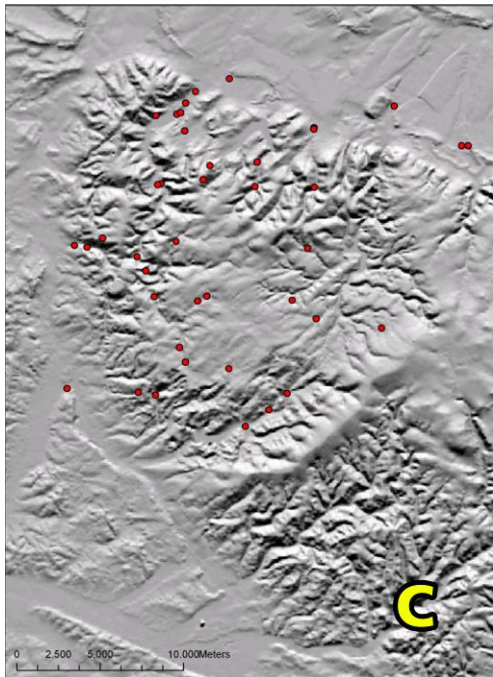
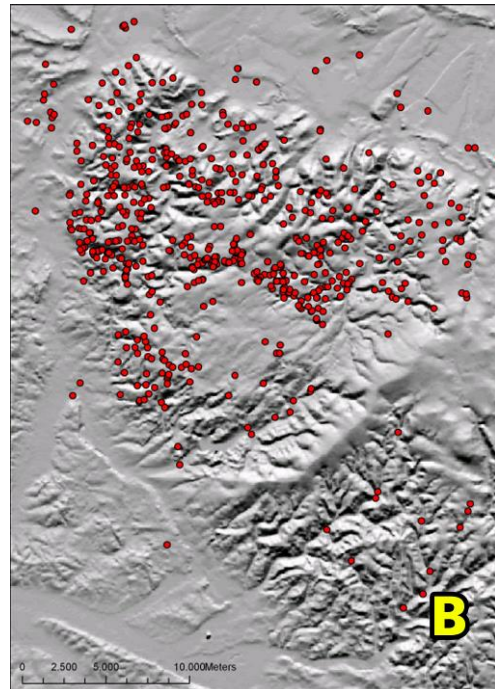
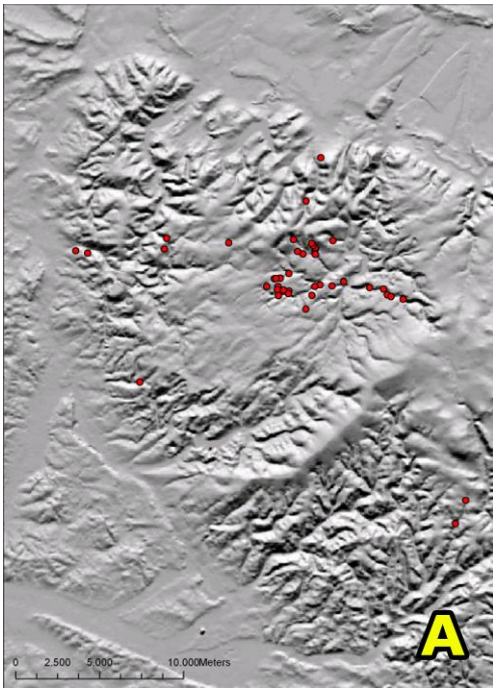
Waldhütten dieser Zeit sind weitab der Lagerstätten über den ganzen Harz verteilt vorzufinden (Abb. 5B).

Zahlreiche Siedlungen und Handelsorte entstehen im Umfeld des Harzes sowie die ersten

dauerhaften Besiedlungen im Harz. Ab dem 12. Jahrhundert wächst der Einfluss der Klöster (v.a. der Zisterzienser) auf Bergbau und Verhüttung.



**Abb. 4:** Imaginäre Harzlandschaft im 12. Jahrhundert



**Abb. 5:** Karte des Westharzes mit historischen Verhüttungsstandorten (Stand: 2003)

A) Schmelzplätze vor 850 A.D.

B) Schmelzplätze von 850–1250 A.D.

C) Schmelzplätze nach 1250 A.D. finden sich bevorzugt in den Flusstälern.

Die mittelalterlichen Schwermetallgehalte in den untersuchten Erdfallablagerungen sind in ihrer Intensität in Mitteleuropa unübertroffen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass in das hohe Mittelalter datierende Schwermetallanreicherungen auch in großen Entfernungen zum Harz z. B. in schwedischen Seen (Brännvall et al. 2001) oder im grönländischen Inlandeis (Hong et al. 1994, 1996) zu großen Teilen auf die Harzer Buntmetallverhüttung zurückzuführen sind. Allein die hohe Dichte an Schmelzplätzen im mittelalterlichen Harz spricht für diese Vermutung.

### **Spätes Mittelalter (1250–1500 A.D.)**

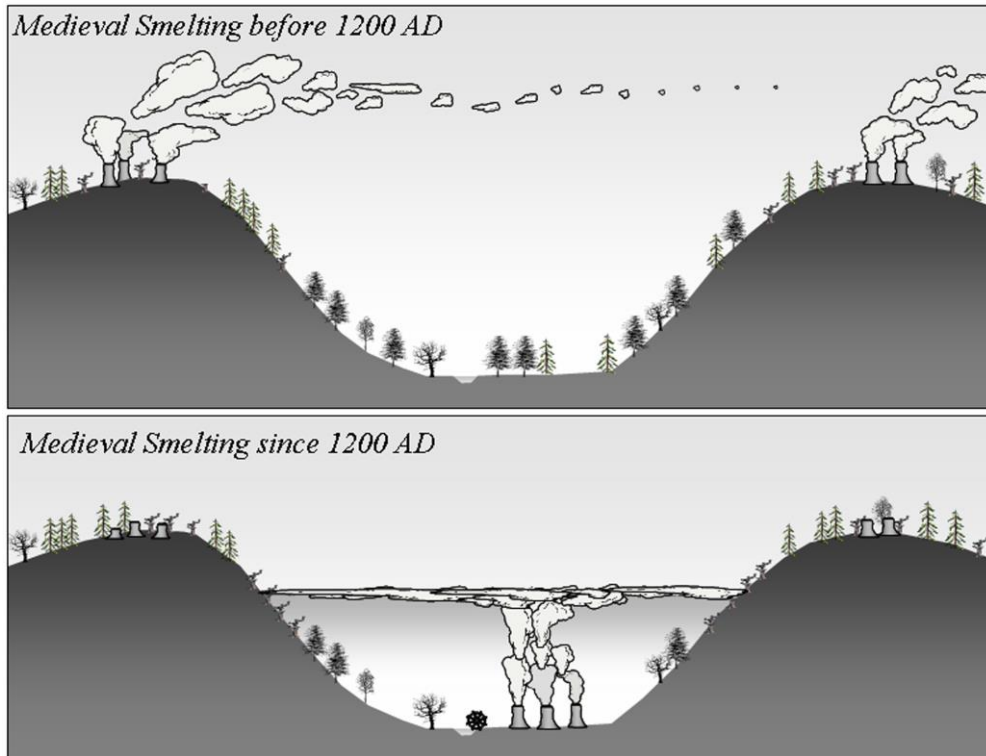
Mit der Nutzung der Wasserkraft ab dem 13. Jh. erfolgte eine Verlagerung der Hüttenbetriebe von den windexponierten Kammlagen in die windgeschützten Flusstäler (Abb. 6). Dadurch wurde die atmosphärische Verfrachtung des Hüttenrauchs stark eingeschränkt, was sich in den skandinavischen Seesedimenten durch stark rückläufige Bleieinträge (Abb. 7) bemerkbar macht (Deicke et al. 2007). Die Anzahl der Schmelzplätze wurde dadurch stark



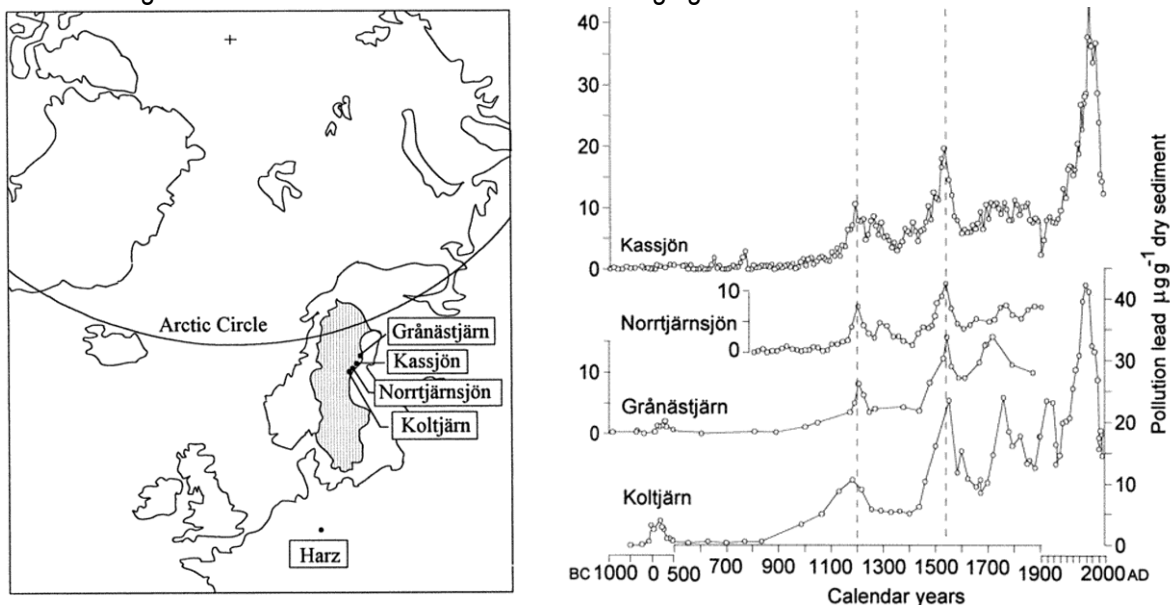
reduziert, die produzierte Metallmenge aber nicht.

Durch das Vordringen der Gruben in größere Teufen stellten sich zunehmend Wasserlösungsprobleme ein. Zuvor nicht genutzte ärmerre Erze wurden verhüttet (Deicke et al. 2000) und die ersten längeren Wasserlösungsstollen angelegt.

In der Mitte des 14. Jh. führten die wirtschaftlichen Auswirkungen der Pest und der Holzmangel zum Rückgang, aber nicht zum vollständigen Niedergang der mittelalterlichen Montanindustrie.



**Abb. 6:** Um 1200 A.D. erfolgte mit der Nutzung wasserkraftbetriebener Blasebälge eine Verlagerung der Schmelzplätze von den Kammlagen in die Täler. Die atmosphärische Verfrachtung des Hüttenrauchs wurde dadurch eingeschränkt. In den Tälern bildeten sich Smoglagen.



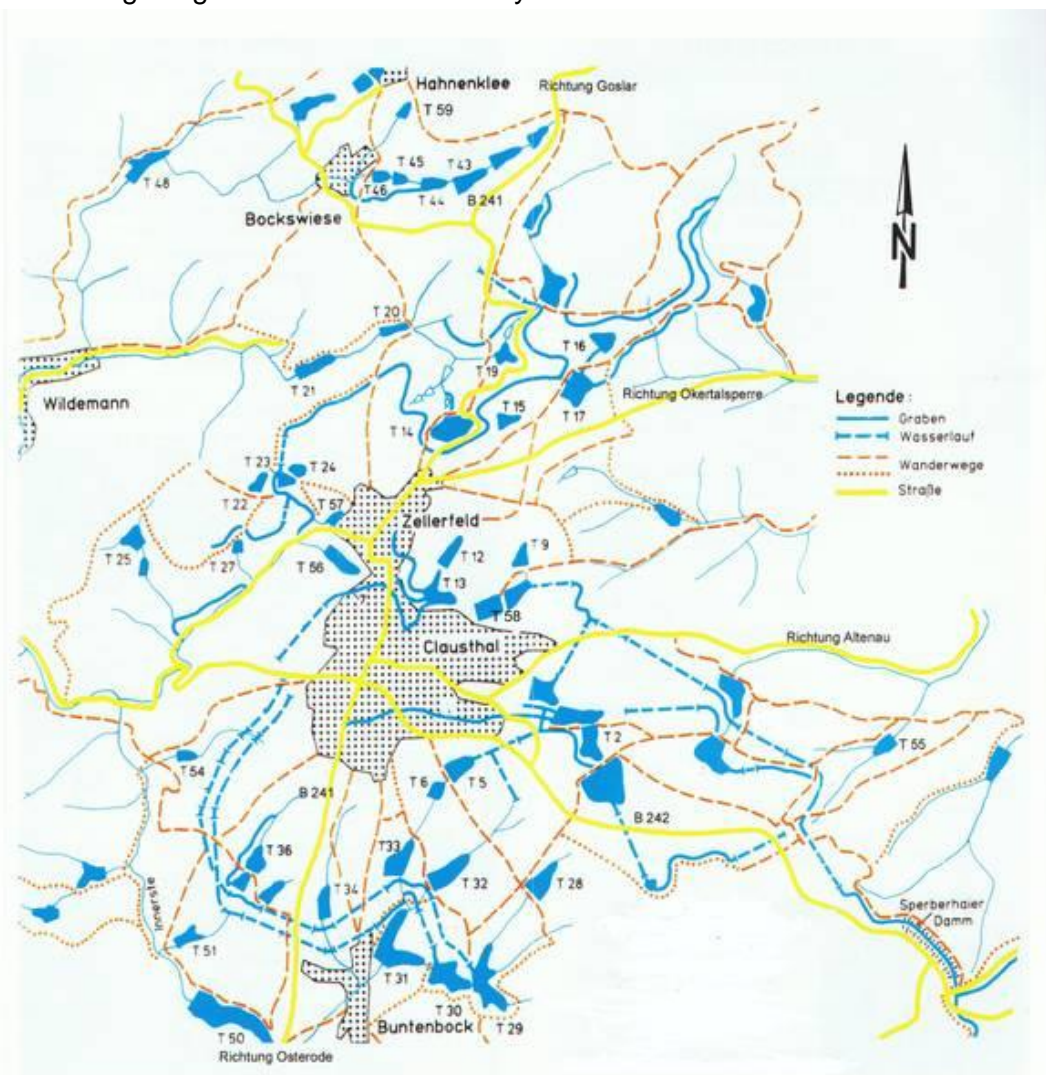
**Abb. 7:** Lage des Harzes und der nordschwedischen Seen Gränästjärn, Kassjön, Norrtjärnsjön und Koltjärn. Anthropogene Bleigehalte in nordschwedischen Seesedimenten. Die erhöhten Gehalte um 1200 A.D. sind vermutlich auf den Eintrag von Luftschadstoffen aus der Harzer Metallgewinnung zurückzuführen; das Maximum um 1600 A.D. auf die Verhüttung von lokalen Erzen (Abbildung aus Brännvall et al. 1999).

## Neuzeit (1500 A. D.–heute)

Nach einer etwa 150-jährigen Wüstungsperiode und der Erholung der Waldbestände wurden der Bergbau und die Verhüttung mit der Anwendung neuer Technologien wieder intensiviert. Die Silbergewinnung stand dabei im Mittelpunkt. Um Bergarbeiter in den Harz zu locken, wurden zahlreiche Bergfreiheiten erlassen sowie freie Bergstädte gegründet. Der Dreißigjährige Krieg (1618–1648) führte zur Stagnation im Bergbau.

Die intensive Nutzung der Wasserkraft wurde durch ein ausgeklügeltes und vernetztes Sys-

tem von Stauteichen, Zuleitungsgräben und Wasserläufen ermöglicht (vgl. Abb. 8). Das Oberharzer Wasserregal wurde vom 16. bis ins 19. Jahrhundert laufend ausgebaut. Die Wasserkraft ist bis zur Elektrifizierung die einzige Energiequelle zur Erz- und Personenförderung, zur Erzaufbereitung und zur Schachtsümpfung. Neue Technologien wurden erfunden und eingesetzt (z. B. Fahrkunst, leistungsfähige Pumpen, Dynamitvorläufer, Drahtseil), und damit wurde das Vordringen in größere Tiefen ermöglicht.



**Abb. 8:** Beispielhafter Ausschnitt aus dem Oberharzer Wasserregal (Quelle: Internetbeitrag der Harzwasserverwerke)

Um 1720 führte eine erneute Rohstoffkrise (Holz und Holzkohle) zu Produktionseinschränkungen in der Montanwirtschaft. Erst ab 1760 begann man mit gezielten Fichtenpflanzungen.

Der enorme Holzverbrauch stagnierte erst mit dem Bau der Eisenbahn durch den Import von Steinkohlen und Koks aus dem Ruhrgebiet

bzw. durch den Export von Erzen am Ende des 19. Jahrhunderts.

Bereits Agricola beschrieb um 1583 die negativen Auswirkungen der Metallgewinnung auf die Umwelt. Die Auswirkungen des Hüttenrauchs sowie die damit im Zusammenhang stehenden Waldschäden sind bereits im 17. Jh. bekannt. Erste Waldschadenskartierungen wurden im 19. Jh. durchgeführt. Verschiedene Maßnahmen zur Luftreinhaltung erfolgten bereits ab dem 16. Jh. (Steinsiek 1984).

Ab dem 17. Jh., aber besonders ab der Mitte des 19. Jh. machte der Import von Überseeerzen den Harzer Erzen zunehmende Konkurrenz. Die ersten Folgen der Globalisierung schlugen sich auf den Harzer Bergbau nieder.

Um 1860 bekam der Harzer Bergbau einen erneuten Aufschwung durch die bisher nicht genutzte Zinkblende. Ein intensiver Nachlesebergbau sowie die Aufarbeitung alter Bergbau- und Schlackenhalde setzten ein.

### **Das Ende des Erzbergbaus im Harz**

Mit der Weltwirtschaftskrise von 1930 kam das Ende für die meisten Harzer Gruben. 1988 schloss die Rammelsberger Grube wegen Erschöpfung der Lagerstätte. Der durch die Vereinigung der deutschen Staaten unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht mehr rentable Abbau von Kupferschiefer im Mansfelder Revier kam im Herbst 1990 zu seinem Ende.

Die Schließung der Grube „Hilfe Gottes“ bei Bad Grund als letzte Gangerzgrube wurde jahrelang immer wieder verzögert. Von 1945 bis 1992 wurde hier mehr Erz gefördert als im gesamten Oberharzer Revier in seiner ganzen Geschichte zuvor. Zum Schluss wurden raubbauartig nur noch die erreichbarsten Partien abgebaut. Mit der Schließung der Grube „Hilfe Gottes“ in Bad Grund ging der Harzer Erzbergbau 1992 endgültig zu Ende.

### **Zukunft**

Umfangreiche Suchmaßnahmen nach bisher unbekanntem Erzlagerstätten im Harz wurden immer wieder mit verschiedenen Methoden

durchgeführt. Durchgeführte Tiefbohrungen und das Anlegen von Suchstollen kamen zu keinem positiven Ergebnis. Lediglich die Geowissenschaften profitierten von diesen Untersuchungen.

In den 80er-Jahren wurde mit einer umfangreichen Bachbettprospektion durch die BGR der letzte Versuch gestartet, Lagerstätten ausfindig zu machen. Doch erwies sich diese Methode trotz z.T. extrem hoher Schwermetallgehalte in den Bachsedimenten für den Harz als völlig ungeeignet. Bergbau- und Verhüttungshalden in bisher unbekannter Zahl sind für diese hohen Schwermetallgehalte verantwortlich. Diese machen das Erkennen einer durch anstehende Erzgänge verursachten natürlichen Schwermetall-Anomalie unmöglich.

Abgesehen von der Rammelsberger Grube wurden der Kupferschieferabbau und der Gangerzabbau nicht wegen Erschöpfung der Lagerstätte, sondern aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt. Allein in der Grube „Hilfe Gottes“ sind noch mehrere Millionen Tonnen Bleizinkerze bekannt. Mit den durch das rasante Wirtschaftswachstum in China und Indien ausgelösten steigenden Rohstoff- und Energiepreisen könnte die Wiederaufnahme alter Gruben interessant werden.

Konkrete Abbaugenehmigungen liegen für die bei Oker gelegenen Halden bestehend aus Rückständen aus der Flotation von Rammelsberger Erzen vor. Bei weiter steigenden Kupferpreisen und optimierter Flotationstechnologie könnte eine erneute Flotation die Restergehalte ausbeuten.

Jüngere Untersuchungen im Gosetal bei Goslar, ca. 2 km westlich der Rammelsberg-Lagerstätte, haben eine geophysikalische Anomalie nachgewiesen, die als eine mögliche Sulfidz-lagerstätte interpretiert wird. Sollte sich dieses bestätigen, so wäre das der größte Erzlagerstättenfund in Mitteleuropa seit Jahrzehnten. Nach ersten Abschätzungen werden förderbare Metallgehalte in einem Wert von > 1 Milliarde Euro erwartet. Im Jahr 2009 abgeteufte Bohrungen erbrachten noch keinen Nachweis einer Erzlagerstätte. Ergebnisse aus der Bohrkampagne im Jahr 2011 wurden bisher nicht veröffentlicht.



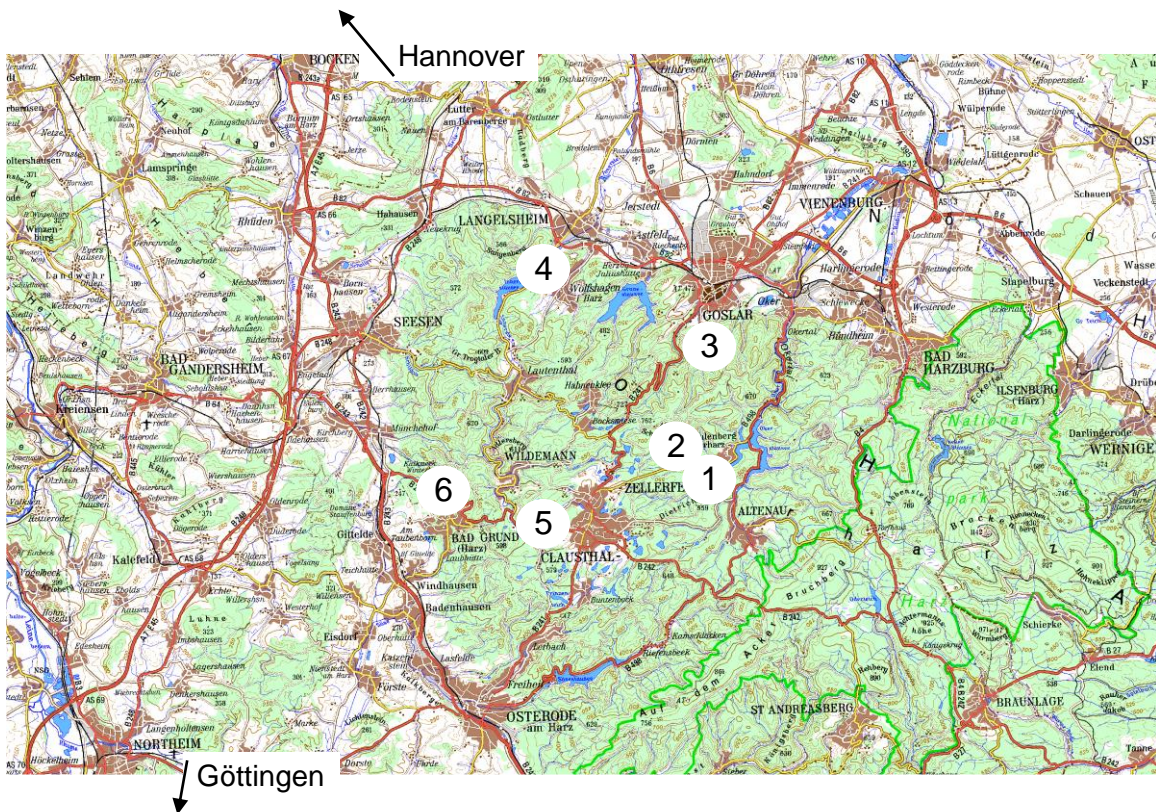


Abb. 9: Lage der Exkursionshaltepunkte (Ausschnitt aus TÜK 200 Blatt Goslar CC 4726)

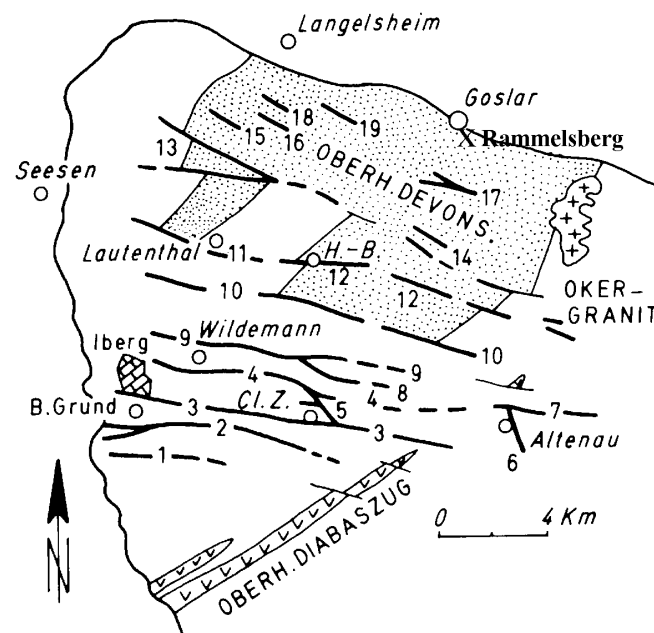
### Halt 1: Bergbauhalde und Gangausbiss auf dem Bockswieser Gangzug

Der Bockswieser Gangzug (= Nr. 12 in Abb. 10) ist in mehrere Bergbaureviere eingeteilt und auf insgesamt ca. 12 km Länge vom Innerstetal im Westen bis in das Kellwassertal im Osten zu verfolgen. Der Bergbau in dem hier besuchten Schulenberg Revier wird 1532 das erste Mal erwähnt und wurde hier bis 1904 betrieben. Die geförderten Erze wurden unter Nutzung von Wasserkraft in Oberschulenberg gepect.

Der Ausbiss des Bockswieser Gangzugs ist hier auf mehrere Hundert Meter zu verfolgen.

Der Gang ist bis zu 8 m breit und besteht aus einer oberflächlich stark verwitterten und kavernen Masse von derbem Quarz und etwas Kalkspat. Im Abraum tritt als Erzmineral hauptsächlich Zinkblende und in geringeren Mengen auch Bleiglanz, Kupferkies und Malachit auf.

Bei den zahlreichen trichterförmigen Mulden (Pingen) im Bereich des Gangzugs handelt es sich um ehemalige Tagebauten auf potenzielle Vererzungen. Aufgrund der geringen Vererzung und der extrem harten Gangart kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei vielen Pingen um erfolglose Abbauersuche handelt.



**Abb. 10:** Die wichtigsten Erzgänge im Oberharz sowie die Lage der genannten Lagerstätten Rammelsberg, Iberg und des Oberharzer Diabaszugs (aus Mohr 1993)

Bei den **Oberharzer Gangvererzungen** handelt es sich um hydrothermale Ablagerungen in insgesamt 19 größeren Gangzügen (Abb. 10). Die Gangzüge sind an WNW-ESE streichende Störungszonen gebunden, an denen i. d. R. der nördliche Bereich angehoben ist. Als Erze treten hauptsächlich Zinkblende und silberhaltiger Bleiglanz auf, während Kupferkies nur von untergeordneter Bedeutung ist. Bei den Gangarten dominieren Quarz, Schwespat, Kalkspat und Dolomit. Im Gegensatz zum Rammelsberger Erz ermöglichte der Habitus der Gangerze (monomineralische Ausfällung) eine Trennung der einzelnen Erzmineralphasen voneinander sowie eine Abscheidung der Gangart mit einfachen mechanischen Mitteln vor der Verhüttung.

Über das genaue Alter der Oberharzer Erzgänge herrscht bis heute noch keine einheitliche Meinung. Sicher ist lediglich, dass die Erzgenese in keinerlei Zusammenhang mit dem Brockenpluton steht, obwohl dieses in der älteren Literatur und in geologischen Führern behauptet wird (z. B. Dahlgrün 1950, oder in älteren Arbeiten von Mohr). Allein die Tatsache, dass sich die Vererzungen in Störungszonen befinden, die den Kersantit und in den Randbereichen des Harzes sogar den Buntsandstein verworfen haben, lässt einen genetischen Zusammenhang mit der oberkarbonen Intrusion des Brockengranits ausschließen. Das radiometri-

sche Alter des Brockengranits beträgt  $293 \pm 2$  ma und das des Okergranits  $296 \pm 2$  ma (Mohr 1993), das Hauptbildungsalter der Hydrothermalgänge liegt im Oberharz aber bei ca. 170–180 ma (Haak u. Leveque 1995). Die Vererzung erfolgte in mehreren Phasen, was auch an der Erzstruktur (Ringelerze, Kokardenerze) deutlich wird. Für die im südlichen Harz gelegenen Schwespatgänge wird ein kreidezeitliches Alter angenommen (Stoppel u. Gundlach 1972).

Für die Herkunft der Bleiglanzvererzungen wird isotopengeochemisch eine Umlagerung von typischem Krusten-**Pb** aus den umgebenden paläozoischen Gesteinen angenommen, eine Herkunft aus dem Granit aber ausgeschlossen (Haak u. Leveque 1995). Die Sulfat-**S**-Isotope des Schwespats decken sich mit denen des harzumgebenden Zechsteins. Fluide Einschlüsse weisen hohe Salinitäten auf. Der „Motor“ für die hydrothermalen Aktivitäten dürfte im postulierten „Grunder“ oder „Clausthaler Pluton“ zu finden sein. Eine nachgewiesene positive Gravitationsanomalie unterstützt diese These (Mohr 1993).



## Halt 2: Neuzeitlicher Meilerplatz bei Oberschulenberg

Im Harz finden sich Tausende von terrassenartigen Plateaus in den Berghängen stets in der Nähe von Bachläufen. Es handelt sich hierbei um den Standort eines ehemaligen Platzmeilers zwecks Holzkohलगewinnung (Abb. 11 u. 12).



Abb. 11: Holzkohlenmeiler im Betrieb

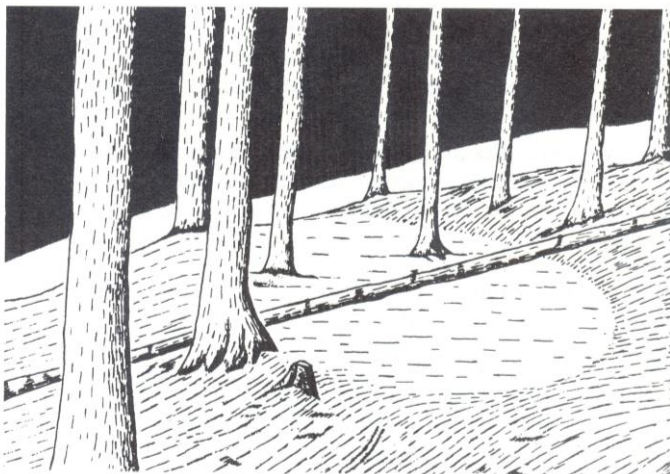


Abb. 12: Skizze eines typischen Meilerplatzes (aus Hillebrecht 1989)

Mit dieser Technik wurden ab dem 11./12. Jh. Holzkohlen produziert. Bis zu diesem Zeitpunkt fand die Verkohlung in den kleineren sog. „Grubenmeilern“ statt. Hierbei handelt es sich um holzgefüllte und mit Erde bedeckte Gruben. Diese sind heute im Gelände wesentlich schwerer aufzufinden.

Holzkohle ist keineswegs reiner Kohlenstoff, sondern ein kompliziertes Gemisch organischer Verbindungen mit 81–90 % **C**, 3 % **H**, 6 % **O**, 1 % **N**, 6 % **H<sub>2</sub>O** und 1–2 % Asche.

Anhand der Untersuchung von Holzkohlen alter Meilerplätze lässt sich die Vegetationszu-

Die kuppelförmigen Holzkohlenmeiler hatten einen Durchmesser von ca. 6–8 m und eine Höhe von 2–3 m. Das aufgeschichtete Holz wurde mit Erde abgedeckt und durch einen zentralen Schacht gezündet. Bei Temperaturen von ca. 350–400 °C verkohlte das Holz. Flüchtige, z. T. stark krebserregende Kohlenwasserstoffe entwichen mit dem Rauch, dem sog. „Holzgeist“. Viskose Kohlenwasserstoffe (Holzteer) sickerten ins Erdreich. Pro Tonne Holz entstanden ca. 130 kg Holzteer.

Die Verkohlung dauerte etwa 1–2 Wochen. Dabei verringerte sich das Volumen des Meilers um ca. ein Drittel. Ein Kohlenmeiler bedurfte ständiger Überwachung, denn etwaige Einsackungen und damit Luftzutritte mussten sofort wieder abgedeckt werden. Verfärbt sich der Rauch von weiß nach blau, sind die Kohlen fertig. Dann wurde der Kohlenmeiler gelöscht.

sammensetzung im Umfeld eines Meilers zu definierten Zeiträumen rekonstruieren. Die Datierung erfolgt dabei über <sup>14</sup>C. Nach den Untersuchungen von Hillebrecht (1982, 1989) weist der Harz bis in das 9. Jh. eine natürliche Waldzusammensetzung auf. Ab dieser Zeit treten vermehrt „Destruktionsanzeiger“ bzw. Pioniergehölze auf (z. B. *Betula*, *Corylus*, *Populus*, *Salix*, *Sorbus*), ein sicheres Indiz für die frühmittelalterliche Metallgewinnung im Harzraum. Eine indirekte Förderung der Fichte erfolgte in siedlungsnahen Waldgebieten durch Waldbe- weidung ab dem Mittelalter.

## Energiebedarf der Schmelzhütten

Die Abholzung der Wälder zwecks Energiegewinnung war wohl der folgenschwerste Eingriff in die natürlichen Ökosysteme. Eine mit sehr vielen Unwägbarkeiten verbundene Größenvorstellung über den Holzbedarf bekommt man, wenn man davon ausgeht, dass bei der Verhüttung das benötigte Gewichtsverhältnis von Erz zu Holzkohle ungefähr 1:3 bzw. das Volumenverhältnis 1:30 betrug. Unter optimalen Bedingungen mussten, um einen Kupferwürfel von 50 cm Kantenlänge (entspricht ca.

1 t Cu) aus kupferreichen Erzen des Rammelsbergs zu gewinnen, ungefähr 1.500 m<sup>2</sup> eines 120-jährigen Buchenbestandes geschlagen werden. Die für die Erzröstung benötigte Holzmenge ist hierbei nicht berücksichtigt. Um das 10. Jahrhundert war der Holzverbrauch in den meist obertägigen Gruben noch gering. Trotzdem lassen sich bereits für das 10. Jh. in Meilern ursprünglicher Rotbuchenstandorte häufig nur noch minderwertige Hölzer von geringer Mächtigkeit nachweisen (Hillebrecht 1982).

## Halt 3: Ehemalige Buntmetallerzgrube Rammelsberg

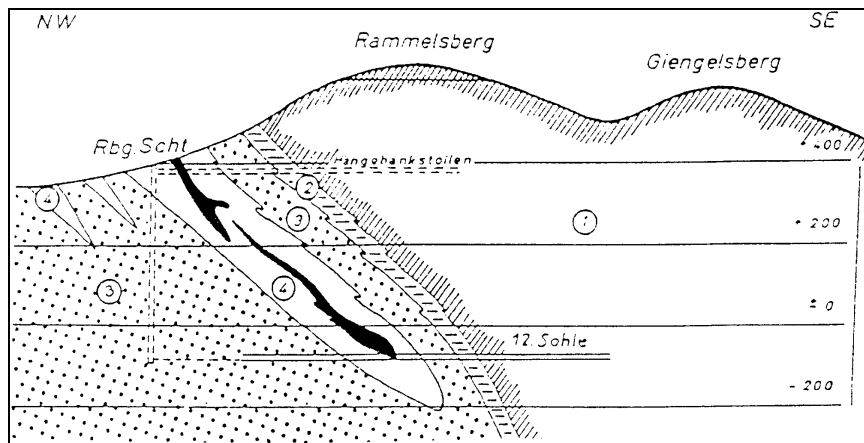


Abb. 13: Schematisches Profil der Rammelsberger Lagerstätte (nach Kraume 1955)

Bei der Rammelsberger Lagerstätte handelt es sich um zwei Massivsulfiderzkörper, das Alte und das Neue Lager, und noch kleinere vorwiegend Baryt führende Erzkörper. Die gesamte Roherzmenge betrug ca. 27 mt mit einem Metallinhalt von etwa 1,6 mt **Pb**, 3,6 mt **Zn**, 0,3 mt **Cu**, 3 kt **Ag** sowie zahlreichen weiteren Elementen wie **Au**, **Cd**, **Sb**, **Ni**, **In**, **Tl**, **Ge**, **Ga** usw.

Die beiden linsenförmigen Erzkörper sind überkippt und fallen auf mehrere Hundert Meter in den Berg hinein (Abb. 13). Das Alte Lager mit einer Mächtigkeit von bis zu 15 m bis an der Nordflanke des Rammelsbergs auf ca. 400 m Länge aus. Das erst 1859 entdeckte Neue Lager wies Mächtigkeiten von bis zu 40 m auf. Die Erzzusammensetzung ist im Neuen und im Alten Lager nahezu identisch, weist aber in den jeweiligen Lagerbereichen starke Schwan-

kungen auf (Kraume 1955). Die Genese der Lagerstätte ist als submarin-sedimentär-exhalativ zu verstehen und damit dem Lagerstättentyp SEDEX zuzuordnen. Die Ablagerung erfolgte im oberen Eifel (Unteres Mitteldevon) zusammen mit den Wissenbacher Schiefen. Zahlreiche geochemische Untersuchungen der **Pb**- und **S**-Isotope des Erzes zeigen, dass diese aus den paläozoischen Sedimenten abzuleiten sind. Anomale Voranreicherungen an Buntmetallen in den Sedimenten sind nicht erforderlich (Werner 1988).

Die geotektonische Position der Rammelsberger Lagerstätte ist vermutlich an eine nahe gelegene intrakontinentale Störungszone gebunden. Die Genese von SEDEX-Lagerstätten vom Typ Rammelsberg ist der an ozeanische Rücken (black smoker) gebundenen Sulfidlagerstätten recht ähnlich. Unterschiede liegen

zum einen in der niedrigeren Temperatur der Hydrothermen im intrakontinentalen Bereich (100–250 °C; 350 °C an ozeanischen Rücken) und zum anderen in der Erzzusammensetzung, die in Abhängigkeit zum gelaugten Gestein steht. So führen die an ozeanische Rücken gebundenen Lagerstätten keine Bleierze.

Der Rammelsberger Lagerhorizont ist nicht nur auf die Lagerstätte beschränkt, sondern konnte in mehreren Bohrungen im Wissenbacher Schiefer als dünnes Erzband angetroffen werden. Aus diesem Grund ist es nicht unwahrscheinlich, dass in der Region der Lagerhorizont höhere evtl. sogar abbauwürdige Mächtigkeiten aufweist. Die ausgeprägte Erzmächtigkeit in der Lagerstätte ist auf eine erhöhte Sedimentationsrate in einem Becken, dem sog. Goslarer Trog, zurückzuführen. Synsedimentäre Rutschungen sind im Erz erkennbar.

Während der variskischen Orogenese wurde das Erz stark deformiert und metamorphisiert. Das Primärgefüge wurde dabei weitgehend zerstört. Die starke Verwachsung der einzelnen Erzmineralphasen und Gangarten ist u.a. auf diese tektonische Überprägung zurückzuführen.

### **Erzaufbereitung am Rammelsberg**

Die starke Verwachsung der einzelnen Erzmineralphasen untereinander und mit wertlosen Bestandteilen gestaltete die Verhüttung der Rammelsberger Erze als außerordentlich schwierig. Bis ins 20. Jh. konnten die Erze nur mechanisch getrennt werden, entweder durch manuelle Klaubearbeit oder durch eine Dichtentrennung (Erzwäsche) des zerkleinerten Erzes. Die Trennung der einzelnen Wertminerale war durch diese Methoden nur unzulänglich. Des Weiteren wurden durch die Erzwäsche Fließgewässer weitreichend vergiftet.

Bereits 1877 wurde das Verfahren der Schaumswimmaufbereitung oder auch „Flotation“ entwickelt. Bei diesem Verfahren nutzt

man die unterschiedlichen Grenzflächenspannungen von Feststoffen gegenüber Luft und Wasser. In die Flotationsbecken wird durch feine Düsen Luft eingeblasen. Die jeweiligen im Wasser suspendierten Erzminerale heften sich nach Zugabe bestimmter Reagenzien an die Luftblasen und treiben auf. Der Metallsulfidschaum kann dann abgeschöpft werden. Die Rammelsberger Flotationsanlage wurde nach über 25-jähriger Erprobungszeit 1936 in Betrieb genommen. Das Roherz enthielt im Mittel ca. 11,0 % **Pb** und 21,0 % **Zn**. Daraus wurden ein Bleiglanz-Konzentrat mit 58,5 % **Pb** und 14,5 % **Zn** sowie ein Zinkblende-Konzentrat mit 9,0 % **Pb** und 44,6 % **Zn** gewonnen. Die Rückstände enthielten noch 0,5 % **Pb** und 0,7 % **Zn**. Letztere wurden in die Schlammteiche bei Oker gespült.

Bei den in der Rammelsberger Flotation verwendeten Reagenzien handelte es sich um einen Cocktail aus z.T. giftigen Substanzen (z. B. Xanthate, Natriumcyanid, MIBC u.a.). Zwar wurden 90 % dieses Cocktails in den Flotationsprozess zurückgeführt, im Endeffekt gelangte er aber dann doch vollständig in die Schlammteiche bei Oker und über das Sickerwasser ungeklärt in die Vorfluter.

Am Rammelsberg erfolgte die Aufbereitung der Reicherze. Die Aufbereitung der Armerze erfolgte am „Bollrich“ (oberhalb der Ortschaft Oker), welcher durch eine untertägige Bahnlinie mit der 2 km entfernten Grube verbunden war. Unterhalb der Anlage am Bollrich wurden die Restlösungen und die Flotationsrückstände in einen Graben abgeleitet, der in die Schlammteiche einmündet. Heute tritt hier immer noch das grell orange gefärbte Grubenwasser des Rammelsbergs zutage.

Ca. 20 % des Metallgehaltes im ehemaligen Ausgangserz lagern jetzt in diesen Schlammteichen. Eine Abbaugenehmigung liegt bereits vor, eine Durchführung ist aber noch nicht wirtschaftlich.



#### Halt 4: Schlackenhalde Innerstetal

Die Ersterwähnung dieser Schlackenhalde erfolgte am Anfang des 14. Jh. Dieser Verhüttungsplatz war bis in die Neuzeit in Betrieb. Verhüttet wurden hier fast ausschließlich Rammelsberger Erze (hohe Zinkgehalte!!). Dieser Verhüttungsplatz ist ein gutes Beispiel für die spätmittelalterliche Verlagerung der zahlreichen kleinen Hüttenplätze von den Kammlagen an die großen Bachläufe. Derartige Plätze sind wesentlich weniger häufig, aber der Umfang der Verhüttung war um ein Vielhundertfaches größer. Der Hauptgrund für die Konzentration der Hüttenplätze an den größeren Harzflüssen dürfte in der Nutzung der Wasserkraft liegen (Pochwerke, Gebläse). Ob bereits im späten Mittelalter Holzflößerei auf der Innerste betrieben wurde, kann nur vermutet werden, ist aber spätestens für die Neuzeit belegbar.

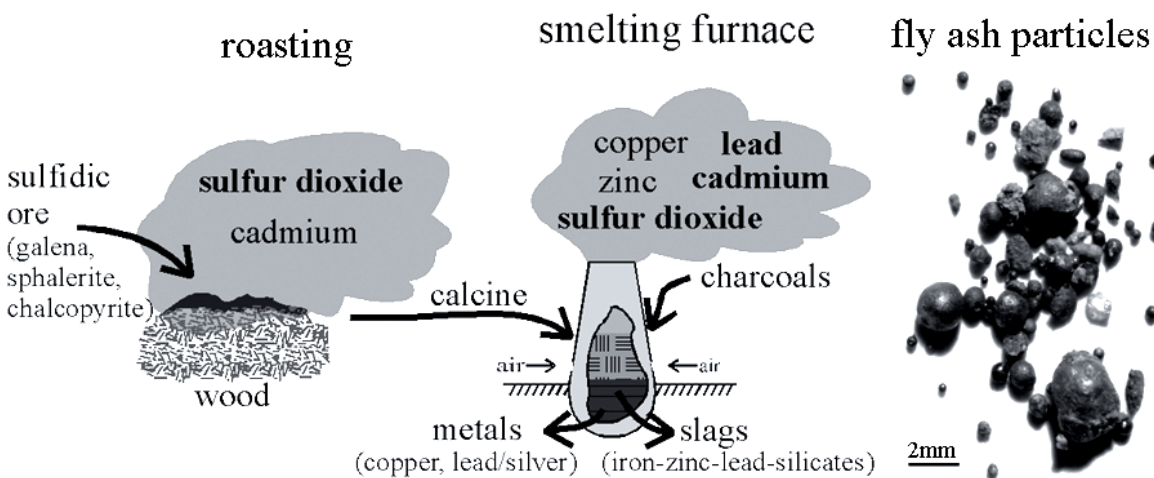
Aufgrund der wesentliche größeren Schlackenmenge und der guten Zuwegung der an den Harzflüssen gelegenen Schlackenhalde lohnte sich hier ein Abtransport der Schlacken zwecks Nachverhüttung oder zur Verwendung als Wegeschotter. Auf der restlichen Schlackenhalde hat sich eine Schwermetallvegetation angesiedelt.

Die zahlreichen Schlackenhalde stellen häufig das einzig sichtbare Relikt der frühen Metall-

gewinnung dar. Chemisch betrachtet, sind die mittelalterlichen Harzer Buntmetallschlacken Eisensilikate mit Restgehalten von 1–20 % Blei, 0–3 % Kupfer und 0–25 % Zink. Gegenüber dem Ausgangserz sind sie deutlich verarmt an **Cu**, **Pb** und **Ag** und den in Hochtemperaturprozessen leicht flüchtigen Elementen wie **As**, **Cd**, **S** und **Sb** (Abb. 14). Durch Zuschläge bzw. durch Abschmelzen von Ofenwandung können die Schlacken mit **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**, **Ca**, **Fe** und **SiO<sub>2</sub>** angereichert sein (Deicke 1995, Eggers 1999).

#### Mittelalterliche Erzaufbereitung und Verhüttung

Die mittelalterliche Buntmetallgewinnung erfolgte in mehreren Schritten: Bereits an der Lagerstätte erfolgte eine Vorsortierung (Klaubarbeit) des geförderten Erzes. Nebengestein und Gangart wurden weitgehend entfernt. Bei den Oberharzer Gangerzen konnte die im Mittelalter noch wertlose Zinkblende ebenfalls abgetrennt werden, um keinen unnötigen Ballast zur Schmelzhütte transportieren zu müssen. Bei den verwachsenen Rammelsberger Erzen war eine Trennung der Erzmineralphasen nicht möglich. Das gesamte Erz kam zur Verhüttung.



**Abb. 14:** Schadstofffreisetzung bei der mittelalterlichen Buntmetallverhüttung während des Röst- und Schmelzprozesses (rechts). Flugaschenpartikel aus Bachläufen und Böden im Umfeld von Schmelzplätzen (links) (Deicke u. Ruppert 2000)

Die Erzwäsche erfolgte (sofern sie durchgeführt wurde) vermutlich bereits an der Lagerstätte. Dabei wurde nochmals versucht, taube Bestandteile vom Erz abzutrennen. Hierbei wurden feine Erzpartikel in Gewässern freigesetzt.

Im Röstprozess (sofern er durchgeführt wurde) erfolgte die Oxidation der sulfidischen Erze. Dieser wurde wahrscheinlich mehrfach in einfachen Holzstößen durchgeführt. Neben Flugaschen entwichen großen Mengen an Schwefeldioxid, aber auch Cadmium, Arsen- und Antimonoxide. Im Röstprozess konnte der Schwefelgehalt von bis zu 30 % in den Erzen auf etwa 1 % reduziert werden. Im abschließenden Schmelzprozess erfolgt die Reduktion der zuvor oxidierten Metalle. Flüssiges Blei und Kupfer wurden für die Weiterverarbeitung der Schmelze entzogen. Zuschläge aus Sand oder Kalkstein begünstigten die Verschlackung der wertlosen Bestandteile. Durch die hohen Temperaturen von mindestens 1.050 °C (Eggers 1999) wurden nochmals leicht flüchtige Ele-

mente wie Blei und Cadmium und in geringem Umfang auch Zink freigesetzt (Abb. 14).

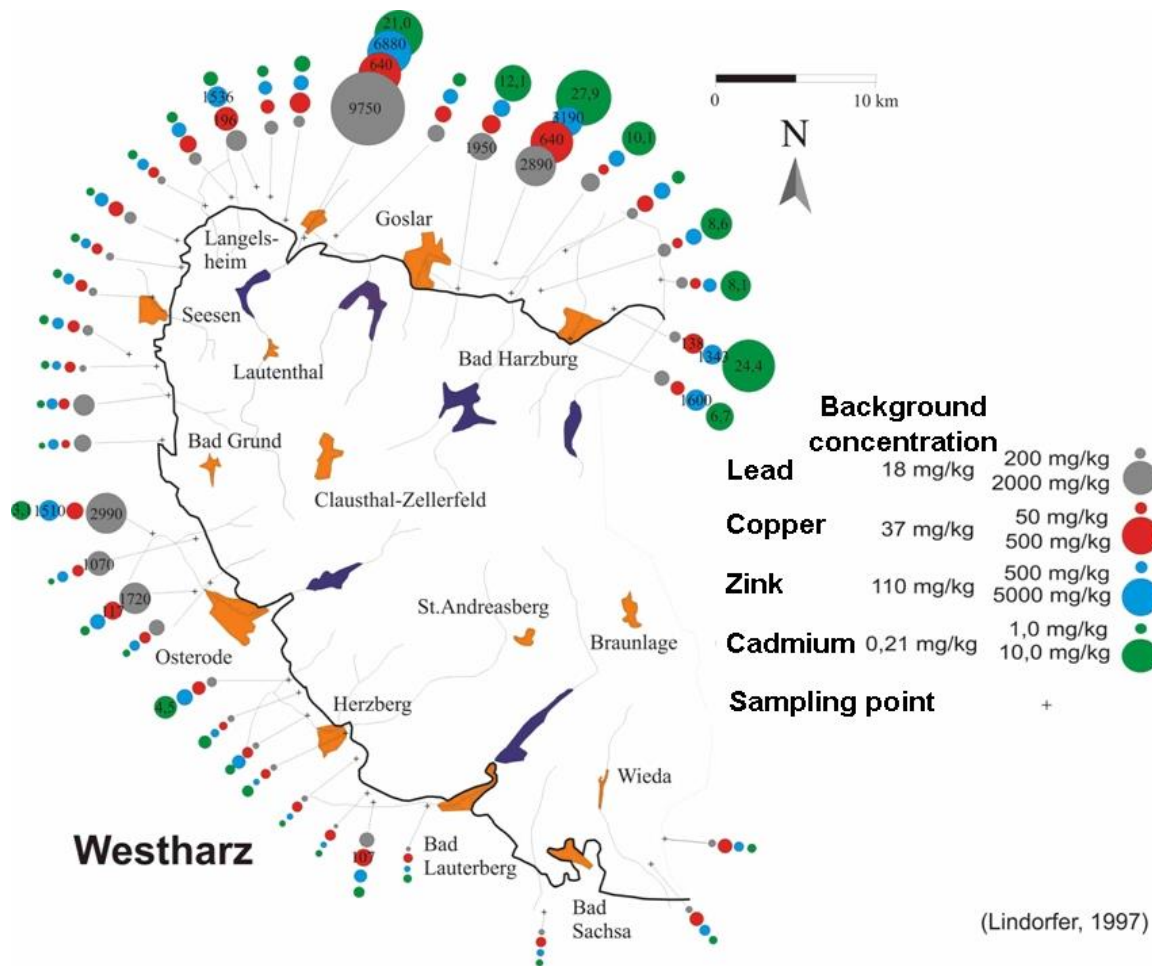
Die freigesetzten Flugaschen konnten als kleine Kügelchen (Abb. 14) in Harzer Bachsedimenten sowie in Böden im Umfeld von Verhüttungsplätzen nachgewiesen werden. Die Zusammensetzung dieser Partikel entspricht weitgehend der von den Schlacken der jeweiligen Verhüttungsplätze (Bivour et al. 2003).

### Ernährung der Hüttenleute

Die Schwermetallfreisetzung bei der Verhüttung hat zumindest für die Archäometrie auch ihre positive Seite. Der Boden im Umfeld eines vergleichbaren 1997 ausgegrabenen Schmelzplatzes (1000 v. Chr.) ist hochgradig mit Schwermetallen belastet (Tab. 1). Besonders organische Substanzen sind mit mehreren Prozent Blei, Kupfer und Zink regelrecht imprägniert (Ruppert 1997). Die biozide Wirkung des Kupfers hemmt oder unterbindet jeglichen mikrobiellen Abbau der Organik.

**Tab. 1:** Schwermetallgehalte in organischen Materialien aus der archäologischen Grabung an einem mittelalterlichen Schmelzplatz

Material	Pb	Cu	Zn	Cd	Ba	Fe	Al
Bark	58000	17800	860	2.7	148	5191	11786
Bark	73000	37900	1130	3.5	135	1490	2821
Wood	79000	39000	820	8.5	148	2344	6412
Wood	48000	38300	1070	2.3	131	565	808
wood chips	64000	39900	430	2.0	23	1158	2758
hazelnut shell	41900	17500	350	0.9	24	823	2005
soil (average)	55000	35000	20300	33.0	550	124000	31900
soil (natural background values)	4 - 30	4 - 100	10 - 120	0.1 - 0.3	50 - 800	4000 - 90000	4000 - 110000



**Abb. 15:** Schwermetallgehalte in Überflutungssedimenten im Vorland des Harzes nach einem Hochwasser im Frühjahr 1994 (aus Lindorfer 1997)

So konnten in der Grabung umfangreiche Nahrungsmittelreste nachgewiesen und bestimmt werden. Ein Großteil der Nahrung wurde aus dem Harzvorland zum Hüttenplatz geschafft. Das belegen die Funde von Getreidekörnern und die von Ackerunkrautsamen, die im Harz nicht wachsen. Des Weiteren wurden Apfel-, Pflaumen- und Weinkerne nachgewiesen. Zahlreiche Himbeersamen und Haselnusschalen können aus der Umgebung des Schmelzplatzes stammen (Willerdig 1996).

Da die Hüttenplätze fast immer an Bächen liegen, können Schlacken und kontaminierte Böden direkt in die Gewässer gelangen und bei Hochwässern verlagert werden. Es kann davon

ausgegangen werden, dass die mit der Verhütung einhergehende Abholzung Hochwässern begünstigte. In den Auenbereichen des Harzvorlandes wird die mit Schwermetallen angereicherte Fracht wieder abgelagert (Abb. 15).

In der Untersuchung „Talauen des Harzes“ (Kues u. Hindel 1995) wurden Auensedimente sämtlicher Harzflüsse des niedersächsischen Harzvorlandes beprobt. Dabei wurden Schwermetallgehalte festgestellt, die bereits im Toxizitätsbereich liegen. In der Zusammenfassung dieser Untersuchung werden diese extremen Belastungen durch die Erosion an den zahlreichen Bergbau- und Schlackenhalde sowie durch atmosphärischen Eintrag begründet.



## Halt 5: Rauchblößen und Pochsandhalden westlich Clausthal-Zellerfelds



**Abb. 16:** Rauchblößen westlich von Clausthal-Zellerfeld entstanden durch Jahrhunderte währendes Einwirken von Hüttenrauch.

Diese Heidelandschaft ist auf die seit dem 12. Jh. bis 1967 währende Einwirkung von Hüttenrauch aus der Frankenscharnhütte sowie der Clausthaler Bleihütte zurückzuführen (Abb. 16). Die Pflanzengesellschaft setzt sich aus Heidekrautgewächsen, Birken und Kiefern zusammen. Schwermetallzeigerpflanzen beschränken sich auf die Schlacken- und Bergbauhalden. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch die hohen  $\text{SO}_2$ -Gehalte im Hüttenrauch für die Ausprägung dieser im Harzraum ungewöhnlichen Pflanzengesellschaft verantwortlich waren.

Aber auch im größeren Abstand zu den ehemaligen Schmelzhütten, in Bereichen des Harzes, an denen keine Vegetationsanomalien erkennbar sind, hat sich der Hüttenrauch niedergeschlagen und macht sich bis heute durch erhöhte Schwermetallgehalte bemerkbar (Abb. 17).

In der Dipl.-Arbeit von Steinsiek (1984) sind historische Quellen in Hinblick auf die Auswirkungen des Hüttenrauchs auf Waldökosysteme ausgewertet worden. Aus dieser Arbeit lässt sich folgendes zusammenfassen:

Die Schädlichkeit des Hüttenrauchs wurde bereits im 12. Jh. erwähnt. Aufgrund dieses Erkenntnis wurden Schmelzhütten möglichst abseits der Ortschaften angesiedelt. Waldschadenskartierungen aus dem 19. Jh. beschreiben die gleichen Schadsymptome wie bei den sogenannten Waldschäden. Überlegungen zur Luftreinhaltung kamen um 1859 zu dem Schluss, dass man im Hüttenprozess Kalk zuschlagen sollte, um das  $\text{SO}_2$  zu binden, oder direkt aus dem Hüttenrauch Schwefelsäure gewinnen sollte. Verschiedene Versuche liefen erfolgreich. Eine Hochschornsteinpolitik wurde ebenfalls diskutiert, aber nicht für sinnvoll erachtet, da erkannt wurde, dass es sich hierbei nur um eine Problemverlagerung, aber um keine Lösung handeln würde.



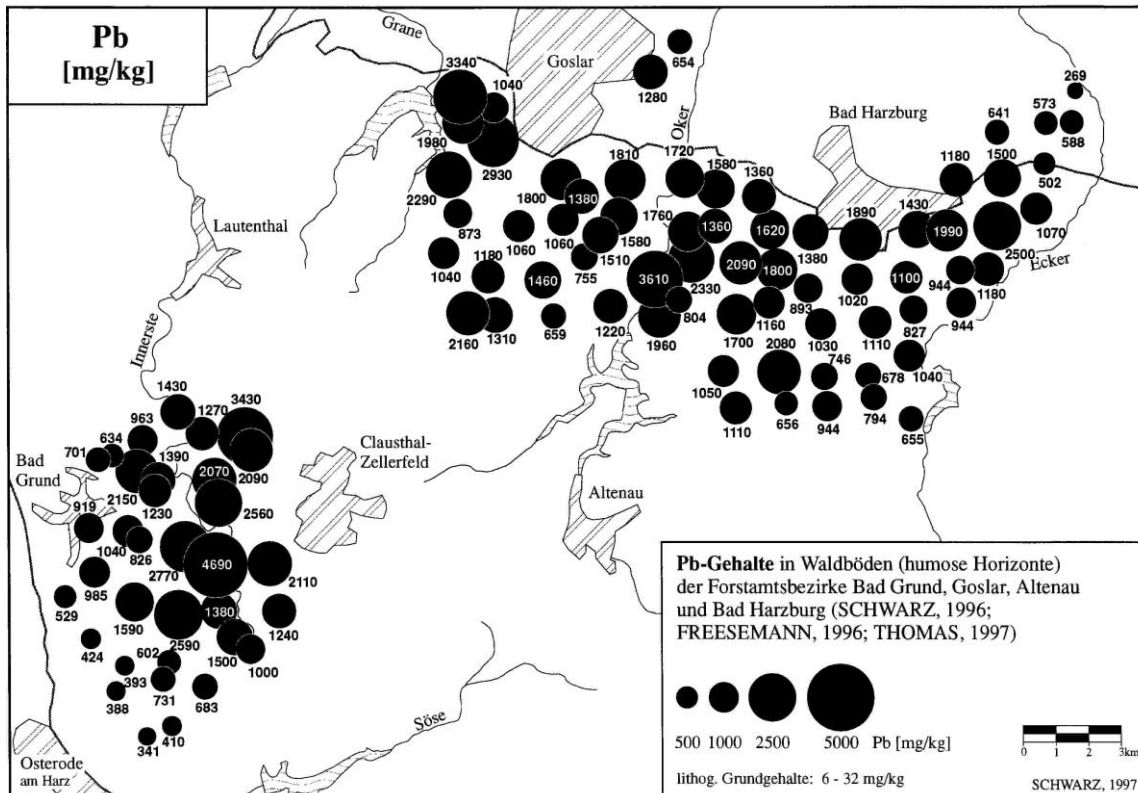


Abb. 17: Bleigehalte im humosen Oberboden des Oberharzes

### Pochsandhalden westlich Clausthal Zellerfelds

Bei der Fahrt durch das Innerstetal aufwärts fallen insbesondere innerhalb der Ortschaften immer wieder Abraumphalden und Pochsandhalden aus dem Erzbergbau auf.

Bei der Pochsandhalde westlich von Zellerfeld handelt es sich um eine Halde aus der neuen zentralen Erzaufbereitung aus den Jahren 1905–1930. Die verarbeiteten Erze wurden nur zum Teil in den umliegenden Gruben gefördert; das meiste wurde auf dem Wasserweg mit

Frachtkähnen unterirdisch hierher transportiert. In der Erzaufbereitung wurde das gebrochene Erz handverlesen und sortiert (Klaubearbeit). Danach wurde es auf Grobsandgröße zerkleinert („gepocht“) und mittels strömendem Wasser von der Gangart und Nebengestein befreit. Die Flotation stand bis Mitte der 1930er-Jahre noch nicht zur Verfügung. Der als Schlieche bezeichnete Rest aus diesem Verfahren wurde auf Halde gekippt. Die Schlieche enthält Rest-erzgehalte von ca. 1 %, was an der spärlichen Vegetation gut zu erkennen ist.

### Halt 6: Erzbergbau im devonischen Riffkalk des Iberg-Winterbergs

Beim Iberg-Winterberg handelt es sich um ein mittel-/oberdevonisches Korallenriff von ca. 1,5 km<sup>2</sup> Ausdehnung und mindestens 600 m Mächtigkeit. Es stehen hochreine Kalke (99 % CaCO<sub>3</sub>) an, die im Tagebau am Winterberg gebrochen werden. Das Riffwachstum begann vermutlich auf einem absinkenden Vulkan bereits im unteren Mitteldevon (obere Eifelstufe) und endete im unteren Oberdevon (hohe Frasnesteufe). D.h., dass am Iberg über einen sehr

langen Zeitraum (ca. 20 ma) konstante Umweltbedingungen geherrscht haben müssen.

Während der varistischen Orogenese ist dieser Riffkomplex – ebenso wie sein Pendant im Unterharz – nicht verfaltet worden und blieb als komplette Riffscholle erhalten. Lediglich die oberen 150 m des Riffklotzes wurden seitlich abgeschoben und bilden den – mittlerweile abgebauten – Winterberg (Gischler 1992).

In den Randbereichen wird der Riffkomplex durch Störungszonen begrenzt. Am Hübichenstein ist eine Störungzone aufgeschlossen. Bereits ab der Kreidezeit setzte eine intensive Verkarstung des Iberg-Winterberg-Komplexes ein.

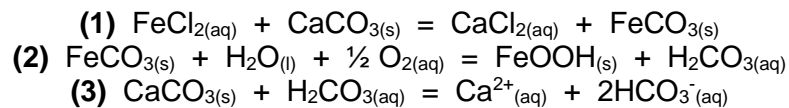
### Erzbergbau am Iberg

Die Eisenerze des oberdevonischen Riffkalks im Iberg-Winterberg-Komplex sind durch metasomatische Umwandlung beim Kontakt von Fe-haltigen Lösungen mit dem anstehenden Karbonat in Störungszonen entstanden. Beim Kontakt des Sideriterzes mit meteorischem Wasser sind diese häufig zu limonitischen Erzen umgewandelt.

In Störungszonen stiegen hydrothermale metallreiche Lösungen auf, die beim Kontakt mit dem Karbonat ausgefällt wurden und damit zur Bildung metasomatischer Verdrängungslagerstätten geführt haben **(1)**.

Die Gehalte an Buntmetallen sind im Bereich dieser Störungszonen sehr gering. Von weit- aus größerer Bedeutung war hier die Abscheidung von manganreichem Eisenspat (= Siderit = **FeCO<sub>3</sub>**), dessen Verwitterungsprodukt für den frühen Bergbau von größter Bedeutung war.

Siderit zersetzt sich bei Kontakt mit meteorischem Wasser zu Limonit unter Freisetzung von Kohlendioxid **(2)**. Dieses wiederum führte zur Auflösung des anstehenden Karbonats und damit zur Höhlenbildung **(3)**.



Die Höhlenbildung am Iberg-Winterberg steht also im direkten Zusammenhang mit der Sideritverwitterung. Für die frühen Bergleute war dieser Umstand von großem Vorteil. So brauchten sie „nur“ die Höhlen abzusuchen, in denen sie im Idealfall den limonitischen Höhlenlehm (Mulm) vorfanden.

Die niedrigen **SiO<sub>2</sub>**- und Phosphatgehalte und besonders der hohe Mangangehalt stellten weitere Vorteile dar. Aufgrund dieses Stahlveredlers waren Werkzeuge aus Iberger Eisenerz wesentlich langlebiger als andere. Ein Umstand, den die frühen Hüttenleute zwar nicht erklären konnten, dessen sie sich aber bewusst waren. Eisenwerkzeuge waren auch für den Buntmetallerzbergbau eine unbedingte Voraussetzung.

Der Eisenerzbergbau am Iberg konnte bereits für das dritte nachchristliche Jahrhundert belegt werden (Grabung Düna). 1885 schloss die letzte Eisenerzgrube am Iberg.

Ein Kuriosum war der Abbau von hochreinem weißem Schwerspat (**BaSO<sub>4</sub>**) in einigen Gruben am Iberg im 18. und 19. Jh. Dieser Schwerspat wurde von Müllern gekauft, die ihn feingemahlen dem Mehl untermischten, um höhere Erträge zu erzielen (Laub 1968/69).

## Literatur

- Baier J (1997): Die Sedimente des Jues-Sees in Herzberg am Harz. Geol. Dipl.-Arb.: 123 S., 28 Abb., 18 Tab., Anh.; Göttingen [unveröff.]
- Begemann I (2003): Palynologische Untersuchungen zur Geschichte von Umwelt und Besiedelung im südwestlichen Harzvorland. Diss. Univ. Göttingen: 122 S.; 21 Abb., 50 Tab.; Göttingen
- Birkefeld A (1997): Sind Hochflutsedimente als Zeugen bergbaulicher Entwicklung im Harz verwendbar? – Ermittlung der Randbedingungen am Beispiel von Sedimentprofilen vom Uferbach (Westharz). Geol. Dipl.-Arb.: 61 S., 19 Abb., 3 Tab., Anh.; Göttingen [unveröff.]
- Bivour I, Deicke M, Kronz A (2003): Flugpartikel mittelalterlicher Verhüttung aus dem Westharz. - Tagungsband: Gemeinsame Jahrestagung Archäometrie und Denkmalpflege: S. 76–78; Berlin
- Beug H-J, Henrion I, Schmüser A (1999): Landschaftsgeschichte im Hochharz – Die Entwicklung der Wälder und Moore seit dem Ende der letzten Eiszeit. Ges. z. Förderung des Nationalparkes Harz e.V. [Hrsg.]: 453 S., zahlr. Abb., Tab. und Kt.; Goslar
- Brännvall M-L, Bindeler R, Emteryd O, Nilsson M, Renberg I (1997): Stable Isotopes and Concentration Records of atmospheric Lead Pollution in Peat and Lake Sediments. *Water, Air and Soil Pollution* 100: 243–252, 4 Abb., 2 Tab.; Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, Netherlands
- Brockner W (1992): Frühe Buntmetallgewinnung in der Harzregion. *Ber. z. Denkmalpflege in Nds.* 4/92: 151–153, 9 Abb.; Hannover
- Brockner W (1992): Vor- und frühgeschichtliche Metallgewinnung und Metallverarbeitung in der Harzregion. *Mitteilungsblatt TU Clausthal*, H. 74: 21–24, 14 Abb. 1 Tab.; Clausthal-Zellerfeld
- Brockner W, Klemens D, Leveque J, Haak U (1999): Archäometrische Untersuchungen metallischer Funde aus mittelbronze- bis kaiserzeitlichen Grabhügeln nahe Müllingen, Ldkr. Hannover. *Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen* 21: 143–157; Hannover
- Burkard C (1999): Elementanomalien in Erdfall-Sedimenten als Zeugen der historischen Metallgewinnung im südwestlichen Harzvorland am Beispiel der Beiersteinsenke (Osterode/ Harz). *Geogr. Dipl.-Arb.*: 102 S., 23 Abb., 13 Tab.; Göttingen [unveröff.]
- Dahlgrün F (1950): Die zonale Verbreitung der Gangformationen des Brocken-Plutons im Harz. *Erzmetall* 3/5: 150–153; Stuttgart
- Deicke M (1995): Geochemische Charakterisierung mittelalterlicher Verhüttungshalden sowie von Sedimenten und Wässern des Pandelbaches und Limbaches (Westharz). *Geol. Dipl.-Arb.*: 83 S., 23 Abb., 12 Tab., Anh.; Göttingen [unveröff.]
- Deicke M (2000): Prospektion im Nordwestharz In: Klappauf L et al. (2000) s. u.: 9–30, zahlr. Abb., Tab. und Kt.; Hannover [unveröff.]
- Deicke M (2005): Erdfallablagerungen des südlichen Harzvorlandes. – *Archive der Umweltgeschichte der letzten Jahrtausende*. Diss. Univ. Göttingen: 105 S.; zahlr. Abb. u. Tab.; Göttingen
- Deicke M, Klappauf L, Linke F-A (2007): Smog im Harz. *Archäologie in Deutschland*, 4-2007
- Eggers T (1999): Geochemische Untersuchung und phasenanalytische Untersuchungen an Schlacken aus dem SW-Harz. *Geol. Dipl.-Arb.*: 109 S., 46 Abb., 21 Tab., Anh.; Göttingen [unveröff.]
- Flindt S, Leiber C (1999): Kulthöhlen und Menschenopfer im Harz, Ith und Kyffhäuser. *Archäologischen Schriften des Landkreises Osterode am Harz* 2: 126 S., 140 Abb.; Verlag Jörg Mitzkat, Holzminden
- Gischler E (1992): Das devonische Atoll von Iberg und Winterberg im Harz nach Ende des Riffwachstums. *Geol. Jb. A* 129: 5–193, 43 Abb., 10 Tab., 16 Taf.; Hannover
- Haak U, Leveque J (1995): Bleisotope: Anwendung in Lagerstättenkunde, Archäometrie und Umweltforschung am Beispiel des Harzes. *Mitt. Österr. Min. Ges.* 140: 131–141; Wien
- Heller C (2000): Hydrochemische Untersuchungen an Bodenproben und Wässern im Einzugsgebiet der Großen Söse (Westharz). *Bach.-Arb.*: 31 S., 11 Abb., 6 Tab.; Univ. Göttingen [unveröff.]
- Hettwer K (1999): Stoffbestand und Schwermetall-Anomalien eines Moorprofils der Erdfallsenke „Silberhohl“ bei Seesen (Westharz). *Geol. Dipl.-Arb.*: 83 S., 23 Abb., 12 Tab., Anh.; Göttingen [unveröff.]
- Hettwer K, Deicke M, Ruppert H (2003): Fens in Karst Sinkholes – Archives for long lasting „Immission“ Chronologies. *Water, Air, and Soil Pollution* 149: 363–384, 4 Abb., 2 Tab.; Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, Netherlands
- Hillebrecht M-L (1982): Die Relikte der Holzkohlenwirtschaft als Indikator für Waldnutzung und Waldwirtschaft. *Diss.: Gött. Geogr. Abh.* 79: 27–44, 5 Abb., 1 Tab.; Göttingen
- Hillebrecht M-L (1989): Energiegewinnung auf Kosten der Umwelt. *Ber. z. Denkmalpflege in Nds.* 2/89: 80–85, 11 Abb.; Hannover
- Hong S, Candelone J-P, Patterson CC, Boutron CF (1994): Greenland Ice Evidence of Hemispheric Lead Pollution Two Millenia Ago by Greek and Roman Civilizations. *Science*, Vol. 265: 1841–1843, 3 Abb., 1 Tab.
- Hong S, Candelone J-P, Patterson CC, Boutron C. (1996): History of Ancient Copper Smelting Pollution During Roman and Medieval Times Recorded in Greenland Ice. *Science* Vol. 272: 246–249, 2 Abb., 1 Tab.
- Klappauf L, Linke FA (1990): Düna. I. Das Bachbett vor Errichtung des repräsentativen Steingebäudes. - *Materialhefte zur Ur- und Frühgeschichte Niedersachsens*, H. 22: 235 S.; Hildesheim

- Klappauf L, Brockner W, Bingener A, Bramati B, Deicke M, Fabig A, Finke T, Hegerhorst K, Herrmann B, Linke F-A, Ruppert H, Schulz R, Schutkowski H, Willerdig U (2000): Der Harz als frühmittelalterliche Industrielandschaft. Abschlußbericht des Forschungsprojektes Az II/70 959: 102 S., 33 Abb., Kt.; Hannover [unveröff.]
- Kraume E (1955): Die Erzlager des Rammelsberges bei Goslar. Beih. Geol. Jb. 18: 394 S.; Hannover
- Kues, Hindel (1995): Endbericht zum Projekt Bodenuntersuchungsprogramm Talauen des Harzes. Nds. LA f. Bodenforschung, Teil I: 94 S., 38 Tab, 7 Kt.; Teil II: 118 S., 48 Abb., 55 Tab., 1Kt.; Hannover
- Kulick J et al. (1984): Petrofazielle und chemische Erkundung des Kupferschiefers der Hessischen Senke und des Harzrandes. Geol. Jb., D 86: 3–223, 37 Abb., 15 Tab., 34 Taf.; Hannover
- Kulke H (1996): Der Harz (Norddeutschland): Geologisch-lagerstättenkundlicher Überblick, Historische Baumaterialien (Natursteine, Gipsmörtel, Schlackensteine, Blei). Mitt. d. Öster. Min. Ges., Bd. 142: 43–84, 19 Abb., 1 Tab.; Wien
- Laub G (1968/69): Der Bergbau im Höhlengebiet des Iberges bei Bad Grund In: Herrmann A. Der Südharz - seine Geologie, seine Höhlen und Karsterscheinungen. Karst- und Höhlenkunde, H. 9: 51–71, 6 Abb.; München
- Liessmann W (1992): Historischer Bergbau im Harz. Kurzführer. Schriften des Mineralogischen Museums der Universität Hamburg, Bd. 1: 320 S., 123 Abb.; Köln
- Lindorfer H (1997): Relikte ehemaliger Metallgewinnung als Quelle von Schwermetall-Belastungen in rezenten Überflutungssedimenten des niedersächsischen Harzvorlandes. Geol. Dipl.-Arb.: 78 S., 21 Abb., 10 Tab., 2 Taf., Anh.; Göttingen [unveröff.]
- Lüders V (1988): Geochemische Untersuchungen an Erz- und Gangartmineralen des Harzes. Diss.: Berliner Geow. Abh., A 93: 74 S., 42 Abb., 4 Tab.; Berlin
- Mohr K (1993): Die Geologie des Harzes. 2. Aufl.: 496 S., 176 Abb., 37 Tab., 2 Taf.; Stuttgart
- Niehoff N, Matschullat J, Pörtge K-H (1992): Bronzezeitlicher Bergbau im Harz? Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 1/92: 12–14; Hannover
- Nowothnig W (1968): Frühmittelalterliche Hüttenplätze mit Rammelsberger Erzen im Harz. Erzmetall 21: 367–494, 154 Abb.; Stuttgart
- Simon P (1979): Die Eisenerze im Harz. Geol. Jb. D 31: 65–109, 13 Abb.; Hannover
- Steinsiek M (1984): Forstgeschichtliche Aspekte einer anthropogenen Beeinflussung, Veränderung und Schädigung von Waldökosystemen. Forstwiss. Dipl.-Arb.: 385 S., Göttingen
- Stoppel D, Gundlach H (1972): Baryt-Lagerstätten des Südwest-Harzrandes (Raum Sieber - St. Andreasberg). Beih. Geol. Jb. 124: 120 S., 46 Abb., 3 Tab., 8 Taf., 3 Kt.; Hannover
- Valde-Nowak P, Klappauf L, Linke F-A (2004): Neolithische Besiedlung der Gebirgslandschaften: Fallstudie Harz. Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte, Bd. 73: 43–48, 6 Abb.; Stuttgart
- Wachendorf H (1986): Der Harz - variszischer Bau und geodynamische Entwicklung. Geol. Jb. A 91
- Werner W (1988): Sedimentary Faulting and Sediment-Hosted Submarine Hydrothermal Mineralization - A Case Study in the Rhenish Massif, Germany. Göttinger Arb. Geol. Pal. 36: 206 S., 81 Abb., 6 Tab.



# D-04: Waldböden im Solling: Umweltmonitoring, Melioration und forstliche Bewirtschaftungsoptionen

Henning Meesenburg<sup>1</sup>, Heike Fortmann<sup>1</sup>, Jan Evers<sup>1</sup>, Markus Wagner<sup>1</sup>, Ralf Volker Nagel<sup>1</sup>, Nils König<sup>1</sup>, Uwe Klinck<sup>1</sup>, Ulrike Talkner<sup>1</sup>, Stefan Fleck<sup>2</sup>, Karl Josef Meiwes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen

<sup>2</sup> Thünen-Institut für Waldökosysteme, Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde

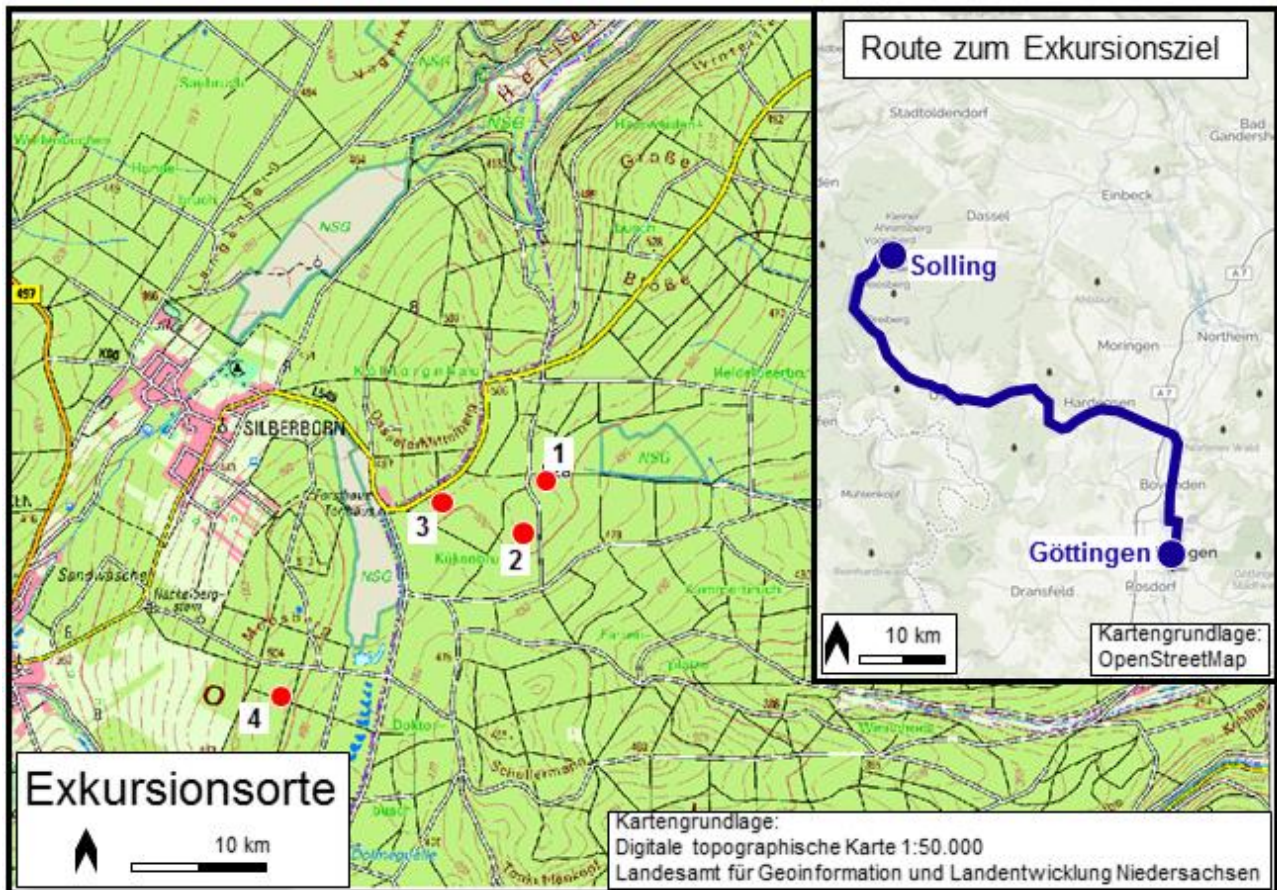


Abb. 1: Exkursionsroute und Exkursionsorte

## Einleitung

Als vor mehr als 50 Jahren im Rahmen des Internationalen Biologischen Programms mit den Untersuchungen auf den Waldflächen im Solling begonnen wurden, war ein Umweltmonitoring im heutigen Sinne weder bekannt noch Intention der Studien (Ellenberg et al. 1986). Vielmehr legten die anerkannten forstlichen Paradigmen nahe, dass die Standorteigenschaften weitgehend konstant sind und die Walddynamik daher nur durch die Witterung und biotische Risiken gesteuert wird. Dennoch zeigten insbesondere die Arbeiten von Ulrich und Mitarbeitern anhand

von Flüssebilanzen nach vergleichsweise kurzer Beobachtungszeit, dass sich die Waldökosysteme im Solling nicht im Gleichgewicht befanden und unter dem Einfluss atmosphärischer Stoffeinträge massive Standortveränderungen zu erwarten waren (Ulrich et al. 1979).

## Die Monitoringflächen

Die Monitoringflächen befinden sich im Zentrum des Solling-Plateaus auf ca. 500 m ü.NN unter vergleichbaren Standortbedingungen. Die Fich-

ten- und Buchenflächen wurden 1966 eingerichtet (**Exkursionspunkte 1** und **2**). Die Integration in das niedersächsische Boden-Dauerbeobachtungsprogramm (Höper u. Meesenburg 2012) und als ICP Forests Level-II-Flächen in das Europäische intensive Waldmonitoring (de Vries et al. 2003) ermöglichte eine weitgehende Methodenharmonisierung. Das Programm umfasst eine Kombination von Zustands- und Prozessbeschreibung. Die Vernetzung mit anderen Umweltmonitoringprogrammen wie der Umweltprobenbank des Bundes (Koschorreck et al. 2012), der Lufthygienischen Überwachung Niedersachsen sowie Forschungsnetzwerken wie dem Long Term Ecological Research Network (Müller et al. 2016) erlaubt integrierende Auswertungen über verschiedene Ökosystemtypen und Umweltmedien.

Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind Löss-Fließerden von 60 bis 80 cm Mächtigkeit,

die von einer Übergangszone (bis ca. 95 cm) und umgelagerten Buntsandsteinmaterial (bis 135–150 cm) unterlagert werden (Deutschmann 1994). Eine Lage von stark verwittertem Tonstein bildet die Basis des Profils. Die hydraulischen Eigenschaften werden durch die Zweischichtigkeit der Böden geprägt. Sowohl das Gesamtporenvolumen wie auch die hydraulische Leitfähigkeit nehmen mit der Tiefe ab, wodurch insbesondere auf der Fichtenfläche häufig Staunässe auftritt (Benecke 1984).

Die Fichten-Monitoringfläche (**Exkursionspunkt 1**) ist mit einem 129 Jahre alten Reinbestand bewachsen, der aus einer Weidenaufforstung hervorgegangen ist. Die Monitoringfläche mit einem derzeit 164 Jahre alten Reinbestand aus Buche (**Exkursionspunkt 2**) ist aus Naturverjüngung hervorgegangen (Tab. 1).

**Tab. 1:** Beschreibung der Intensiv-Monitoringflächen im Solling

	Einheit	Solling Fichte F1	Solling Buche B1
Breite	[°]	N51°46'	N51°46'
Länge	[°]	E09°34'	E09°34'
Höhenlage	[m] ü. NN	508	504
Neigung	[°]	0-2	0-3
Exposition		Osten	Süden
Waldbestand	Art	<i>Picea abies</i> (Karst.)	<i>Fagus sylvatica</i> (L.)
Bestandesalter (2015)	[Jahre]	131	166
Bestandesdichte (2010)	[Bäume/ha]	354	139
Mittlerer BHD Dg (2010)	[cm]	43,5	48,5
Mittlere Höhe Hg (2010)	[m]	32,4	30,1
Vorrat (2010)	[m <sup>3</sup> ]	732	393
natürliche Vegetation	PNV	Luzulo-Fagetum	Luzulo-Fagetum
Geologie		Tonstein mit Lösslehmauflage	Tonstein mit Lösslehmauflage
Niederschlag	[mm]	1168	1168
Niederschlag (Mai–Okt.)	[mm]	504	504
mittlere Lufttemperatur	[°C]	7,3	7,3
mittl. Temp. (Mai–Okt.)	[°C]	12,7	12,7

In unmittelbarer Nachbarschaft zu den Monitoringflächen wurde eine Vielzahl von Versuchsflächen zur experimentellen Untersuchung von

Fragen zur Kalkung, Düngung, Bodenversauerung und zum forstlichen Management angelegt. Erste Kalkungsversuche wurden bereits

1973 als Ergänzung zu den Hauptuntersuchungsflächen angelegt. Zur Frage der Melioration von tiefgründig versauerten Standorten wurden 1982 auf einer Teilfläche des Buchenbestands 30 t ha<sup>-1</sup> dolomitischer Kalk appliziert (Meesenburg et al. 2009), 1990 wurde ein Versuch zur tiefgründigen Melioration von stark versauerten Böden angelegt (Meiwes et al. 2013, **Exkursionspunkt 3**). Im Buchenbestand wurde von 1983 bis 1993 eine Teilfläche jährlich mit 140 kg ha<sup>-1</sup> Stickstoff in Form von Ammoniumsulfat zur Induktion einer zusätzlichen Versauerung gedüngt (Meesenburg et al. 2004). Im sogenannten Hiebsvergleich wurde untersucht, welche waldbaulichen Optionen unter den Bedingungen von Bodendegradation für die Endnutzung und Neubegründung von Waldbeständen bestehen (Nagel et al. 2014, **Exkursionspunkt 4**).

### Erhebungen im Rahmen des Monitorings

Die Zustandsbeschreibung umfasst die periodische Inventur von Vorräten und Zuständen wie Bodenzustand, Biomassevorräte, Kronenzustand und Bodenvegetation. Als Prozessbeschreibung werden Flüsse von Energie, Wasser und sonstigen Stoffen beobachtet. Als wesentliche Flüsse über die Ökosystemgrenzen werden für die wichtigsten Nähr- und Schadstoffe die atmosphärische Deposition, die Mineralverwitterung, die Biomasseaufnahme und der Sickerwasserantrag erfasst (Ulrich 1994). Damit können Elementbilanzen als wichtige Indikatoren für die Nachhaltigkeit forstlicher Bewirtschaftung berechnet werden.

Mit dem Monitoring der Stoffflüsse mit Freilandniederschlag, Kronentraufe, Stammablauf und Bodenlösung wurde 1968 begonnen. Damit gehört dieser Datensatz heute zu den weltweit längsten Zeitreihen von Stoffflüssen in Waldökosystemen.

Waldbestände üben einen starken Einfluss auf die Höhe der atmosphärischen Deposition aus. Dabei liegen die Stoffeinträge unter Fichte über denen der Buche. Aufbauend auf den Flussmessungen im Solling, wurde von Ulrich (1994) ein Schema zur Berechnung der Säurequellen und -senken in Waldökosystemen vorgelegt.

Dabei wurde die besondere Bedeutung der Anionen starker Säuren („mobile Anionen“-Konzept) für die Bodenversauerung und den Austrag von Säuren in benachbarte Ökosysteme herausgestellt. Die aus Flussmessungen abgeleiteten Versauerungsraten dienen auch dem Postulat einer Destabilisierung von Waldökosystemen im Zusammenhang mit den „neuartigen Waldschäden“ (Ulrich et al. 1979). Im Zusammenhang mit den angegliederten Experimentalstudien konnten auch Erkenntnisse zur Bedeutung der hohen Stickstoffeinträge für die Stickstoffsättigung der Waldökosysteme im Solling gewonnen werden (Corre u. Lamersdorf 2004, Meeseburg et al. 2004). Weiterhin stellen die Ergebnisse des Monitorings einen idealen Datensatz für die Parametrisierung und Validierung von Ökosystemmodellen dar (z. B. Bonten et al. 2011).

Die Flüsse von SO<sub>4</sub>, Azidität, Cl, Mg, Ca, Mn und verschiedenen N-Spezies mit der atmosphärischen Deposition haben während der letzten drei Jahrzehnte im Solling abgenommen. Die SO<sub>4</sub>-Flüsse nahmen aufgrund von Emissionsminderungsmaßnahmen in Deutschland sogar um mehr als 80 % ab. Im Gegensatz dazu haben die Stickstoffeinträge bis Ende der 1980er-Jahre gar nicht und seitdem nur leicht abgenommen. Dabei stieg der Anteil von NH<sub>4</sub> am Gesamt-N-Eintrag kontinuierlich an, sodass NH<sub>4</sub> auch einen bedeutenden Anteil an der Säurebelastung einnimmt.

Die langjährigen Stoffbilanzen zeigen für beide Monitoringflächen jeweils unabhängig von der angenommenen Nutzungsintensität eine positive Bilanz für Stickstoff, d. h. eine Anreicherung im Ökosystem (Klinck et al. 2012). Dies kann auf eine Zunahme der Vorräte in der Humusaufgabe zurückgeführt werden (Meiwes et al. 2009). Calcium zeigt sowohl bei Buche wie bei Fichte nur bei Annahme einer nutzungsfreien Bewirtschaftung eine positive Bilanz. Derbholz- oder Vollbaumnutzung könnte ohne Calcium-Rückführung (z. B. durch Kalkung) nicht nachhaltig betrieben werden. Für Magnesium ergeben sich für die Buchenfläche für alle Nutzungsoptionen positive Bilanzen, für die Fichtenfläche bei angenommener Derbholz- oder Vollbaumnutzung negative Bilanzen.

Aufgrund von veränderten Umweltbedingungen wie z. B. Klimawandel oder reduzierte Säureeinträge ergeben sich neue Fragestellungen und damit auch neue Anforderungen an das Waldmonitoring. Aufgrund des Klimawandels ist u. a. mit einer veränderten Wasserverfügbarkeit für die Wälder und mit veränderten Kohlenstoffumsätzen zu rechnen (Meiwes et al. 2007). Für die Buchen- und Fichtenflächen im Solling konnte gezeigt werden, dass in den vergangenen 50 Jahren einerseits die Bodenwasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode abnahm, andererseits während der Vegetationsruhe vermehrt Wassersättigung auftrat (Raspe et al. 2013).

Für die Klimaberichterstattung im Rahmen des Kyoto-Protokolls sind sowohl die oberirdische als auch die unterirdische Kohlenstoffspeicherung von Belang. Die Streufallmessungen haben ergeben, dass die Anlieferung von Kohlenstoff an den Boden während der letzten 35 Jahre sowohl unter Buche als auch unter Fichte zugenommen hat. Dies ist vermutlich auf erhöhte Fruktifikationsraten zurückzuführen. Auch die mikrobielle Aktivität hat sich auf beiden Flächen in den letzten 10 Jahren erhöht (Mindrup u. Höper 2012). Unklar ist, auf welchem Niveau sich die Boden-Kohlenstoffvorräte unter den veränderten klimatischen Bedingungen einstellen werden. Hier können Ökosystemmodelle eine Hilfe darstellen, wobei wiederum die Länge der Zeitreihen und die Vollständigkeit der Datensätze aus dem Solling nützlich sind (Jochheim et al. 2009).

### **Melioration und forstliche Bewirtschaftungsoptionen**

Die Böden im Solling sind überwiegend stark versauert und an Nährstoffkationen verarmt. Trotz reduzierter Säureeinträge schreitet die Erholung der Böden langsam voran, wobei ungekalkte, versauerungssensitive Böden sogar weiterhin versauern (Wellbrock et al. 2016), sodass forstliche Anpassungen notwendig sind, um die Ökosystemleistungen der Wälder zu gewährleisten. Hierfür kommen einerseits Kalkungen, andererseits waldbauliche Maßnahmen, wie u. a. die Vermehrung von Laub- und Mischwäldern, infrage.

Eine Melioration von versauerten Böden ist bei praxisüblichen Kalkungen ein äußerst langsamer Prozess, weil der Kalk in kleinen Gaben ( $3 \text{ t ha}^{-1}$ ) und großen zeitlichen Intervallen ( $>10$  Jahre) auf die Bodenoberfläche ausgebracht wird und die Lösungsprodukte des Kalles nur langsam in tiefere Bodenschichten gelangen. Daher wurde ein Experiment zur Melioration eines stark versauerten Bodens eingerichtet, in dem größere Mengen Kalk in den Mineralboden eingemischt wurden, um innerhalb kurzer Zeit eine Basensättigung (BS) von ca. 50 % zu erreichen (**Exkursionspunkt 3**). Der Versuch soll die Wirkung von Kalk- und Düngerapplikation (oberflächlich und eingearbeitet) auf den chemischen Bodenzustand und die aufwachsenden Bestände dokumentieren (Meiwes et al. 2013).

Der Versuch im Hochsolling wurde im Sommer 1990 in einfacher Wiederholung angelegt. Der Fichtenvorbestand wurde 1989 geschlagen und 1990 der Schlagabraum geräumt. Es wurden folgende Varianten der Bodenbehandlung eingerichtet (Abb. 2):

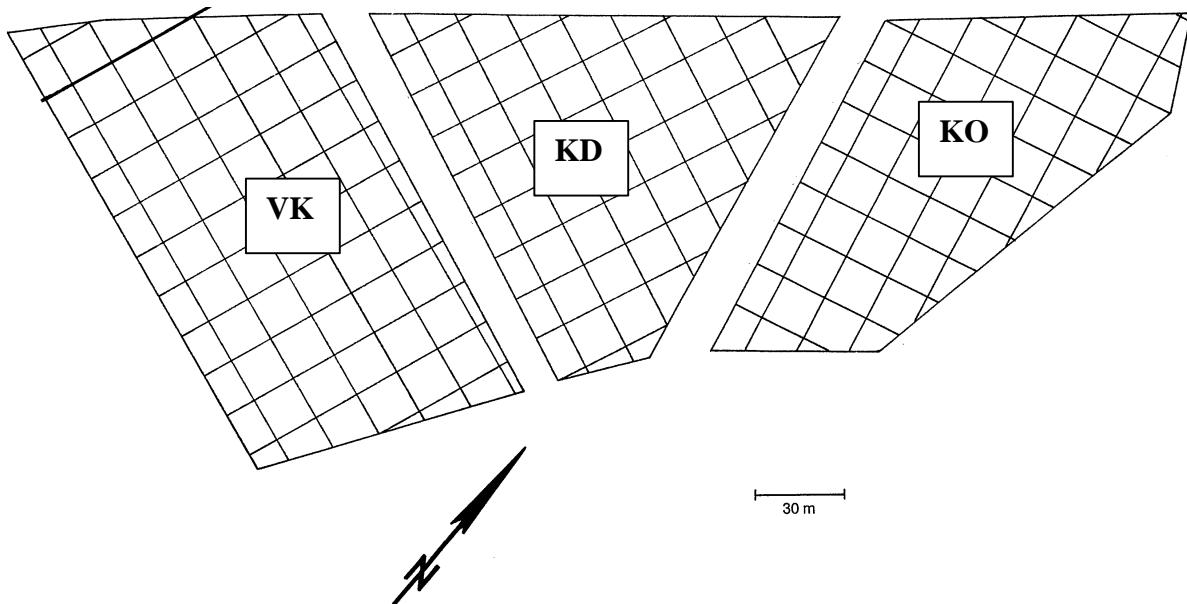
- KO: unbehandelte Kontrolle
- KD: oberflächige Kalkung mit  $4 \text{ t ha}^{-1}$  Dolomit ( $228 \text{ mg Ca g}^{-1} \text{ TM}$  und  $134 \text{ mg Mg g}^{-1} \text{ TM}$ )
- VK: Rodung der Wurzelstöcke, Kalkung mit  $18,5 \text{ t ha}^{-1}$  carbonatischem Kalk ( $442 \text{ mg Ca g}^{-1} \text{ TM}$ ;  $8,6 \text{ mg Mg g}^{-1} \text{ TM}$ ) und Einmischung des Kalkes mittels Tiefpflügen bis in 70 cm Tiefe. Kalkung mit  $4 \text{ t ha}^{-1}$  Dolomit und Einarbeitung des Kalkes mit einer Scheibenegge bis in 20 cm Tiefe. Düngung mit  $50 \text{ kg K ha}^{-1}$  als  $\text{K}_2\text{SO}_4$  und  $105 \text{ kg P ha}^{-1}$  als teilaufgeschlossenes Rohphosphat.

Im Frühjahr 1991 wurden in Blöcken von  $15 \times 15 \text{ m}$  abwechselnd jeweils Buchen (2-jährig; Verband  $1,5 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$ ) und Fichten (Verband  $3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ) gepflanzt. Ferner wurden auf der gesamten Versuchsfläche Schwarzerlen (*Alnus glutinosa*) im Verband  $4,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$  als Vorwald zum Schutz vor Spätfrösten gepflanzt.

Im Solling ist auf großen Flächen ein Umbau von Nadelholzreinbeständen vorgesehen, der möglichst kahlschlagfrei im Zuge von Zielstärkennutzungen erfolgen soll. In starkholzreichen

Altbeständen oder in windwurfgefährdeten Lagen kann jedoch eine raschere Räumung durch

Femel- oder Saumhieb bis hin zu kleineren Kahlschlägen waldbaulich sinnvoll sein.



**Abb. 2:** Anordnung der Parzellen im Meliorationsversuch (KO = Kontrolle; KD = oberflächige Kalkung, VK = Vollumbruch mit Kalkung und Düngung, aus Beese et al. 1999)

Zur Bewertung waldbaulicher und ökologischer Effekte verschiedener Hiebsformen wurden 2003/2004 zwei Versuche im Solling eingerichtet (Nagel et al. 2014).

Auf der Fläche „Neuhaus“ werden Zielstärkenutzung, Saumschlag und Kleinkahlschlag im Vergleich zu unbehandelten Kontrollen, wo weder Eingriffe im Schirm noch Verjüngungsmaßnahmen stattfinden, miteinander verglichen (**Exkursionspunkt 4**). Die Hiebsform Kleinkahlschlag besteht aus einer 1 ha großen Kernfläche und einer 30 m breiten Umfassung. Der

Saumschlag gliedert sich in vier 30 m tiefe Säume, wobei dem aktuellen Außensaum immer ein vorbereiteter, aufgelockerter Innensaum folgt. Für die Hiebsform Zielstärkenutzung wurde eine Mindestzielstärke von  $\geq 45$  cm BHD unterstellt. Jede beschriebene Hiebsform ist zweifach wiederholt. Nach der Versuchsanlage erfolgen die weiteren Abnutzungen der Säume sowie Nachlichtungen bzw. Zielstärkenutzungen planmäßig nach 5, 10, 15 und 20 Jahren.



## Exkursionspunkt 1: Umweltmonitoringfläche Solling, Fichte

Profil Nr. 1: Bearbeiter: Stüber, Paar, Evers, Dammann, Hövelmann  
 TK 25: 4223                      Aufnahmedatum: 15.5.2013  
 Höhe ü. NN: 508 m  
 Geologie: Pleistozän über Trias; Lösslehm über Buntsandstein  
 Nutzung: Forst, Fichtenreinbestand  
 Relief: Plateau

### Profilbeschreibung 1: Umweltmonitoringfläche Solling, Fichte

Hor.-Nr.	Horizont	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L	+11	Fichtenstreu, locker
2	Of	+9	schichtige Nadelförna
3	Oh	+4	schwarzbraune, brechbare Humussubstanz
4	Ahe	-10	dunkelbrauner, schwach toniger Schluff; 5 % Skelett; mittelhumos; kohärentes bis subpolyedrisches Gefüge, starke Durchwurzelung
5	Bsv	-15	kräftig-brauner, schwach toniger Schluff, 5 % Skelett; schwach humos; kohärentes bis subpolyedrisches Gefüge, starke Durchwurzelung
6	S/AIBv	-40	gelblich-brauner, schluffiger Lehm; 5 % Skelett, schwach humos; kohärentes bis subpolyedrisches Gefüge, schwache Durchwurzelung
7	Btv	-75	hell rötlich-brauner, schluffiger Lehm; 20 % Skelett, schwach humos; subpolyedrisches bis polyedrisches Gefüge, sehr schwache Durchwurzelung
8	II SwdBtv/BvCv	-75+	rötlich-brauner, toniger Lehm, 25 % Skelett; schwach humos; subpolyedrisches bis polyedrisches Gefüge, sehr schwache Durchwurzelung

aus Meesenburg et al. (2013)

### Profilkennzeichnung 1: Umweltmonitoringfläche Solling, Fichte

Bodenform: schwach podsolierte, schwach pseudovergleyte, lessivierte Braunerde

Humusform: feinhumusreicher, rohhumusartiger Moder

WRB: Haplic Cambisol, dystric, densic

Anmerkung: Bei den nachfolgenden bodenphysikalischen und -chemischen Daten handelt es sich um Flächenmittelwerte aus jeweils 9 bis 24 Einzelproben.

### Physikalische Analysen 1: Umweltmonitoringfläche Solling, Fichte

Nr.	Tiefenst. cm	>2 mm Vol.-%	Sand	Schluff - % -	Ton	Bodenart n. KA5	TRD [g/cm <sup>3</sup> ]	nFK %
1	3-8	3	9,3	71,1	19,7	Ut4	0,90	34
2	25-30	5	9,3	71,2	19,5	Ut4	1,08	35
3	70-75	23	15,1	61,1	23,8	Lu	1,57	17
4	100-105	23	21,6	46,6	31,8	Lt2	1,66	12

**pH und Elementgehalte<sup>1</sup> 1: Umweltmonitoringfläche Solling, Fichte 2010**

Nr.	Tiefenst. cm	pH CaCl <sub>2</sub>	pH H <sub>2</sub> O	C <sub>org</sub> - mg/g -	Nt	C/N g/g	S - mg/g -	P	C/P g/g	Cu - µg/g -	Zn
1	L	3,82	4,26	528	15,2	35	1,13	0,84	631	8	50
2	Of	3,08	3,85	515	20,9	25	2,11	0,87	589	17	57
3	Oh	2,77	3,42	436	18,0	24	2,15	0,87	503	39	83
4	0-5	3,01	3,59	53	2,9	19	0,37	0,47	112	13	29
5	5-10	3,34	3,88	29	1,7	17	0,23	0,37	81	14	33
6	10-20	3,77	4,27	21	1,3	16	0,20	0,33	62	18	41
7	20-30	4,10	4,48	16	1,1	14	0,22	0,35	45	21	55
8	30-40	4,21	4,56	9	0,8	11	0,22	0,32	28	23	65
9	40-50	4,12	4,46	5	0,6	9	0,20	0,28	19	28	67
10	50-70	3,98	4,41	3	0,4	7	0,18	0,27	11	48	78
11	70-80	3,89	4,35	1	0,4	4	0,16	0,30	5	96	99
12	80-100	3,86	4,33		0,4	3	0,16	0,33	3	127	108

<sup>1</sup>C, N: Elementaranalyse; S, P: HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluss; Cu, Zn: Königswasser-Extraktion

**Austauscherbelegung<sup>1</sup> 1: Umweltmonitoringfläche Solling, Fichte 2010**

Nr.	Tiefenst. cm	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	H+	KAK eff	BS %
		- mmol/kg -									
1	L	43,5	108,6	35,2	4,2	4,3	0,73	35,2	37,4	269	71
2	Of	20,2	95,9	24,1	3,6	21,2	5,18	16,2	175,7	362	40
3	Oh	9,1	36,7	12,4	3,8	84,3	13,9	4,1	205,5	370	17
4	0-5	1,08	2,16	1,89	1,09	69,3	8,65	0,61	15,39	100	6,2
5	5-10	0,80	0,97	1,15	0,91	67,1	4,65	1,42	6,10	83,1	4,6
6	10-20	0,61	0,73	0,69	0,78	46,6	1,45	1,54	1,45	53,8	5,1
7	20-30	0,51	1,30	0,50	0,73	25,6	0,61	1,35	0,23	30,8	9,9
8	30-40	0,53	0,72	0,44	0,66	19,0	0,52	0,81	0,42	23,1	9,5
9	40-50	0,65	0,38	0,34	0,44	24,3	0,43	0,74	0,07	27,4	6,6
10	50-70	0,94	0,35	0,42	0,41	41,4	0,38	1,17	0,33	45,4	4,7
11	70-80	1,47	0,31	0,59	0,38	51,9	0,52	1,31	0,59	57,0	4,8
12	80-100	1,44	0,43	0,66	0,45	52,6	0,40	1,34	0,65	58,0	5,1

<sup>1</sup>BaCl-Extraktion

## Exkursionspunkt 2: Umweltmonitoringfläche Solling, Buche

Profil Nr. 2: Bearbeiter: Pagels, Beisecker  
 TK 25: 4223 Aufnahme datum: 21.4.2010  
 Höhe ü. NN: 504 m  
 Geologie: Pleistozän über Trias; Lösslehm über Buntsandstein  
 Nutzung: Forst, Buchenreinbestand  
 Relief: Plateau

## Profilkennzeichnung 2: Umweltmonitoringfläche Solling, Buche

Bodenform: schwach podsolierte, schwach pseudovergleyte Braunerde  
 Humusform: feinhumusarmer, typischer Moder  
 WRB: Haplic, Cambisol

Anmerkung: Bei den nachfolgenden bodenphysikalischen und -chemischen Daten handelt es sich um Flächenmittelwerte aus jeweils 9 bis 24 Einzelproben.

## Physikalische Analysen 2: Solling, Buche 2010

Nr.	Tiefenst. cm	>2 mm Vol.-%	Sand	Schluff - % -	Ton	Bodenart n. KA5	TRD [g/cm <sup>3</sup> ]	nFK %
1	10-15	19	22,0	54,5	23,5	Lu	1,14	23,6
2	25-30	14	22,4	54,0	23,6	Lu	1,16	17,2
3	40-45	7	22,3	55,1	22,7	Lu	1,32	17,6

aus Fleck et al. (2016)

## pH und Elementgehalte<sup>1</sup> 2: Solling, Buche 2010

Nr.	Tiefenst. cm	pH CaCl <sub>2</sub>	pH H <sub>2</sub> O	C <sub>org</sub> - mg/g -	Nt	C/N g/g	S - mg/g -	P	C/P g/g	Cu - µg/g -	Zn
1	L	4,45	4,96	510	17,2	30	1,28	1,08	471	11	48
2	Of	3,43	3,99	471	21,0	22	2,02	0,98	479	21	62
3	Oh	3,11	3,71	426	20,6	21	2,24	0,99	432	24	79
4	0-5	3,18	3,67	48	2,6	18	0,32	0,45	107	5	17
5	5-10	3,44	3,99	28	1,6	17	0,19	0,38	73	4	18
6	10-20	3,75	4,30	21	1,3	17	0,15	0,36	60	4	20
7	20-30	4,00	4,46	16	1,0	15	0,14	0,34	46	3	23
8	30-40	4,17	4,57	11	0,8	13	0,15	0,34	32	4	31
9	40-50	4,19	4,55	7	0,7	11	0,13	0,27	27	3	33
10	50-70	4,04	4,47	4	0,5	9	0,10	0,23	17	4	28
11	70-80	3,95	4,39	2	0,3	6	0,08	0,22	9	5	24
12	80-100	3,94	4,41	2	0,3	6	0,08	0,21	8	5	22

<sup>1</sup>C, N: Elementaranalyse; S, P: HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluss; Cu, Zn: Königswasser-Extraktion

**Austauscherbelegung<sup>1</sup> 2: Solling, Buche 2010**

Nr.	Tiefenst. cm	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	H+	KAK eff	BS %
		- mmol/kg -									
1	L	38,8	173,5	51,2	3,5	0,9	0,25	49,5	1,2	319	84
2	Of	22,7	112,0	28,1	3,8	14,1	3,05	29,4	15,1	228	71
3	Oh	15,4	77,0	20,6	3,3	33,8	7,61	15,8	25,5	199	57
4	0-5	1,48	3,13	1,36	0,76	53,81	4,62	0,76	9,21	75,1	8,9
5	5-10	0,96	1,50	0,74	0,43	57,30	1,89	1,26	4,39	68,5	5,3
6	10-20	0,68	0,71	0,48	0,37	43,84	0,52	0,98	1,42	49,0	4,5
7	20-30	0,48	0,51	0,32	0,32	28,67	0,30	0,59	0,29	31,5	5,1
8	30-40	0,42	0,44	0,25	0,28	20,96	0,32	0,36	0,08	23,1	6,0
9	40-50	0,43	0,33	0,23	0,26	21,01	0,35	0,27	0,02	22,9	5,5
10	50-70	0,64	0,25	0,26	0,24	36,35	0,36	0,25	0,06	38,4	3,6
11	70-80	0,89	0,19	0,32	0,23	48,79	0,52	0,24	0,11	51,3	3,2
12	80-100	0,93	0,21	0,32	0,21	47,66	0,55	0,21	0,17	50,3	3,3

<sup>1</sup>BaCl-Extraktion

### Exkursionspunkt 3: Melioration

Profil Nr. 3: Bearbeiter: Stüber, Paar, Evers, Dammann, Hövelmann  
TK 25: 4223                      Aufnahmedatum: 16.5.2013  
Höhe ü. NN: 500 m  
Geologie: Pleistozän über Trias; Fließerde aus Buntsandstein und Löss über älterer Buntsandsteinfließerde  
Nutzung: Forst, Fichte, Buche, Schwarzerle  
Relief: Plateau

### Profilbeschreibung 3: Melioration

Hor. Nr.	Horizont	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L	+4	Streu- und Blattreste
2	Of	+3	überwiegend Fönamaterial
3	Oh	+1	loser bis feinkrümiger Humus
4	Aeh	-10	dunkel gelblich-brauner, schwach toniger bis toniger Schluff (Ut3); schwach steinig; schwach ausgeprägtes Feinpolyedergefüge; halboffen gelagert; geschätzte TRD 0,9–1,0; mittel humos; sehr stark durchwurzelt; Übergang schwach wellig, fließend
5	AIBv	-20	gelblich-brauner, stark toniger Schluff (Ut4); schwach steinig; mäßig ausgeprägtes Feinpolyedergefüge; halboffen; geschätzte TRD 1,1; schwach humos; stark bis sehr stark durchwurzelt; Übergang fließend, schwach ausgeprägt
6	BtBv	-40	bräunl.-gelber, schluffiger Lehm (Lu); steinig (15 %); Feinpolyedergefüge; halboffen; geschätzte TRD 1,2; sehr schwach humos; stark durchwurzelt; Übergang wellig fließend, undeutlich
7	II Bv	-100	gelblich-brauner, toniger Lehm (Lt); schwach steinig (5 %); Feinpolyedergefüge; halboffen; geschätzte TRD 1,3; sehr schwach humos bis humusfrei; mäßig durchwurzelt; Übergang wellig fließend
8	III BvCv	-100+	gelblich-brauner, schluffig-lehmiger Sand (Sl3); mittel steinig (20 %); kohärentes Subpolyedergefüge; geschätzte TRD 1,4; humusfrei (h0); schwach pseudovergleyt; sehr schwach durchwurzelt; Übergang eben-horizontal, mäßig deutlich

aus Meiwes et al. (2013)

### Profilkennzeichnung 3: Melioration

Bodenform: schwach podsolige, im Unterboden schwach pseudovergleyte, lessivierte Braunerde  
Humusform: feinhumusarmer Moder



### Physikalische Analysen 3: Melioration 1999

Nr.	Tiefenst. cm	>2 mm Vol.-%	Sand	Schluff - % -	Ton	Bodenart n. KA5	TRD [g/cm <sup>3</sup> ]	nFK %
1	O							
2	0-5		8,1	79,9	12	Ut3	0,97	25,4
3	10-15						1,49	16,4
4	20-25						1,45	19
5	30-35		28,8	50,7	20,4	Lu	1,41	18,4
6	60-65						1,65	12,7
7	100-105	20	58	24,7	17,2	Ls4	1,77	11,6

aus Beese et al. (1999)

### pH und Elementgehalte<sup>1</sup> 3: Melioration 1999

Nr.	Tiefenst. cm	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	C <sub>org</sub> - mg/g -	Nt	C/N g/g	S - mg/g -	P	C/P g/g	Cu - µg/g -	Zn
1	O	2,83	3,62	388	16,6	23		1,17	332		
2	0-5	2,90	3,68	99	4,9	20		0,68	146		
3	10-15	2,91	3,65	36	1,7	21		0,41	88		
4	20-25	3,70	4,10	19	1,0	19		0,33	58		
5	30-35	4,16	4,46	14	0,9	16		0,35	40		
6	60-65	4,04	4,34	3	0,3	10		0,23	13		
7	100-105	3,80	4,28					0,16			

<sup>1</sup>C, N: Elementaranalyse; P: HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluss; aus Beese et al. (1999)

### Austauscherbelegung<sup>1</sup> 3: Melioration 1999

Nr.	Tiefenst. cm	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	H+	KAK eff	BS %
		- mmol <sub>e</sub> /kg -									
1	O										
2	0-5	2,42	14,05	2,81	0,59	54,1	19,80	0,66	34,6	129	17
3	10-15	0,90	5,29	1,34	0,43	58,7	19,20	0,46	27,7	111	8,0
4	20-25	0,66	1,57	0,55	0,37	66,5	1,17	2,25	2,4	76,0	5,0
5	30-35	0,60	0,74	0,22	0,30	42,9	0,23	1,11	0,0	46,1	5,3
6	60-65	1,24	0,57	0,26	0,23	42,5	0,04	0,43	0,0	45,3	7,8
7	100-105	0,40	0,69	0,22	0,21	41,6	0,00	0,35	0,0	43,4	4,4

<sup>1</sup>NH<sub>4</sub>Cl-Perkolation, aus Beese et al. (1999)

#### Exkursionspunkt 4: Hiebsvergleich

Profil Nr. 4 Bearbeiter: Stüber, Paar, Evers, Dammann, Hövelmann  
 TK 25: 4223 Aufnahmedatum: 31.5.2013  
 Höhe ü. NN: 500 m  
 Geologie: Pleistozän über Trias; Lösslehm über Buntsandstein  
 Nutzung: Forst, Fichtenreinbestand  
 Relief: Plateau, schwach SW-geneigt

#### Profilbeschreibung 4: Hiebsvergleich

Hor. Nr.	Horizont	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L	+7	locker gelagerte Nadelstreu
2	Of	+6	vernetzt, stellenweise auch locker gelagertes Förnamaterial, mittelstark durchwurzelt
3	Oh	+3,5	kompakt, schwach brechbares, teilweise loses Humusmaterial, auch bröckelig, mittel bis stark durchwurzelt
4	Ahe	-9,5	dunkel rötlich-brauner, locker gelagerter Lehm; mittel humos; carbonatfrei; 10 % Grus und 5 % Steine; subpolyedrisch; mittel fein- und gering grobdurchwurzelt
5	Bv	-50	rötlich-brauner, schwach toniger bis toniger Lehm, 10 % Grus und 5 % Steine; kleine Subpolyeder; mittel fein- und gering grobdurchwurzelt
6	II CvSwd	-95	gelblich-roter, schwach toniger bis toniger Lehm, mittlere bis hohe Lagerungsdichte; dunkel- und hellrostfarbene Oxidationsflecken, Bleichungen; Mangan- und Eisenkonkretionen; sehr schwach durchwurzelt; Subpolyeder
7	SdCv	-115	gelblich-roter, toniger Lehm
8	il Cv	-125	rötlich-brauner, lehmiger bis toniger Sand

aus Nagel et al. (2013)

#### Profilkennzeichnung 4: Hiebsvergleich

Bodenform: schwach podsolierte Pseudogley-Braunerde

Humusform: feinhumusreicher, rohhumusartiger Moder

Anmerkung: Analysenergebnisse aus Nagel et al. (2013)

#### pH und Elementgehalte<sup>1</sup> 4: Hiebsvergleich 2013

Nr.	Tiefenst. cm	pH CaCl <sub>2</sub>	pH H <sub>2</sub> O	C <sub>org</sub> - mg/g -	Nt	C/N g/g	S - mg/g -	P	C/P g/g	Cu - µg/g -	Zn
1	LOf	4,03	4,61	453	18,0	25	1,78	1,08	418	19	83
2	Oh	3,31	4,01	392	17,1	23	1,96	1,03	380	40	81
3	0-5	3,22	3,94	57	3,1	18					
4	5-10	3,33	3,99	32	2,0	16					
5	10-30	3,74	4,25	13	1,1	12					
6	30-60	3,98	4,37	6,0	0,6	10					
7	60-90	3,89	4,29	1,5	0,3	5					

<sup>1</sup> C, N: Elementaranalyse; S, P: HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluss; Cu, Zn: Königswasser-Extraktion

## Austauscherbelegung<sup>1</sup> 4: Hiebsvergleich 2013

Nr.	Tiefenst. cm	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	H+	KAK eff	BS %
- mmol <sub>c</sub> /kg -											
1	LOf	1,7	8,8	2,4	0,1	3,8	4,48	2,2			
2	Oh	1,9	4,2	1,3	0,1	7,5	10,24	0,4			
3	0-5	1,59	23,89	7,74	0,97	68,1	4,82	0,98	23,80	132	25,9
4	5-10	1,09	10,30	4,60	0,72	81,3	1,50	1,36	13,12	114	14,7
5	10-30	1,38	2,69	1,16	0,58	66,2	0,21	0,80	1,55	75	7,8
6	30-60	1,33	1,01	0,78	0,50	50,1	0,05	0,51	0,00	54	6,7
7	60-90	1,73	0,68	0,62	0,42	63,7	0,00	0,25	0,00	67	5,1

<sup>1</sup> LOf, Oh: Königswasser-Extraktion, Mineralboden: NH<sub>4</sub>Cl-Perkolation

## Literatur

- Beese F, Deutschmann G, Meiwes KJ (1999): Exkursion G5: Belastung, Manipulation und Sanierung von Waldböden am Beispiel des Sollings. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 90: 307–326
- Benecke P (1984): Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. Schr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Nieders. Forstl. Versuchsanst. 77
- Bonten LTC, Groenenberg JE, Meesenburg H, de Vries W (2011): Using advanced surface complexation models for modelling soil chemistry under forests: Solling forest, Germany. *Environmental Pollution* 159: 2831–2839, doi: 10.1016/j.envpol.2011.05.002
- Corre MD, Lamersdorf NP (2004): Reversal of nitrogen saturation after long-term deposition reduction: Impacts on soil nitrogen cycling. *Ecology* 85: 3090–3104
- Deutschmann G (1994): Zustand und Entwicklung der Versauerung des Bodens und des oberflächennahen Buntsandsteinuntergrundes eines Waldökosystems im Solling. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme A118
- De Vries W, Vel E, Reinds GJ, Deelstra H, Klap JM, Leefters EJM, Hendriks CMA, Kerkvoorden M, Landmann G, Herkendel J, Hausmann T, Erisman JW (2003): Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe: 1. Objectives, set-up and evaluation strategy. *Forest Ecol. Managem.* 174: 77–95
- Ellenberg H, Mayer R, Schaueremann J (Hrsg.) (1986): Ökosystemforschung: Ergebnisse des Solling-Projekts. Stuttgart, Ulmer
- Fleck S, Cools N, de Vos B, Meesenburg H, Fischer R (2016): The Level II aggregated forest soil condition database links soil physicochemical and hydraulic properties with long-term observations of forest condition in Europe. *Annals of Forest Science* 73: 945–957, doi: 10.1007/s13595-016-0571-4
- Höper H, Meesenburg H (Hrsg.) (2012): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. *Geoberichte* 23. 254 S.
- Jochheim H, Puhlmann M, Beese F, Berthold D, Einert P, Kallweit R, Konopatzky A, Meesenburg H, Meiwes KJ, Raspe S, Schulte-Bisping H, Schulz C (2009): Modelling the carbon budget of intensive forest monitoring sites in Germany using the simulation model BIOME-BGC. *iForest* 2: 7–10 [online: 2009-01-21] URL: <http://www.sisef.it/forest/show.php?id=475>, doi: 10.3832/ifor0475-002
- Klinck U, Rademacher P, Scheler B, Wagner M, Fleck S, Ahrends B, Meesenburg H (2012): Ökosystembilanzen auf forstwirtschaftlich genutzten Flächen. In: Höper H, Meesenburg H (Hrsg.) 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. *Geoberichte* 23: 163–174
- Koschorreck J, Conrad A, Körner A, Rüter M, Schröter-Kermani C, Mohaupt V, Kolossa-Gehring M, Fliedner A, Rüdell H (2012): Die Umweltprobenbank: Umweltbeobachtung mit Proben von Mensch und Umwelt. Umweltbundesamt
- Meesenburg H, Merino A, Meiwes KJ, Beese FO (2004): Effects of long-term application of ammonium sulphate on nitrogen fluxes in a beech ecosystem at Solling, Germany. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 4: 415–426
- Meesenburg H, Brumme R, Jacobsen C, Meiwes KJ, Eichhorn J (2009): Soil properties. In: Brumme R, Khanna PK (Hrsg.) *Functioning and Management of European Beech Ecosystems*, *Ecol. Studies* 208: 33–47
- Meesenburg H, Klinck U, Dammann I, Ahrends B, Scheler B, Fortmann H, Fleck S (2013): Die Intensiv-Waldmonitoringflächen mit Buche und Fichte im Solling. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.) *Ergebnisse der Waldökosystemforschung im Solling, Jahrestagung der AFSV vom 11.–14. September 2013 im Solling*: 44–53, [http://www.afsv.de/download/literatur/AFSV\\_2013\\_Solling.pdf](http://www.afsv.de/download/literatur/AFSV_2013_Solling.pdf)

- Meiwes KJ, Badeck FW, Beese F, Berthold D, Einert P, Jochheim H, Kallweit R, Konopatzky A, Lasch P, Meesenburg H, Puhlmann M, Raspe S, Schulte-Bisping H, Schulz C, Suckow F (2007): Kohlenstoffumsatz in Waldökosystemen und deren Böden: Parametrisierung, Kalibrierung und Validierung von Modellen. *AFZ-DerWald* 20: 1075–1077
- Meiwes KJ, Meesenburg H, Eichhorn J, Jacobsen C, Khanna PK (2009): Changes in C and N contents of soil under beech forests over a period of 35 years. In: Brumme R, Khanna PK (Hrsg.) *Functioning and Management of European Beech Ecosystems*. *Ecol. Studies* 208: 49–64
- Meiwes KJ, Noltensmeier A, Mindrup M (2013): Kalkungsversuche: Wirkung von oberflächiger Kalkapplikation und von Vollumbruch mit Kalkeinmischung auf Boden, Kultur und Jungbestand sowie das Feinwurzelwachstum der Fichte. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.) *Ergebnisse der Waldökosystemforschung im Solling, Jahrestagung der AFSV vom 11.–14. September 2013 im Solling*: 62–71, [http://www.afsv.de/download/literatur/AFSV\\_2013\\_Solling.pdf](http://www.afsv.de/download/literatur/AFSV_2013_Solling.pdf)
- Mindrup M, Höper H (2012): Bodenbiologische Untersuchungen. In: Höper H, Meesenburg H (Hrsg.) *20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen*. *Geoberichte* 23: 79–94
- Müller F, Bergmann M, Dannowski R, Dippner JW, Gnauck A, Haase P, Jochimsen MC, Kasprzak P, Kröncke I, Kümmerlin R, Küster M, Lischeid G, Meesenburg H, Merz C, Millat G, Müller J, Padisák J, Schimming CG, Schubert H, Schult M, Selmečzy G, Shatwell T, Stoll S, Schwabe M, Soltwedel T, Straile D (2016): Assessing resilience in long-term ecological data sets. *Ecological Indicators* 65: 10–43, doi: 10.1016/j.ecolind.2015.10.066
- Nagel R-V, Rumpf H, Klinck U, Meiwes KJ (2013): Hiebsformen: Umbau von Fichtenreinbeständen. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.) *Ergebnisse der Waldökosystemforschung im Solling, Jahrestagung der AFSV vom 11.–14. September 2013 im Solling*: 72–81, [http://www.afsv.de/download/literatur/AFSV\\_2013\\_Solling.pdf](http://www.afsv.de/download/literatur/AFSV_2013_Solling.pdf)
- Nagel R-V, Rumpf H, Meiwes KJ, Klinck U, Spellmann H (2014): Hiebsformen zum Umbau älterer Fichtenreinbestände. *AFZ-DerWald* 10: 22–26
- Raspe S, Bastrup-Birk A, Fleck S, Weis W, Mayer H, Meesenburg H, Wagner M, Schindler D, Gartner K (2013): Meteorology. In: Ferretti M, Fischer R (Hrsg.) *Forest Monitoring: Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia*. *Developments in Environmental Science*, Vol. 12, Amsterdam, Elsevier: 319–336
- Ulrich B. (1994): Nutrient and acid/base budget of central European forest ecosystems. In: Hüttermann A, Godbold DL (Hrsg.) *Effects of acid rain on forest processes*. New York, Wiley: 1–50
- Ulrich B, Mayer R, Khanna PK (1979): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. *Schriften aus der Forstl. Fak. der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt* 58. 291 S.
- Wellbrock N, Lauer A, Eickenscheidt N, Grüneberg E, Evers J, Ahrends B, Schimming CG, Nagel H-D, Riek W, Meiwes KJ, Meesenburg H (2016): Bodenversauerung und Nährstoffverfügbarkeit. In: Wellbrock N, Bolte A, Flessa H (Hrsg.) *Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008*, Thünen Report 43: 75–134, doi: 10.3220/REP1473930232000 urn:nbn:de:gbv:253-201609-dn057211-6

## E-01: Versuchsgüter Universität Göttingen

Dirk Augustin

Käte-Hamburger-Weg 4, 37073 Göttingen

---

### Herzlich Willkommen auf dem Versuchsgut Reinshof!



Das in der Leineaue südlich von Göttingen gelegene **Klostergut Reinshof** wird seit 1980 als Versuchsgut für den Bereich Nutzpflanzenwissenschaften genutzt. Die Einrichtungen stehen auch anderen Fachrichtungen für Versuchsdurchführungen zur Verfügung. Darüber hinaus können Feldversuche auch auf dem nördlich von Göttingen gelegenen **Klostergut Marienstein** mit Flächen in Göttingen, Holtensen und Weende durchgeführt werden. Seit dem 1. Oktober 2000 stehen mit dem **Klostergut Deppoldshausen** auch Kalksteinverwitterungsböden als Grenzertragsstandort zur Verfügung.

Die Versuchsgüter im Bereich Nutzpflanzenwissenschaften verfügen über 670 ha landwirtschaftliche Nutzfläche. Etwa ein Drittel der Fläche ist für Exaktversuche geeignet. Parzellenversuche finden überwiegend auf den vergleichsweise homogenen Auenlehmen des Reinshofes statt.

Auf dem Versuchsgut Reinshof können im Seminargebäude Arbeitstreffen, Kolloquien, Workshops usw. abgehalten werden. Auch Lehrveranstaltungen für die Studierenden und vorbereitende Sitzungen für Feldrundgänge finden hier statt.

Weitere Infos unter:  
[www.uni-goettingen.de/de/versuchsgut-reinshof/112216.html](http://www.uni-goettingen.de/de/versuchsgut-reinshof/112216.html)



## E-02: Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen

Wolfgang Eschenbach - Büsgenweg 2, KOSI

Führung: Verein Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen e.V.

*Folgende Texte und Abbildungen sind der offiziellen Website der Wiechert'schen Erdbebenwarte Göttingen entnommen. Die Texte und Abbildungen sind neben vielen weiteren Informationen unter folgendem Link im Internet abrufbar: <http://www.erdbebenwarte.de/>*

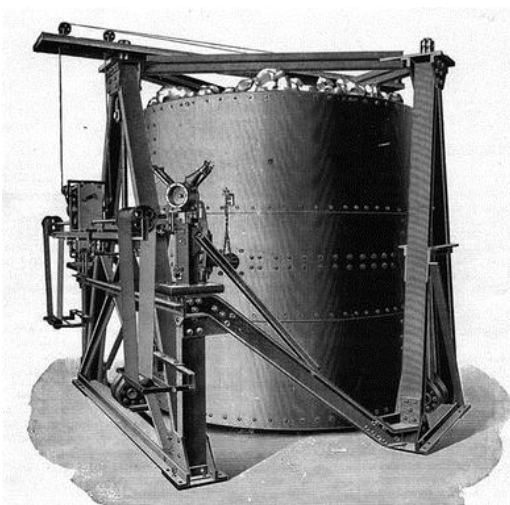
### Wiechert'sche Erdbebenwarte

Die Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen ist eine voll funktionsfähige seismologische Messstation und ein begehrtes Technikmuseum zugleich. Besucher sehen hier historische und moderne Seismografen, erleben beim Fall der Mintrop-Kugel, wie künstlich kleine Erdbeben ausgelöst werden oder wie einst mit dem Passage-Instrument die astronomische Zeit bestimmt wurde.



**Abb. 1:** Historische Erdbebenwarte

Im Alten Erdbebenhaus erlebt man historische Hightech! Der Hauptraum ist voll von funktionsfähigen Messgeräten: der astatische Horizontalseismograf, das 17 t Pendel und der Vertikalseismograf.

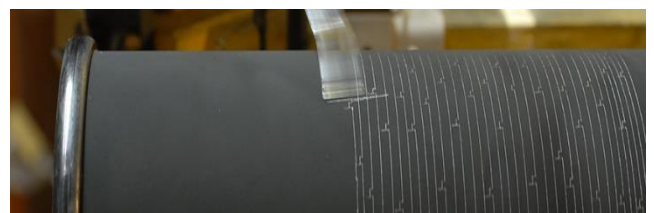


**Abb. 2:** Der Seismograf als skizzierter Entwurf der Firma Spindler & Hoyer

Das Gebäude ist seit 1902 in Betrieb. Die Bodenplatte des Hauses aus „Stampfbeton“ liegt auf einem Muschelkalk-Felsen. Das Haus wurde klug konstruiert und schützt die empfindlichen seismischen Messgeräte vor Wärme und Feuchtigkeit.

Ferner finden hier Erläuterungen und Vorführungen für die Besuchergruppen statt. So werden – vergleichbar mit dem Hörbarmachen des Walgesangs – die seismischen Wellen eines Erdbebens derart komprimiert, dass sie wie ein anhaltendes Donnern zu vernehmen sind.

Um zum Erdbebenhaus zu gelangen, muss der Besucher einem schmalen, von stetig ansteigenden Mauern gesäumten Waldweg folgen. Das Gebäude hat eine nutzbare Fläche von 65 m<sup>2</sup>. Es besteht aus einem kleineren Vorraum, einem 40 m<sup>2</sup> großen Instrumentenraum und (seit 1970) einem Berußungsraum zur Herstellung der Rußpapiere, auf denen die Seismografen die Bodenbewegungen aufzeichnen.



**Abb. 3:** Rußpapier-Aufzeichnung seismischer Wellen

Auf der Nord- und Ost-Seite des Erdbebenhauses wurde im Jahr 1925 das sogenannte „Neue Erdbebenhaus“ gebaut. In diesem Haus waren weitere im Institut entwickelte Seismografen sowie eine Eichvorrichtung aufgebaut, von denen aber nichts mehr vorhanden ist. Heute dient dieses Haus als Magazin, in dem sich noch eine

Spritzkabine der mechanischen Werkstatt sowie einige historische Geräte befinden.

### Emil Wiechert (1861–1928)

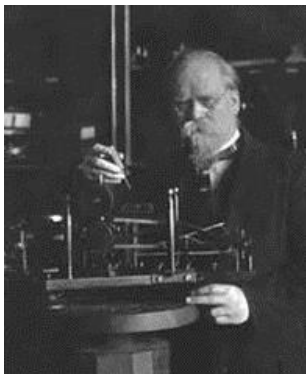


Abb. 4: Emil Wiechert

Er experimentierte mit Röntgen- und Kathodenstrahlen und gilt, um es verkürzt zu sagen, als einer der „Entdecker“ des Elektrons. So war Wiechert bereits ein namhafter Physiker, als er 1897 nach Göttingen kam und auch hier noch seine physikalischen Arbeiten fortsetzte.

Emil Wiechert wurde 1898 auf die zunächst außerordentliche, ab 1905 ordentliche Professur für Geophysik in Göttingen berufen. Damit verbunden war die ebenfalls 1898 erfolgte Gründung eines Instituts für Geophysik in der Nachfolge des bis dahin an der Sternwarte beheimateten erdmagnetischen Observatoriums von Gauß und Weber.

Sein Name ist in der Elektrodynamik mit den „Lienard-Wiechertschen Potenzialen“ verbunden. Als Direktor des neuen Instituts war es dann seine starke Neigung zur Seismologie, die das Hauptarbeitsgebiet des Instituts bestimmte und diesem schnell Weltgeltung verschaffte. Mit seiner „Theorie der automatischen Seismografen“ schuf Wiechert die Grundlagen zum Bau und zum Verständnis der Wirkungsweise seiner Seismografen, die noch heute im „Alten Erdbebenhaus“ auf dem Institutsgelände die „ferne Kunde“ (so Wiechert) aufzeichnen. Mit dem auch nach dem Göttinger Mathematiker G. Herglotz benannten „Wiechert-Herglotz-Verfahren“ wurde es möglich, aus den Seismogrammen an der Erdoberfläche den Aufbau des Erdinneren zu erschließen.

Wiechert, in Tilsit geboren, studierte in Königsberg, wo er bereits an dem berühmten mathematisch-physikalischen Seminar der Universität mit einer Reihe später höchst bedeutender Wissenschaftler bekannt wurde.

### Ludger Mintrop (1880–1956)



Abb. 5: Ludger Mintrop

Ludger Mintrop wurde in der Nähe von Essen geboren, studierte Markscheidekunde in Aachen, ging anschließend zu Emil Wiechert nach Göttingen und promovierte dort 1911 mit einer Arbeit über „Künstlich erzeugte Bodenschwingungen“.

Er wurde Dozent an der Bergschule Bochum und entwickelte einen transportablen Seismografen. Den verwandte er, um die seismischen Methoden für Geologie und Bergbau nutzbar zu machen.

1921 gründete er die „Seimos GmbH“, eine Spezialfirma für geophysikalische Lagerstättenforschung. Damals begann der Siegeszug der angewandten Seismologie beim Auffinden von Erdölvorkommen. Mintrop wurde 1928 Professor für Markscheidekunde und Geophysik in Breslau.

Von 1945 bis 1948 hatte er den gleichen Lehrstuhl in Aachen inne. Er ist einer der Pioniere der angewandten Geophysik.

Ludger Mintrop war ein gelehriger Schüler Wiecherts und Mitbegründer der modernen Geophysik.

1908 erzeugte er erstmals größere künstliche Erdbeben – eine Idee, die ihn später steinreich machen sollte. Auf dem Gebiet der Erdbebenwarte ließ er ein Stahlgerüst bauen, von dem eine vier Tonnen Stahlkugel – spendiert von der Firma Krupp – auf den Muschelkalkboden fallen gelassen wurde. Transportable Seismografen registrierten mit bis zu 50.000-facher Verstärkung in verschiedenen Entfernungen die künstlich ausgelösten seismischen Bodenwellen.

Damit war man in der Lage, markante Gesteinsgrenzen in der Tiefe mit großer Genauigkeit zu erfassen. Dieses Verfahren war ursprünglich für den Bergbau vorgesehen, erlangte aber mit dem Aufstreben der Ölindustrie in diesem Bereich große Bedeutung.

Aus diesen Versuchen entwickelte sich bald die Methode der Sprengseismik. Statt der schweren Kugel verwendete Mintrop später Dynamit. Unter wesentlicher Beteiligung von Mintrop wurde 1921 die Prospektionsfirma Seismos GmbH gegründet. Mintrop schaffte es mit seiner Methode, ein „3-D-Bild“ unter der Erdoberfläche zu erstellen, markante Gesteinsgrenzen auszumachen und spezielle feste oder flüssige Schichten zu lokalisieren – beispielsweise Erdöl und andere Bodenschätze. Weltweit suchte der Geopionier mit seiner patentierten Erschütterungsmessung vor allem nach Erdöllagerstätten, was ihm nicht nur Anerkennung, sondern auch großen unternehmerischen Erfolg einbrachte.

Der Markscheider und Geophysiker Ludger Mintrop meldete am 7. Dezember 1919 sein Patent-Verfahren zur Ermittlung des Aufbaus von Gebirgsschichten an. Die Gründung der Seismos dann am 4. April 1921 durch Mintrop und die Montankonzerne Deutsch Lux, Phoenix, Hoesch, Thyssen und Rhein Stahl. Ziel des Unternehmens war es, Gebirgsschichten und nutzbare Lagerstätten zu erforschen.

Erste Arbeiten in Deutschland, Österreich, Polen, Holland und Schweden galten der Erfassung und Abgrenzung von Kohlelagerstätten sowie von Erzkörpern und Quarzitlagern. Um lesbare Signale zu erhalten, hatte man künstliche Erdbeben mit enormen Sprengstoffmengen zu erzeugen. Mintrop entwickelte ein völlig neues Verfahren, welches unter der Bezeichnung Refraktionsseismik bekannt werden sollte. Mittels dieses Verfahrens konnte man die Salzstöcke der niedersächsischen Erdölregionen erkunden und über diesen Umweg auf Erdöl stoßen.

### **Fallturm der Mintrop-Kugel**

Im Jahr 1908 begann Ludger Mintrop, ein Schüler Wiecherts, künstliche Erdbeben zu erzeugen und mit transportablen Seismografen mit bis zu 50.000-facher Vergrößerung die Bodenwellen in verschiedenen Entfernungen zu registrieren. Er ließ ein 14 m hohes Stahlgerüst bauen, von dem eine vier Tonnen schwere, von der Firma Krupp spendierte Stahlkugel fallen gelassen wurde.



**Abb. 6:** Vorführung am Mintrop-Kugel-Fallturm

## E-03: Stadtführung „Göttinger Unterwelt“

Karin Schmidt

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abt. Agrarpedologie, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen  
Tourist-Information Göttingen

---

*Folgender Text ist der offiziellen Website der Stadt Göttingen entnommen.*

<http://www.goettingen-tourismus.de/erleben/stadtfuehrungen/stadtfuehrungen-fuer-gruppen/fuehrungen-zu-spezialthemen/gebaeude-mit-geschichte.html>

### **Ein Gang durch Göttingens Unterwelt – Geheimnisse alter Gewölbekeller**

In Göttingen gibt es zahlreiche liebevoll restaurierte Fachwerkhäuser. Aber auch im Verborgenen wird fleißig am Erhalt der historischen Altstadt gearbeitet.

Mehrere mittelalterliche Gewölbekeller sind bereits mit großem Aufwand und großer Sachkenntnis wiederhergestellt worden. Sie dienten Kaufleuten, Handwerkern und Mönchen als Arbeits- und Wohnraum, aber auch dem unfreiwilligen Aufenthalt Gefangener. Einige dieser sonst der Öffentlichkeit nicht zugänglichen Keller werden bei dem Rundgang vorgestellt.

*Berichte, Informationen und Abbildungen zu der Führung sind im Göttinger Tageblatt und in der Hessischen/Niedersächsischen Allgemeinen Zeitung (HNA) unter folgenden Links im Internet abrufbar.*

<http://www.goettinger-tageblatt.de/Goettingen/Themen/333-Dinge/Unbekanntes-Goettingen-Kerker-Gewoelbe-und-Rituale>

<https://www.hna.de/lokales/goettingen/fuehrung-durch-goettinger-unterwelt-toilette-moennche-3498068.html>



# F-01: Von hochauflösender Massenspektrometrie zu Mehrfachisotopenapplikationen – State-of-the-Art-Methodik in der Bodenbiogeochemie

Michaela A. Dippold<sup>1</sup>, Yakov Kuzyakov<sup>1,2</sup>, Mutez A. Ahmed<sup>4</sup>, Andrea Carminati<sup>4</sup>, Jens Dyckmans<sup>3</sup>, Callum C. Banfield<sup>2</sup>, Bernd Kopka<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Agrarpedologie, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Fakultät für Agrarwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen

<sup>2</sup> Ökopedologie der gemäßigten Zonen, Bünsen-Institut, Fakultät für Forstwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen

<sup>3</sup> Kompetenzzentrum Stabile Isotope, Bünsen-Institut, Fakultät für Forstwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen

<sup>4</sup> Abteilung für Bodenhydrologie, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Fakultät für Agrarwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen

<sup>5</sup> Labor für Radioisotope, Bünsen-Institut, Fakultät für Forstwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen  
Alle Bünsenweg 2, 37077 Göttingen

---

## Einleitung

Die größten Fortschritte in der Bodenbiogeochemie können im Wesentlichen drei analytischen Methodenfeldern zugeordnet werden: i) den spektroskopischen Methoden zur Charakterisierung organischer Bodensubstanz, ii) den molekularbiologischen Methoden (inkl. mikrobieller Biomarker) zur Charakterisierung der Organismen und damit Akteure biogeochemischer Kreisläufe und iii) den Isotopenmethoden, mithilfe derer die Flüsse in terrestrischen Ökosystemen auch im Fließgleichgewicht verfolgt und quantifiziert werden können. Die Kombination des bodenchemischen Labors der Universität Göttingen zusammen mit dem Kompetenzzentrum Stabile Isotope (KOSI) und dem Labor für Radioisotope (LARI) erlaubt es hierbei, nicht nur alle drei analytischen Hauptfelder der Bodenbiogeochemie abzudecken, sondern bietet in einzigartiger Weise in Deutschland die Möglichkeit, molekulare und Isotopenanalytik der zentralen Stoffkreisläufe (C, N, P, S, O, H) zu koppeln. Ziel der Exkursion ist es aufzuzeigen, welche Potenziale für zukunftsweisende Erkenntnisse der Bodenchemie aus der Kombination von High-End-Analytik und hochinnovativer Isotopenanwendung erwachsen können. Hierbei werden sowohl die experimentellen und analytischen Labore der Ökopedologie der gemäßigten Zonen, der Agrarpedologie und der Bodenhydrologie

(Bünsenweg 2) besucht als auch die analytischen Potenziale von LARI und KOSI (ebenfalls Bünsenweg 2) vorgestellt und jeweils Anwendungsbeispiele aus Bodenkunde und weiteren Forschungsdisziplinen aufgezeigt.

## Station 1: Überblicksvortrag

Die Exkursion beginnt mit einem 20-minütigen Kurzvortrag im Seminarraum des Instituts, der einen Überblick über das analytische Potenzial des Instituts geben wird und in dessen Rahmen die Anwendung in aktuellen Forschungsprojekten umrissen wird. Im Rahmen dieses Vortrags werden Getränke verschiedener Herkunftsregionen und Produktionsweisen angeboten, deren molekulare und isotopische Differenzierung an den verschiedenen Laborstationen näher erläutert wird. Nach diesen ersten Eindrücken werden die nachfolgenden drei Stationen in Teilgruppen besucht.

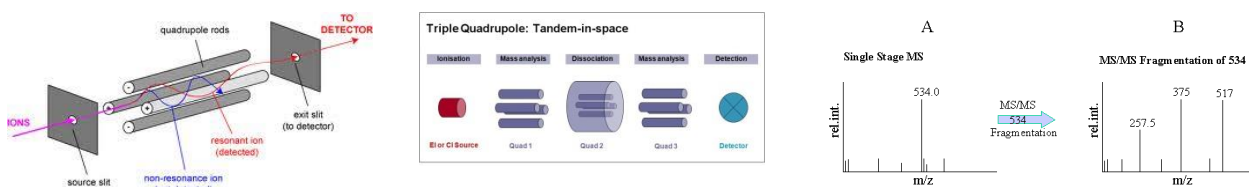
## Station 2: Experimentelle und molekulare analytische Labore der Ökopedologie, Agrarpedologie und Bodenhydrologie

Diese Station beginnt mit einem Einblick in die experimentellen Aufbauten und Designs in den

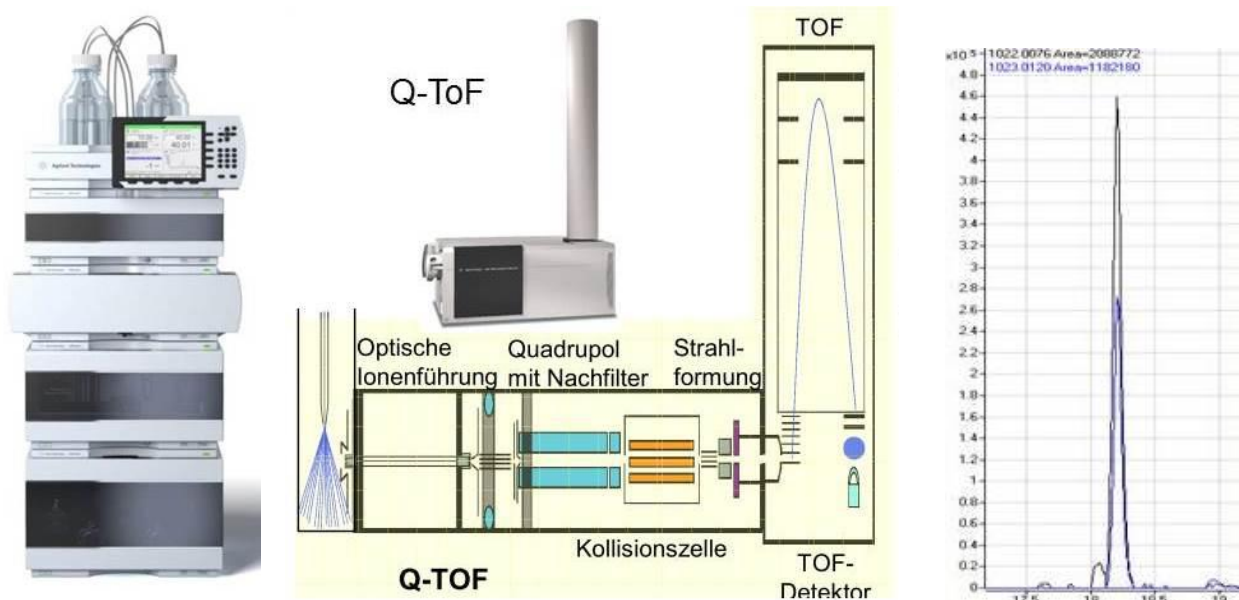


Inkubations- und Pflanzenkammern der bodenkundlichen Abteilungen. Online-Kopplung von Mikro- und Mesokosmenanlagen mit Gaschromatografen (GC) und Cavity-Ringdown-Spektrometern zur Online-Detektion der CO<sub>2</sub>-Isotopie werden ebenso gezeigt wie spezielle Rhizotronaufbauten zur Herstellung von Proben für nachgeschaltete Imaging-Analysen der Radionuklide <sup>14</sup>C und <sup>33</sup>P (Pausch u. Kuzyakov 2011) sowie Enzymaktivitäten (Razavi et al. 2016) oder der Wasserflüsse (Ahmed et al. 2016, Zarebanadkouki et al. 2013). Danach erfolgt ein Rundgang durch die analytischen Labore der bodenkundlichen Abteilungen, wobei hier die Aufbereitungsschritte sowohl für die molekulare Analytik als auch nachfolgende Isotopenanalytik aufgezeigt werden. Präparative Gas- sowie Flüssigchromatografie (LC) als finale Aufarbeitungsschritte für eine komponentenspezifische Radioisotopenanalytik werden vorgestellt (Rethemeyer et al. 2004). Des Weiteren wird ein Fokus dieses Teils der Laborexkursion auf dem Massenspektrometrielabor liegen. GC-MS und vergleichend dazu die Vorteile des GC-MS/MS werden anhand bodenkundlicher Beispiele aus dem Feld der Biomarker-Analytik aufgezeigt

(Birk et al. 2012). Das Potenzial der GC-MS zur Detektion intramolekularer Isotopenmuster hochangereicherter Proben und die daraus entstehende Möglichkeit zur Aufklärung molekularer Transformationen im Boden werden am Beispiel der Lipidanalytik aufgezeigt (Koubaa et al. 2012). Als letzte Messeinheit wird das hochauflösende LC-MS/MS – das Ultra-High-Performance-LC-Quadrupol-Time-of-Flight-Massenspektrometer (UHPLC-Q-ToF) – vorgestellt. Das Analytenspektrum sowie die dafür notwendigen Ionsierungsquellen werden hierbei ebenso betrachtet wie das Potenzial, i) mittels MS/MS die intramolekulare Molekülinformation zu erhöhen und ii) mittels hochauflösender Massenspektrometrie die Summenformel unbekannter Analyten aus der Isotopensignatur zu generieren (Zink u. Mangelsdorf 2004). Es wird an Beispielmessungen diskutiert, inwiefern eine solche hochauflösende Massenspektrometrie es erlaubt, die intramolekulare Isotopie zu erfassen – einer der potenziellen Wege zur Etablierung quantitativer Fluxomics in der Bodenkunde (Ruhl et al. 2012).



**Abb. 1:** GC-MS-Prinzip (links) versus GC-MS/MS-Prinzip (Mitte) und Darstellung der zusätzlichen Fragmentierung, Voraussetzung intramolekularer Isotopenanalytik, die mittels der zusätzlichen Kollisionszelle erreicht werden kann (rechts)

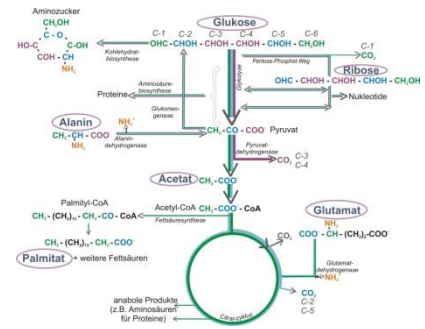
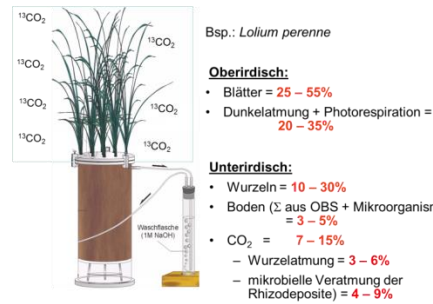


**Abb. 2:** Ultrahochleistungsflüssigchromatograf (links), gekoppelt an ein Quadrupol-Time-of-Flight-Massenspektrometer (Mitte). Rechts ist ein chromatografisch getrennter Peak eines Glyceroldialkyl-Glycerol-Tetraethers (GDGT) der Masse 1022 und des um  $1 \times^{13}\text{C}$  angereicherten Vertreters ( $m/z = 1023$ ) dieses GDGT (rechts).

### Station 3: Kompetenzzentrum Stabile Isotope (KOSI)

Im KOSI werden die vorhandenen analytischen Kopplungen zur Analyse der  $^{13}\text{C}$ -,  $^{15}\text{N}$ -,  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Isotopensignatur in Feststoffen, Flüssigproben und Gasen aufgezeigt. Hierfür existiert ein breites Spektrum an Peripherien wie klassische Elementaranalysatoren (EA für  $^{13}\text{C}$  und  $^{15}\text{N}$ ), Elementaranalysatoren für Micro-Mengen ( $\mu\text{EA}$ , Langel u. Dyckmans 2014), Hochtemperatur-Konversions-Elementaranalysatoren (TC-EA für  $^2\text{H}$  und  $^{18}\text{O}$ ), Aufkonzentrationseinheiten (PreCon für Spurengase), Gaschromatografen und Flüssigchromatografen (Basler u. Dyckmans 2013), welche dann mittels der entsprechenden Interface-Einheiten an Isotopenmassenspektrometer (IRMS) verschiedener Sensitivitäten (Delta-Serie und MAT-Serie) gekoppelt sind. Neben den analytischen Prinzipien der Messung der Isotopenabundanz in Proben

verschiedener Aggregatzustände sollen anschauliche bodenkundliche Beispiele aufzeigen, wie durch diese Methoden neueste Erkenntnisse zu biogeochemischen Stoffkreisläufen gewonnen werden können. Die Differenzierung respirierter C-Quellen durch Partitionierung der  $^{13}\text{CO}_2$ -Isotopensignatur (Pausch u. Kuzyakov 2012) soll ebenso kurz veranschaulicht werden wie die Quantifikation der Wasserkonkurrenz im Wurzelraum mittels Deuterium-Markierung (Meissner et al. 2014, Ahmed et al. in preparation) oder die verbesserte Quantifizierung der N-Ernährung von Pflanzen aus intakter Aminosäureaufnahme (Moran-Zuloaga et al. 2015, Sauheitl et al. 2009). Potenziale komponentenspezifischer Isotopenanalytik sollen am Beispiel der Identifikation des Metabolitrecyclings (Basler et al. 2015) und der exakten Quantifizierung dieses Recyclings in Kombination mit positionsspezifischer Markierung aufgezeigt werden (Dippold u. Kuzyakov 2016).

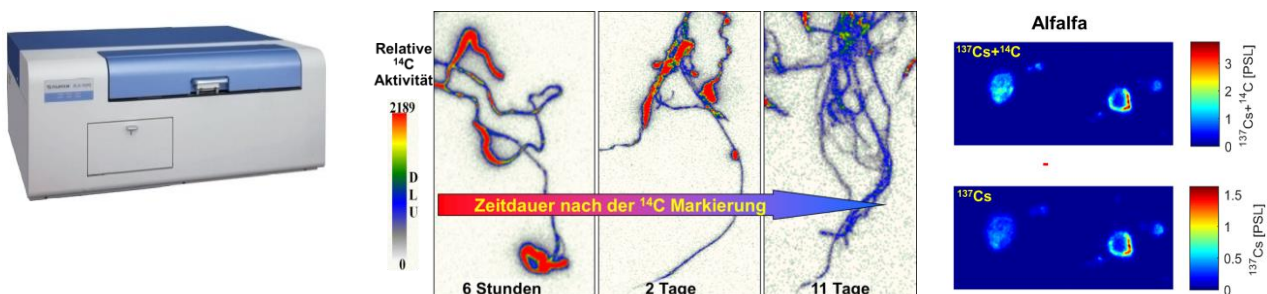


**Abb. 3:** GC-C/TC-IRMS (Bautyp MAT) zur komponentenspezifischen Detektion von <sup>13</sup>C, <sup>15</sup>N, <sup>18</sup>O und <sup>2</sup>H in allen gasförmigen Analyten (links). Mitte: Budgetierung eines <sup>13</sup>CO<sub>2</sub>-Markierungsexperiments mittels Gesamtisotopenanalytik aller gasförmigen, flüssigen und Feststoffpools im System Atmosphäre – Pflanze – Boden. Rechts: Metabole Transformationswege niedermolekularer Substanzen, die durch Kombination von positionsspezifischer Markierung und komponentenspezifischer Messtechnik in Bodenproben rekonstruiert werden können

### Station 4: Labor für Radioisotope (LARI)

Das LARI stellt ein breites Angebot an Arbeitsplätzen zum Umgang mit offenen Radionukliden und Messgeräten zur Aktivitätsbestimmung von α-, β- und γ-Strahlern bereit. Gamma-Detektoren zur Quantifizierung z. B. von <sup>137</sup>Cs bei Erosionsstudien werden ebenso vorgestellt wie Flüssigszintillationszähler zur Bestimmung der Aktivität von α- und β-Strahlern. Letztere werden v. a. in Studien zur Rhizodeposition mit <sup>14</sup>C oder zur Quantifizierung der <sup>33</sup>P-Aufnahme herangezogen, wobei das LARI ebenfalls mehrfach abgeschirmte Messgeräte besitzt, die diese Nuklide auf dem Level natürlicher Abundanzen quantifizieren können. Ein Fokus der Laborführung durch das LARI soll darin liegen, das Potenzial von Radionukliden zur räumlichen Visualisierung biogeochemischer Prozesse mittels

Phosphor-Imaging aufzuzeigen (Pausch u. Kuzyakov 2011). Beispielhaft soll gezeigt werden, wie i) <sup>14</sup>C zur Bestimmung der Rhizosphärenausdehnung herangezogen werden kann (Spohn u. Kuzyakov 2013), ii) <sup>137</sup>Cs mit <sup>14</sup>C kombiniert werden kann, um den Anteil wiederdurchwurzelter Bioporen zu quantifizieren (Banfield et al. submitted), oder iii) verschiedene Phosphor-Spezies unterschiedlicher räumlicher Verteilung durch ein Zusammenspiel von Pflanzen und Mikroorganismen mobilisiert und alloziert werden (Kavka u. Polle 2016, Zilla et al. in preparation). Interessierten Exkursionsteilnehmern kann im Anschluss an die gesamte Laborführung auch eine Pflanzkammer/Klimakammer für kontinuierliche Markierungsversuche vorgeführt werden, welche sich in einem Nachbargebäude befindet.



**Abb. 4:** Phosphor-Imager des LARI (links), welcher die Visualisierung von Exsudation und Abbau <sup>14</sup>C-markierter Rhizodeposite (Mitte) sowie der Markierung von Wurzelporen mit <sup>137</sup>Cs (rechts) erlaubt

## Literatur

- Ahmed MA, Zarebanadkouki M, Kaestner A, Carminati A (2016): Measurements of water uptake of maize roots: the key function of lateral roots. *Plant and Soil* 398: 59–77
- Basler A, Dyckmans J (2013): Compound-specific delta C-13 analysis of monosaccharides from soil extracts by high-performance liquid chromatography/isotope ratio mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 27: 2546–2550
- Basler A, Dippold M, Helfrich M, Dyckmans J (2015): Microbial carbon recycling - an underestimated process controlling soil carbon dynamics - Part 1: A long-term laboratory incubation experiment. *Biogeochemistry* 12, 5929–5940
- Birk JJ, Dippold M, Wiesenberg GLB, Glase, B (2012): Combined quantification of faecal sterols, stanols, stanones and bile acids in soils and terrestrial sediments by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1242: 1–10
- Dippold MA, Kuzyakov Y (2016): Direct incorporation of fatty acids into microbial phospholipids in soils: Position-specific labeling tells the story. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 174: 211–221
- Kavka M, Polle A (2016): Phosphate uptake kinetics and tissue-specific transporter expression profiles in poplar (*Populus X. canescens*) at different phosphorus availabilities. *BMC Plant Biology* 16, Article Nr. 206
- Koubaa M, Mghaieth S, Thomasset B, Roscher A (2012): Gas chromatography-mass spectrometry analysis of C-13 labeling in sugars for metabolic flux analysis. *Analytical Biochemistry* 425: 183–188
- Langel R, Dyckmans J (2014): Combined 13C and 15N isotope analysis on small samples using a near-conventional elemental analyzer/isotope ratio mass spectrometer setup. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 28: 1019–1022
- Meissner M, Kohler M, Schwendenmann L, Holscher D, Dyckmans J (2014): Soil water uptake by trees using water stable isotopes (delta H-2 and delta O-18) -a method test regarding soil moisture, texture and carbonate. *Plant and Soil* 376: 327–335
- Moran-Zuloaga D, Dippold M, Glaser B, Kuzyakov Y (2015): Organic nitrogen uptake by plants: reevaluation by position-specific labeling of amino acids. *Biogeochemistry* 125: 359–374
- Pausch J, Kuzyakov Y (2011): Photoassimilate allocation and dynamics of hotspots in roots visualized by C-14 phosphor imaging. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174 (1): 12–19
- Pausch J, Kuzyakov Y (2012): Soil organic carbon decomposition from recently added and older sources estimated by delta C-13 values of CO2 and organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 55: 40–47
- Razavi BS, Zarebanadkouki M, Blagodatskaya E, Kuzyakov Y (2016): Rhizosphere shape of lentil and maize: Spatial distribution of enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 96: 229–237
- Rethemeyer J, Kramer C, Gleixner G, Wiesenberg GLB, Schwark L, Andersen N, Nadeau MJ, Grootes PM (2004): Complexity of soil organic matter: AMS C-14 analysis of soil lipid fractions and individual compounds. *Radiocarbon* 46: 465–473
- Ruhl M, Rupp B, Noh K, Wiechert W, Sauer U, Zamboni N (2012): Collisional fragmentation of central carbon metabolites in LC-MS/MS increases precision of 13C metabolic flux analysis. *Biotechnology and Bioengineering* 109: 763–771
- Sauheitl L, Glaser B, Weigelt A (2009): Advantages of compound-specific stable isotope measurements over bulk measurements in studies on plant uptake of intact amino acids. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 23: 3333–3342
- Spohn M, Kuzyakov Y (2013): Distribution of microbial and root-derived phosphatase activities in the rhizosphere depending on P availability and C allocation – Coupling soil zymography with C-14 imaging. *Soil Biology and Biochemistry* 67: 106–113
- Zarebanadkouki M, Kim YX, Carminati A (2013): Where do roots take up water? Neutron radiography of water flow into the roots of transpiring plants growing in soil. *New Phytologist* 199 (4):1034–1044
- Zink KG, Mangelsdorf K (2004): Efficient and rapid method for extraction of intact phospholipids from sediments combined with molecular structure elucidation using LC-ESI-MS-MS analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 380: 798–812



# F-02: Von der Uni in die Schule und in die Öffentlichkeit – Wissenstransfer mittels eines App-gestützten bodenkundlichen Lehrpfads

Peter Gernandt

Abt. Agrarpedologie, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen / Campus QPLUS HF 5 – Innovationen, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

---

Böden werden trotz vieler öffentlichkeitswirksamer Aktionen (beispielsweise: „Bodens des Jahres“, „Soil Judging Contest“, „Tag des Geotops“) noch immer nicht in dem ihnen gebührenden Umfang wahrgenommen. Oft liegt dies an der hohen Komplexität der Bodenentwicklung, die theoretisch nicht einfach zu vermitteln ist. Das Thema ist daher auch für viele Studenten, die sich im Grundstudium mit Böden auseinandersetzen müssen, oft eine nicht einfach zu bewältigende Hürde. Ein Grund dafür ist u. a. auch der Tatsache geschuldet, dass die praktische Feldbodenkunde in der Lehre nur noch einen Teil der Studenten und Studentinnen erreicht. Während die Grundlagen als Pflichtveranstaltung in Form von Vorlesungen in Hörsälen noch von vielen Studenten und Studentinnen wahrgenommen werden, nehmen an den häufig wahlfreien Geländemodulen nur noch kleine Gruppen teil. Praktische Geländeerfahrung am gewachsenen Boden, d. h. das angewandte „Begreifen“ des Bodens, ist also nicht mehr der Regelfall, zumal es auch nur sehr schwer realisierbar ist, allen Studentinnen und Studenten die Teilnahme an Geländekursen zu ermöglichen.



Abb. 1: Lehrsituation in Vorlesung und Geländekurs

Gerade Übungen im Gelände am offenen Bodenprofil sind für das Verständnis bodenkundlicher Prozesse aber von großer Bedeutung, da Zusammenhänge zwischen naturräumlicher Ausstattung, Landschaftsaufbau und Böden – inkl. ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften – direkt betrachtet und eingeordnet werden können. Daraus ergibt sich für Lernende ein besseres, vertieftes Verständnis der Thematik. Daher erzielen Studentinnen und Studenten, die ihre Grundlagenprüfungen nach dem Teilnehmen an Geländeveranstaltungen ablegen, i. d. R. bessere Ergebnisse als ihre Kommilitonen ohne Geländeerfahrung. Ziel sollte es daher sein, möglichst viele Studenten und Studentinnen ins Gelände und an die Böden zu bekommen. Im Rahmen von Campus QPLUS – der Beteiligung der Georg-August-Universität (GAU) am Bund-Länder-Programm für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre (Qualitätspakt Lehre) – wird seit 2011 das Projekt „Forschungsorientiertes Lehren und Lernen (FoLL)“ angeboten. B.Sc.-Studierende forschen hier früh, möglichst selbstständig, praxisnah und in einem Team (max. 8 Personen). Der Forschungsprozess wird dabei von einem Mentor und einem Betreuer begleitet. Im Sommersemester 2016 entwickelte ein FoLL-Team einen App-gestützten Bodenlehrpfad. Dieser Lehrpfad soll zum einen den Studenten und Studentinnen, die an Geländekursen teilnehmen bzw. teilgenommen haben, die Gelegenheit geben, gelernte Inhalte im Gelände zu rekapitulieren und zu vertiefen, zum anderen sollen auch weitere Personengruppen angesprochen werden. Hierzu zählen vorrangig Studenten und Studentinnen, die nicht an Geländekursen teilnehmen. Diese bekommen durch den Lehrpfad die Gelegenheit, außerhalb der von ihnen belegten Studienveranstaltungen selbstständig



Böden zu erkunden. Darüber hinaus soll der öffentlich und jederzeit zugängliche Lehrpfad auch durch an die GAU gekoppelten Schülerlabors X-Lab und B-Lab, von Lehrern und Schülern sowie von interessierten Laien genutzt werden kön-

nen. Die Aspekte Nachwuchswerbung, Öffentlichkeitsarbeit und Bodenbewusstseinsbildung und -förderung stehen an vorderster Stelle.

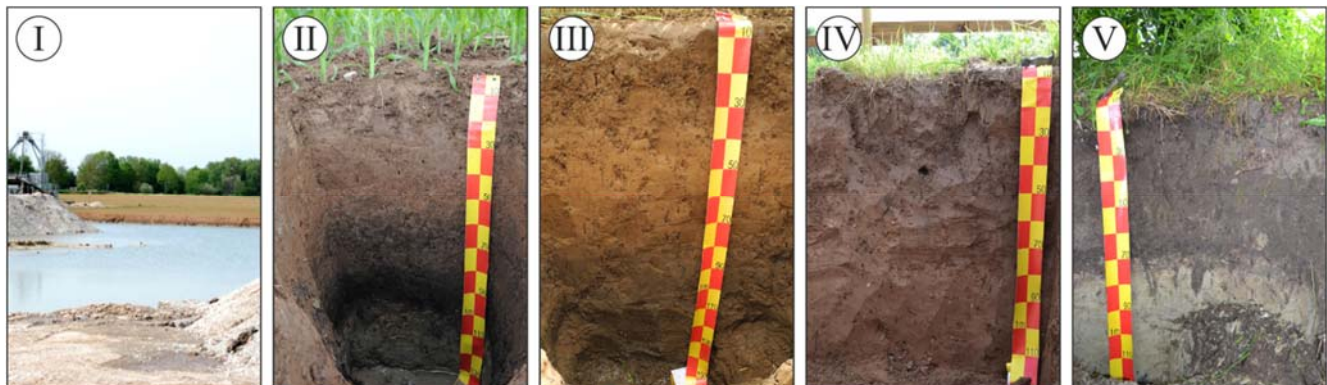


Abb. 2: Böden und Untergrund am Bodenlehrpfad Reinshof, I Niederterrassenschotter, II Vega über relik. Tschernosem-Gley, III Vega, IV Vega, V Tschernosem-Gley

Der Raum um den Reinshof, eines der drei Versuchsgüter der Universität Göttingen, zeichnet sich durch grundwasserbeeinflusste sowie in den Auenbereichen der Flüsse Leine und Garte gelegene Auen-Böden aus. Verbreitete Bodentypen sind Vega, Gley und Tschernosem-Gley. Den Untergrund dieser Böden bilden Schotter der Niederterrassen.

Der hier generierte Lehrpfad unterscheidet sich von anderen Lehrpfaden insoweit, dass hier neben einem dauerhaft offenen und begehbaren Profil nur eine Schautafel aufgestellt ist.

Die Lage (Naherholungsgebiet im Süden der Stadt Göttingen) und die Besitzverhältnisse (landwirtschaftliche Nutzung durch das Versuchsgut der Universität Göttingen) in Kombination mit den hier auftretenden Bodentypen machen diesen Standort für einen Lehrpfad besonders attraktiv.



Abb. 4: Schautafel und QR-Code-Pfosten



Abb. 3: Lage des Lehrpfads (links im Bild sind der südliche Ortsteil Geismar der Stadt Göttingen und der Ort Rosdorf erkennbar)

Sämtliche weiteren Informationen (Bodendaten, Landschaftsgeschichte, Geologie, Nutzungs- und Gefährdungspotenziale ...) können mittels Smartphone oder Tablet über QR-Code abgerufen werden. Dafür sind im Gelände QR-Code-tragende Pfosten aufgestellt. Es ist möglich, Informationen durch das Editieren der auf einem Server liegenden Dateien zu verändern, zu verbessern und zu aktualisieren. Gegenüber einem

konventionellen Lehrpfad bestehen aber noch weitere Vorteile. Die Kosten für den QR-Code gestützten Lehrpfad mit derzeit elf Station be- laufen sich auf etwa 600 Euro. Potenzieller ge- gen den Pfad gerichteter Vandalismus fällt durch die Möglichkeit, einfach QR-Codes aus- zutauschen oder neue Pflöcke aufzustellen, nicht so stark ins Gewicht wie bei einem Schau- tafel-gestützten Lehrpfad.

### Ablauf am Lehrpfad

- Aufsuchen der Schautafel
- Download der App (derzeit nur Android, ab Version 4.2). Hier entste- hen dem Nutzer Kosten bei sei-nem Internetprovider. Die App kann aber auch zuvor über WLAN unter Google play heruntergela- den werden.
- Download der Tour



Abb. 5: Startansicht der aufgerufenen Tour

- Abgehen der Tour und an den Stationen mittels der App die QR-Codes einlesen und Informationen lesen und nutzen.

Neben den sachlichen Informationen sind auch bodenchemische und bodenphysikalische Pa- rameter abrufbar.



Abb. 6: Tour-Inhalt – Horizontaufbau eines Profils



Abb. 7: Zusatzinformatio- nen und Anweisungen

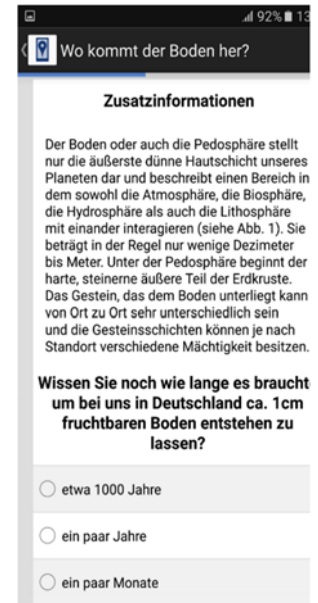


Abb. 8: Fragefunktion

Neben der Informationsfunktion bietet die App auch die Möglichkeit eines integrierten Quiz. Hierdurch können dargebotene Informationen spielerisch noch einmal ins Gedächtnis zurück- gerufen werden.

## Bodenanalysen

### Flöhburg

32 U 563634.22 m E 5705315.22 m N  
Vega über relik. Tschernosem-Gley

Tab. 1: Textur

Tiefe [cm]	Horizont	S [Gew. %]	U [Gew. %]	T [Gew. %]	TD (g/cm <sup>3</sup> )
0 - 35	Ap	3,2	71,7	25,1	1,5
35 - 50	M	3,0	55,3	41,7	1,4
50 - 75	M	2,5	49,9	47,6	1,3
75 - 100	Go	4,9	31,1	63,9	1,1
100 - 105	Go	21,0	44,5	34,5	1,3
105 - 115	Gor	67,3	23,2	9,4	1,6
>150	Gr	-	-	-	-

Tab. 2: pH und C/N-Verhältnis

Tiefe [cm]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	N [Gew. %]	C [Gew. %]	C/N
0 - 35	7,0	0,3	2,9	10,6
35 - 50	7,2	0,2	2,2	12,8
50 - 75	7,0	0,1	1,3	10,6
75 - 100	7,0	0,1	2,1	14,3
100 - 105	7,1	0,1	0,7	9,5
105 - 115	7,4	-	2,0	159,9
>150	-	-	-	-

Tab. 3: Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung I

Tiefe [cm]	pF 3,0 (Vol.-%)	pF 3,3 (Vol.-%)	pF 3,5 (Vol.-%)	pF 3,7 (Vol.-%)	pF 4,2 (Vol.-%)
0 - 35	40,6	39,7	38,4	37,1	28,9
35 - 50	40,4	39,6	38,7	37,2	20,9
50 - 75	42,5	42,0	40,9	39,7	13,4
75 - 100	53,7	52,9	51,9	51,1	20,5
100 - 105	46,2	45,4	44,5	43,0	10,6
105 - 115	24,3	23,3	22,0	20,4	27,7
>150	-	-	-	-	-

Tab. 4: Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung II

Tiefe [cm]	pF 3,0 (Vol.-%)	pF 3,3 (Vol.-%)	pF 3,5 (Vol.-%)	pF 3,7 (Vol.-%)	pF 4,2 (Vol.-%)
0 - 35	40,6	39,7	38,4	37,1	28,9
35 - 50	40,4	39,6	38,7	37,2	20,9
50 - 75	42,5	42,0	40,9	39,7	13,4
75 - 100	53,7	52,9	51,9	51,1	20,5
100 - 105	46,2	45,4	44,5	43,0	10,6
105 - 115	24,3	23,3	22,0	20,4	27,7
>150	-	-	-	-	-

Tab. 5: Elementanalyse

Tiefe [cm]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Na [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]
0 - 35	104	25	251	103	9	85
35 - 50	139	106	243	59	61	80
50 - 75	185	12	361	124	6	76
75 - 100	127	13	256	82	3	52
100 - 105	106	17	971	56	5	391
105 - 115	117	188	527	62	130	109
>150	158	42	608	89	21	179

### Kamp

32 U 564000.15 m E 5705796.76 m N  
Vega

Tab. 6: Textur

Tiefe [cm]	Horizont	S [Gew. %]	U [Gew. %]	T [Gew. %]	TD (g/cm <sup>3</sup> )
0 - 30	Ap	4,2	67,8	28,0	1,5
30 - 50	M	6,5	66,4	27,0	-
50 - 70	M-Go	14,4	66,3	19,3	1,5
70 - 130	M-Go	17,4	52,6	30,1	1,6
130 - 140	M-Gor	67,5	23,7	8,8	-

Tab. 7: pH und C/N-Verhältnis

Tiefe [cm]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	N [Gew. %]	C [Gew. %]	C/N
0 - 30	6,5	0,2	1,8	11,0
30 - 50	6,8	0,1	1,1	10,0
50 - 70	6,8	-	0,5	13,1
70 - 130	6,9	-	0,5	18,3
130 - 140	7,6	-	5,9	355,3

Tab. 8: Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung I

Tiefe [cm]	GPV (Vol.-%)	pF 1,8 (Vol.-%)	pF 2,0 (Vol.-%)	pF 2,3 (Vol.-%)	pF 2,5 (Vol.-%)	pF 2,7 (Vol.-%)
0 - 30	44,3	38,1	37,2	35,8	34,8	33,5
30 - 50	-	-	-	-	-	-
50 - 70	42,5	33,5	32,2	30,3	29,0	27,7
70 - 130	40,8	37,2	36,9	36,3	35,9	34,6
130 - 140	-	-	-	-	-	-

Tab. 9: Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung II

Tiefe [cm]	pF 3,0 (Vol.-%)	pF 3,3 (Vol.-%)	pF 3,5 (Vol.-%)	pF 3,7 (Vol.-%)	pF 4,2 (Vol.-%)
0 - 30	31,3	29,1	25,1	26,1	18,0
30 - 50	-	-	-	-	-
50 - 70	25,6	27,8	21,8	20,8	16,2
70 - 130	34,3	31,6	32,4	31,8	22,5
130 - 140	-	-	-	-	-

## Hengstkamp

32 U 564640.63 m E 5705429.20 m N

Vega

Tab. 10: Textur

Tiefe [cm]	Horizont	S [Gew. %]	U [Gew. %]	T [Gew. %]	TD (g/cm <sup>3</sup> )
0 - 20	Ap	15,1	66,6	18,4	1,3
0 - 45	Ap	19,2	65,8	15,0	1,5
45 - 120	M	21,3	58,7	20,0	1,5
120 - 140	M	24,5	66,3	9,3	1,5
140 - 160	M-Go	50,4	43,6	5,9	-

Tab. 11: pH und C/N-Verhältnis

Tiefe [cm]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	N [Gew. %]	C [Gew. %]	C/N
0 - 20	6,8	0,2	1,9	11,0
0 - 45	7,1	0,1	1,1	12,1
45 - 120	7,2	0,1	0,9	12,4
120 - 140	7,3	-	-	-
140 - 160	7,3	-	-	-

Tab. 12: Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung I

Tiefe [cm]	GPV (Vol.-%)	pF 1,8 (Vol.-%)	pF 2,0 (Vol.-%)	pF 2,3 (Vol.-%)	pF 2,5 (Vol.-%)	pF 2,7 (Vol.-%)
0 - 20	49,9	36,8	36,0	34,5	33,6	32,5
0 - 45	42,2	38,1	37,3	36,1	34,8	33,7
45 - 120	41,8	32,5	31,3	30,0	28,7	27,3
120 - 140	42,6	31,4	30,3	28,7	27,4	26,2
140 - 160	-	-	-	-	-	-

Tab. 13: Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung II

Tiefe [cm]	pF 3,0 (Vol.-%)	pF 3,3 (Vol.-%)	pF 3,5 (Vol.-%)	pF 3,7 (Vol.-%)	pF 4,2 (Vol.-%)
0 - 20	31,5	29,9	28,8	27,7	16,8
0 - 45	32,1	30,1	28,6	26,5	18,9
45 - 120	25,7	24,2	22,8	21,0	16,1
120 - 140	24,5	22,7	21,3	19,7	16,0
140 - 160	-	-	-	-	-

## Unter dem Röderweg

32 U 565721.08 m E 5706100.65 m N

Tschernosem-Gley

Tab. 14: Textur

Tiefe [cm]	Horizont	S [Gew. %]	U [Gew. %]	T [Gew. %]	TD (g/cm <sup>3</sup> )
0 - 25	Axh	19,6	58,1	22,3	1,2
25 - 70	Gro	6,1	73,4	20,5	1,6

Tab. 15: pH und C/N-Verhältnis

Tiefe [cm]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	N [Gew. %]	C [Gew. %]	C/N
0 - 25	7,6	0,1	11,4	89,0
25 - 70	7,8	-	3,5	501,9

Tab. 16: Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung I

Tiefe [cm]	GPV (Vol.-%)	pF 1,8 (Vol.-%)	pF 2,0 (Vol.-%)	pF 2,3 (Vol.-%)	pF 2,5 (Vol.-%)	pF 2,7 (Vol.-%)
0 - 25	56,4	45,3	44,1	42,5	41,2	40,4
25 - 70	39,6	36,8	36,4	35,1	33,5	32,4

Tab. 17: Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung II

Tiefe [cm]	pF 3,0 (Vol.-%)	pF 3,3 (Vol.-%)	pF 3,5 (Vol.-%)	pF 3,7 (Vol.-%)	pF 4,2 (Vol.-%)
0 - 25	39,1	37,6	36,3	34,7	16,1
25 - 70	31,0	29,1	26,9	25,5	12,7

# F-03: Agroforst und Kurzumtriebsplantagen am Standort Reiffenhausen bei Göttingen

Norbert Lamersdorf

Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen, Büsgen-Institut, Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen

---

Der folgende Exkursionsbeitrag beruht auf Auszügen aus den Veröffentlichungen von:

Hartmann L., Richter F., Busch G., Jansen M., Lamersdorf N. 2014. Etablierung von Kurzumtriebsplantagen im Rahmen des Verbundprojektes BEST in Süd-Niedersachsen und Mittel-Thüringen – Standorteigenschaften und anfängliche Erträge. *Forstarchiv* 85,134–150.

Lamersdorf N., Veldkamp E. 2015. N-Bilanzen und Nutzungseffizienzen von Kurzumtriebsplantagen mit Pappel und Weide – Initiale Ergebnisse agroforstlicher Anwendungen und Ausblick auf erweiterte Untersuchungsansätze. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 27, 45–46.

Seit 2015 ist der Standort Reiffenhausen Bestandteil des Verbundvorhabens SIGNAL (Sustainable intensification of agriculture through agroforestry; [www.signal.uni-goettingen.de](http://www.signal.uni-goettingen.de)) in der Fördermaßnahme BonaRes des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). BonaRes steht für „Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie“ und ist eine Fördermaßnahme des Bundes im Rahmen der Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 ([www.bonares.de](http://www.bonares.de)).

## 1. Einleitung

Im Rahmen des vom BMBF zwischen 2010 und 2014 geförderten Verbundprojekts BEST (Bioenergie-Regionen Stärken; [www.best-forschung.de](http://www.best-forschung.de)) wurden Versuchsflächen zur Entwicklung von innovativen Nutzungskonzepten im Bereich der Energieholzerzeugung mittels Kurzumtriebsplantagen (KUP) und Agroforstsystemen (AF) mit Pappeln und Weiden neu angelegt.

Dabei versteht man unter KUP den Anbau von schnellwachsenden Gehölzen wie Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen und vormals primär ackerbaulich genutzten Flächen, die im mehrjährigen Rhythmus und nach Wiederaustrieb durch Stockausschlag geerntet werden. Solange KUP innerhalb von 20 Jahren mindestens einmal geerntet werden, bleibt diese Form der Landnutzung nach derzeitigem Recht eine landwirtschaftliche Flächennutzung (Dauerkultur) und gilt nicht als Aufforstung. Ziel des KUP-Anbaus ist die Erzeugung von Holzbiomasse für die thermische oder stoffliche Verwertung. Dagegen werden Agroforstsysteme definiert als die unmittelbare Kombination von

holzigen Anbauten mit ackerbaulicher oder sonstiger landwirtschaftlicher Nutzung auf derselben Fläche.

Eine spezielle Variante von Agroforst ist der Anbau von KUP in Streifen und im Wechsel mit Ackerkulturen oder Grünland, was auch als „Alley Cropping“ bezeichnet wird. Im Vergleich zum reinen KUP-Anbau bieten AF mit KUP eine Reihe von Möglichkeiten hinsichtlich der Bereitstellung spezifischer Ökosystemdienstleistungen wie z. B. den Schutz vor Wind- oder Wassererosion, die Förderung des Gewässerbegleiterschutzes, die partielle Aufrechterhaltung von Offenlandstrukturen sowie die Förderung der Struktur- und sonstigen Diversität.

Einer der im Rahmen von BEST angelegten Versuchsstandorte zu KUP und AF befindet sich im Landkreis Göttingen, nahe der Ortschaft Reiffenhausen und unmittelbar an der Landesgrenze zu Thüringen. Im Landkreis Göttingen gab es bis zum Start von BEST keinerlei KUP und AF, zudem waren kaum Landwirte bereit, geeignete Schläge für diese Form der Landnut-



zung bereitzustellen. I. d. R. wurden nur Sonderstandorte (ungünstiger Flächenzuschnitt, ehemalige Deponien etc.), besonders ertragschwache oder bodenkundlich sehr heterogen ausgestattete Flächen angeboten. Die Fläche in Reiffenhausen war die einzig akzeptable bezüglich versuchstechnischer Gesichtspunkte (Mindestgröße, Zugang, standörtliche Gegebenheiten) und erschien wegen ihrer unmittelbaren Nachbarschaft zu dem Biotopverbund „Grünes Band“, also dem ehemaligen Grenzstreifen nach Thüringen, als besonders geeignet für die Anlage eines Agroforstsystems in der Kombination mit KUP-Streifen und Grünland. Auf dem ehemaligen Grenzstreifen wurden bereits durch Landschaftspflegemaßnahmen offene Korridore wiederhergestellt, die sich aus land-

schaftsökologischer Sicht optimal in den unmittelbar angrenzenden Grünlandstreifen des neu angelegten Agroforstsystems fortsetzen.

## 2. Die Untersuchungsregion

Der Landkreis Göttingen (Ldk. Gö.) liegt im oberen Leinebergland und nimmt mit einer Fläche von 1.117 km<sup>2</sup> den äußersten Süden Niedersachsens ein. Mit einer Höhenlage zwischen 110 m ü. NN (Weserwiesen bei Bursfelde) und 581 m ü. NN (Haferberg im Kaufunger Wald) hat der Landkreis eine starke vertikale Differenzierung. Die Landschaft um Göttingen ist kleinräumig gegliedert und weist mit ihren zahlreichen Wechseln aus Wald-, Grünland- und Ackerflächen eine relativ hohe Strukturvielfalt auf (Abb. 1).

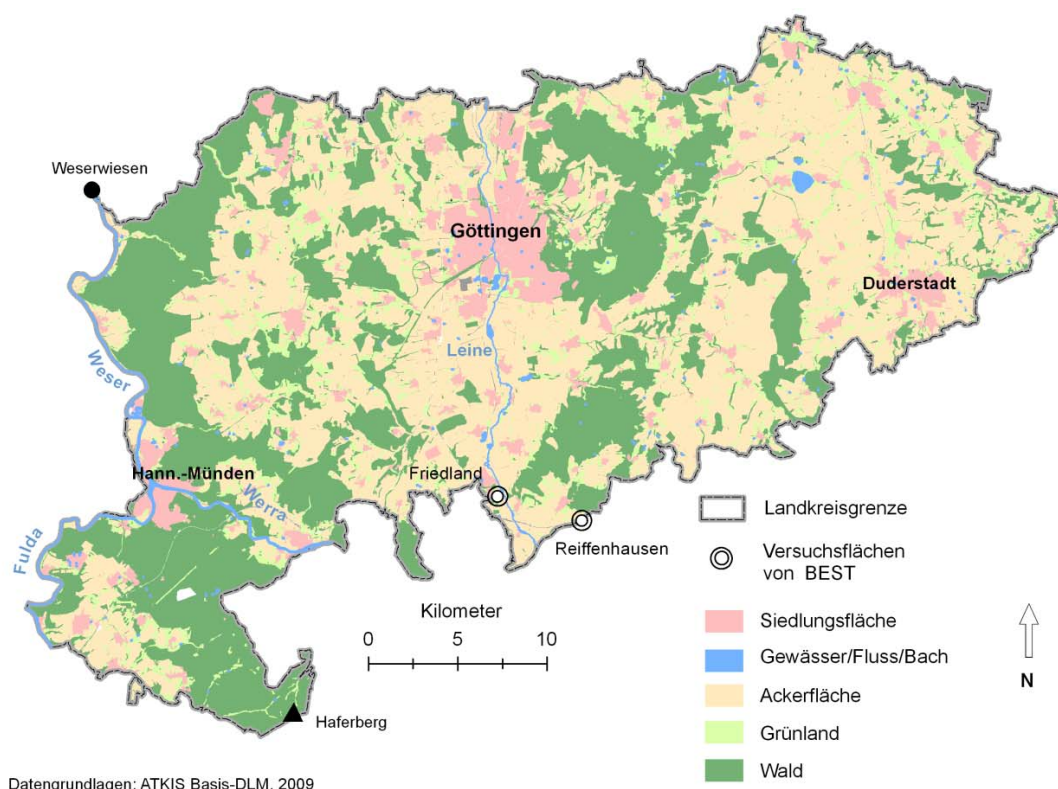


Abb. 1: Räumliche Struktur des Landkreises Göttingen mit Lage der Versuchsfläche Reiffenhausen

### 2.1 Geologie

Geomorphologisch gliedert sich der Ldk. Gö. in den zentralen Leinetalgraben, der östlich von der Eichsfeldscholle und westlich von der Sollingscholle flankiert wird (Arp et al. 2011b, Stille u. Lotze 1933). Im Graben selbst waren die Sedimentgesteine des Keupers und Unteren Juras

vor dem Abtrag geschützt (Arp et al. 2011b, Vollbrecht u. Tanner 2011) und wurden von quartären Lockersedimenten vielfach überprägt. Die östlich und westlich sich anschließende Eichsfeld- bzw. Sollingscholle ist überwiegend aus den triassischen Schichten des Bunt-

sandsteins und Muschelkalks aufgebaut (Vollbrecht u. Tanner 2011), die die für Südniedersachsen typische Bruchschollentektonik aufweisen. Das Gebiet um Göttingen wurde nie von Gletschervorstößen erreicht (Heunisch et al. 2007, Seedorf u. Meyer 1992). Die Versuchsflächen wurden demzufolge periglazial z. B. durch Fließerden und Lössablagerungen geprägt.

Die Versuchsfläche Reiffenhausen liegt am östlichen Ende der Eichsfeldscholle in unmittelbarer Nachbarschaft zum Leinetalgraben (Arp et al. 2011a). Die Störungen der geologischen Schichten sind in diesem Gebiet aufgrund der tertiären Tektonik im Graben und dessen Randzonen stark ausgeprägt. Auf der Fläche finden sich in den nördlichen und nordöstlichen Bereichen Ablagerungen der Solling-Folge des Mittleren Buntsandsteins (smS), die hauptsächlich aus Sandsteinen, aber auch Schluff- und Tonsteinen aufgebaut sind (LBEG Landesamt für Bergbau Energie und Geologie 2012). Im südwestlichen Bereich liegen tonreiche Ablagerungen des Oberen Buntsandsteins (Röt-Formation). Beide Bereiche weisen im Oberboden

eine deutliche Schluffkomponente auf, die auf den Lössseinfluss hinweist.

## 2.2 Klima

Zur genauen Beschreibung der lokalen Witterungsverhältnisse werden auf den Versuchsflächen eigene Messungen durchgeführt (Abb. 2). Um das Klima der Versuchsflächen, die die beiden Untersuchungsregionen repräsentieren, langfristig zu charakterisieren, werden die Tagesdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen (DWD-Stationen Göttingen). Anstelle der üblichen 30-jährigen Monatswerte für Temperatur und Niederschlag wurden die langjährigen Monatswerte über die Messperiode 1991–2010 berechnet. Die Jahresmitteltemperatur der DWD-Station Göttingen beträgt demnach 9,2 °C, die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge liegt bei 642 mm, in der Vegetationsperiode von Mai bis September bei 312 mm (Tab. 1).

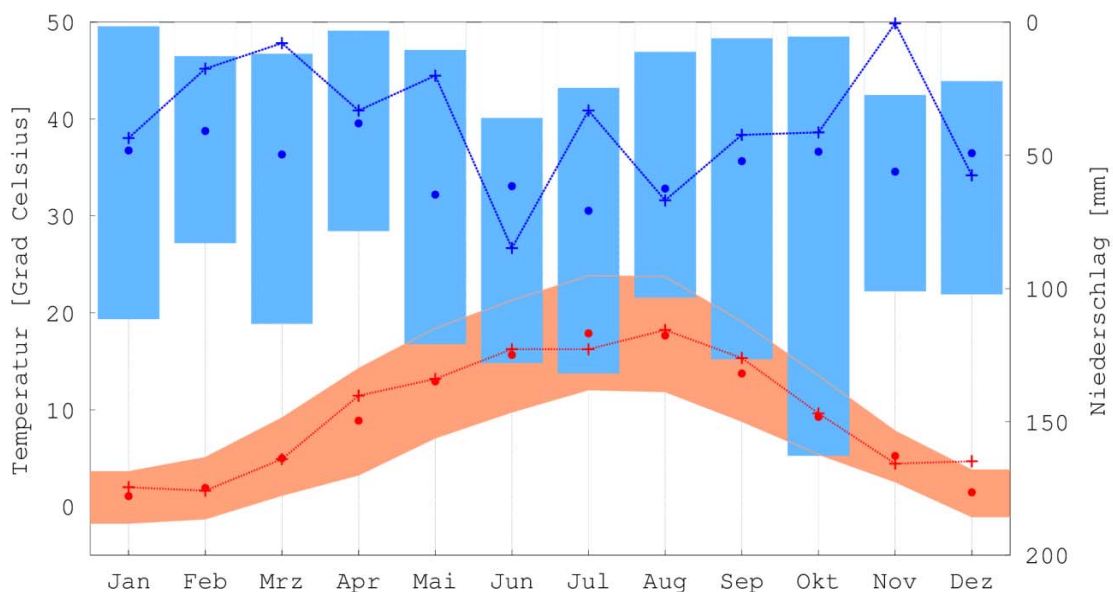


Abb. 2: Monatswerte von Temperatur (unten) und Niederschlag (oben) der DWD-Station Göttingen. Punkte zeigen langjährige Monatswerte (Periode 1991–2010) mit den absoluten Minima und Maxima als Schattierungen. Die Linien mit Kreuzen repräsentieren jeweils Temperatur und Niederschlag für 2011, das Etablierungsjahr der Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme.

Tab. 1: Übersicht zu wichtigen Standortdaten im Landkreis Göttingen (Ldk. Gö.)

	Ldk. Gö.
Siedlungsfläche [%]*	18,6
Waldfläche [%]*	34,1
Landwirtschaftliche Fläche [%]*	54,4
Bevölkerungsdichte [Einwohner km <sup>-2</sup> ] <sup>^</sup>	231
Mittlerer jährlicher Niederschlag (1991–2010) [mm] <sup>†</sup>	642
Mittlerer jährlicher Niederschlag Mai-Sept. (1991–2010) [mm] <sup>†</sup>	312
Temperaturmittelwert (1991–2010) [°C] <sup>†</sup>	9,2

\* AdV Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland 2003

<sup>^</sup> Ldk. Gö. Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen (LSKN) 2011

<sup>†</sup> Klimastation im Ldk. Gö.: Göttingen

### 3. Die Versuchsfläche

Am Standort Reiffenhausen konnte eine ca. 1,7 ha große Versuchsfläche in der Nähe zur Gemeinde etabliert werden. Die Fläche weist eine stark schwankende Ackerzahl von 35–57 auf und ist umgeben von konventionellen Ackerbereichen und dem Biotopverbund „Grünes Band“ (Abb. 3). Sie besteht aus zwei KUP (Pappel 0,4 ha; Weide 0,6 ha) und einem AF (0,7 ha). Angepflanzt wurde im Frühjahr 2011 der Pappelklon „Max 1“ (*P. nigra* x *P. maximo-wiczii*) und der Weidenklon „Tordis“ (*Salix vimi-*

*nalis* x *Salix Schwerinii*) x *Salix viminalis*) verwendet. Für die KUP- und Weiden-Streifen im AF wurde der Doppelreihenverband angewandt. Der Abstand zwischen den Doppelreihen beträgt 1,5 m. Der Baumabstand innerhalb der Reihe variiert in Abhängigkeit der eingesetzten Gehölze. Bei Pappeln beträgt dieser 1 m und bei Weiden 0,75 m. Bei der Pappel ist die Pflanzdichte mit ca. 8.890 Stecklingen pro ha geringer als bei der Weide mit ungefähr 11.850 Stecklingen pro ha (Tab. 2). Im Agroforst ergibt sich eine durchschnittliche Bestockung von 5.330 Weiden pro ha.

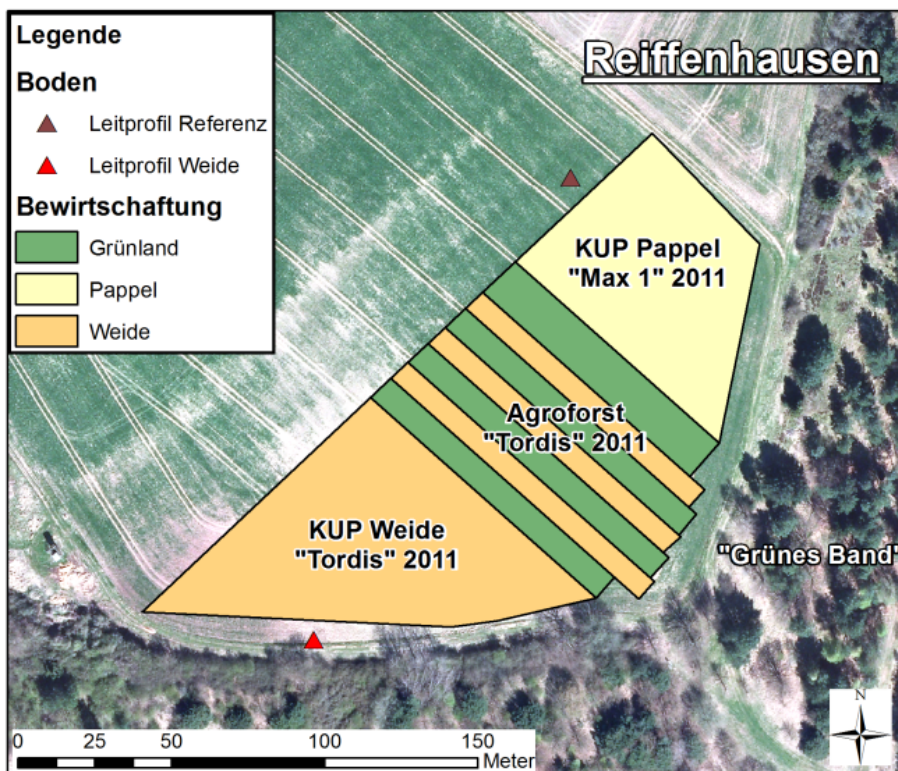


Abb. 3: Flächendesign der Versuchsflächen Reiffenhausen mit Angaben zum Jahr der Bestandsbegründung und der verwendeten Klone. Lage der Leitprofile.

Datengrundlage: Digitales Orthophoto 2010, Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2011 Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (LGLN)

Tab. 2: Übersicht zum Flächendesign der Versuchsfläche in Reiffenhausen

Versuchsfläche	Teilfläche	Anlagejahr	Größe [ha]	Klon	Pflanzverband [m]	Pflanzzahl [ha]	AZ
Reiffenhausen	KUP Pappel	2011	0,4	Max 1	0,75/1,5/1,0	8.890	35-57
	KUP Weide	2011	0,6	Tordis	0,75/1,5/0,75	11.850	35-57
	AF	2011	0,7	Tordis	0,75/1,5/0,75	5.330	35-57

AZ = Ackerzahl

### 3.1 Bodenprofile

#### 3.1.1 Material und Methoden

In Reiffenhausen wurden wegen der räumlichen Heterogenität des geologischen Ausgangsmaterials zwei Bodenprofile aufgedigelt (Abb. 3). Die Bodenansprache erfolgte nach den Vorgaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) und der Forstlichen Standortsaufnahme (Arbeitskreis Standortkartierung 2003) und wurde ergänzt durch tiefenstufenabhängige Laboranalysen (Bodenart Abschnitt 3.3.1 und Carbonatgehalt Abschnitt 3.4.1). Die Entnahme der Bodenproben für die Laboranalyse erfolgte von 0–10 cm, 10–30 cm, 30–60 cm, 60–90 und 90–120 cm in dreifacher Wiederholung. Die Ergebnisse der Laboranalysen wurden dann entsprechend für die Horizonte interpoliert. Die Bodentypen wurden nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) bestimmt.

#### 3.1.2 Ergebnisse Bodenprofile

Das weiter nordöstlich gelegene Profil (Reiffenhausen Referenz RR, Abb. 3) im Bereich der lössüberprägten Solling-Folge des Mittleren Buntsandsteins ist im Oberboden durch typisch sandig-lehmige Bodenarten gekennzeichnet. Im Unterboden zeigt sich ab ca. 1,1 m ein erhöhter Tongehalt als dichtes Tonband, das auch in ge-

ringem Maße stauend wirkt. Überraschenderweise konnten in den Laboranalysen Carbonatgehalte von ca. 0,3–1,1 % nachgewiesen werden (Tab. 3). Es wird vermutet, dass es sich um Dolomit handelt, der deutlich langsamer auf die Zugabe von Salzsäure reagiert und somit bei der Feldanalyse zunächst nicht erkannt wurde. Im Allgemeinen kann der Buntsandstein in geringem Umfang auch Carbonate als Bindemittel aufweisen, insbesondere in den paläogeografisch weiter östlich gelegenen Gebieten (Ziegler 1990).

Das ca. 200 m etwas hangaufwärts in der KUP-Weide gelegene Profil Reiffenhausen Weide (RW) hat sich auf Oberen Buntsandstein (Röt) entwickelt, der ebenfalls Carbonate enthält (Tab. 3). Das Profil zeigte bis oben hin eine Reaktion mit Salzsäure, sowohl im Skelett als auch im Feinboden. Bei den Bohrprofilen des Heidkopftunnels der Autobahn A 38 konnte der dolomitische Obere Buntsandstein (soD) nachgewiesen werden (Arp et al. 2011a, DEGES 2009, Wedell 2013a, 2013b). Gegenüber dem Profil der Sollingfolge sind die Bodenarten hier im oberen Bereich deutlich schluffiger, toniger und in den tieferen Bodenhorizonten lehmiger. Das Profil zeigt bis ca. 35 cm hochreichende hydromorphe Bedingungen und wurde daher als Pseudogley angesprochen (Tab. 3). Eine deutliche Unterscheidung zwischen Sd- und Sw-Horizont war allerdings nicht möglich.



Tab. 3: Profilbeschreibungen und Bodentypen der Leitprofile Reiffenhausen Referenz (RR), Reiffenhausen Weide (RW) nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005)

Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Skelett [Vol.-%]	Humus	Durchwurzelung	Carbonatgehalt† [%]	Geologie <sup>^</sup>
RR: schwach pseudovergleyte Braunerde							
30	Ap	SI4	<1	h3	W4	1,1	I Lol
40	Bv	SI4	<1	h1	W3	0,4	I Lol
60	Sw-Bv	SI4	<1	h1	W2	0,4	I/II Lol/smS
110	Sd-Bv	St2	<1	h0	W1	0,3	II smS
>110	Cv					n.b.	II smS
RW: Pseudogley							
35	Ap	Tu3	<1	h3	W3	0,6	I so/Lol
52	Sdw	Tu3	<1	h1	W2	0,6	I so
107	Swd	Tu3	10	h1	W1	23,6	II so
120	Bv-Cv	Ut2*	30-40	h1	W0	22,8	II so
>120	Cv					n.b.	II so

\* nach Profilsprache im Gelände

† Dolomit in Reiffenhausen Referenz und Reiffenhausen Weide, interpoliert aus den Messwerten von Tabelle 7

<sup>^</sup> Lol: Lösslehm; smS: Mittlerer Buntsandstein (Solling-Folge); so: Oberer Buntsandstein;

n.b.: nicht bestimmt

### 3.3 Bodenphysikalische Untersuchungen

#### 3.3.1 Material und Methoden

Die Entnahme von Bodenmaterial zur Bestimmung der bodenphysikalisch-hydrologischen Parameter erfolgte an den Leitprofilen tiefenstufenabhängig von 0–10 cm, 10–30 cm, 30–60 cm, 60–90 cm und 90–120 cm in dreifacher Wiederholung. Die Bodenproben wurden im Trockenschrank bei 40 °C getrocknet und anschließend auf 2 mm Maschenweite gesiebt. Die Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung erfolgte am getrockneten Mineralboden (<2 mm) durch Siebung und Sedimentation (Gutachterausschuss Forstliche Analytik 2005). Die Bodenart (BA) wurde unter Berücksichtigung der Korngrößengehalte nach Tabelle 30 der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) ermittelt.

Zur Beurteilung des Wasser- und Lufthaushalts wurden die Trockenraumdichte (TRD, g cm<sup>-3</sup>), das Gesamtporenvolumen (GPV, Vol.-%) und das Porenvolumen verschiedener pF-Stufen, die von 1,8 bis 4,2 reichen, analysiert. Die Bestimmung der TRD erfolgte mit der Stechzylinder-Methode (Gutachterausschuss Forstliche

Analytik 2005). Pro Tiefenstufe wurden 4 Stechzylinder von 100 cm<sup>3</sup> entnommen. Das GPV wurde rechnerisch ermittelt über eine angenommene Dichte der porenfreien Festsubstanz von 2,65 g cm<sup>-3</sup> und die zuvor ermittelte Trockenraumdichte (Arbeitskreis Standortkartierung 2003). An denselben Stechzylinderproben wurde mithilfe der Drucktopfmethode der Wassergehalt bei verschiedenen Druckstufen bestimmt, unter anderen für pF 1,8 (Feldkapazität, FK in Vol.-%) und 4,2 (Permanenter Welkepunkt, PWP in Vol.-%) (Pressure Plate Extractor und Pressure Plate Cells der Firma Soilmoisture Equipment Corp.).

Die Luftkapazität (LK, Vol.-%) ergibt sich aus der Differenz zwischen GPV und FK und wurde anhand der Klassen in Tab. 4 bewertet. Die nutzbare Feldkapazität (Vol.-%) wurde aus der Differenz zwischen FK und PWP unter Berücksichtigung des Skelettgehaltes bestimmt (Blume et al. 2011) und anschließend auf den effektiven Wurzelraum bezogen (nFK We). Der effektive Wurzelraum ist – modellhaft – der mit Wasser gefüllte Bodenraum, den ein Baum bis zum permanenten Welkepunkt entwässern kann,



und wird von der effektiven Wurzeltiefe ( $We$ ) bestimmt. Die effektive Wurzeltiefe ist die Tiefe zur Berechnung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums. Unter Berücksichtigung der TRD und der Bodenart konnte die effektive Wurzeltiefe nach den Vorgaben der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005) ermittelt werden. Für Laubgehölze wurde die effektive Wurzeltiefe mit 1,5 multipliziert ( $We_{1,5}$ ).

Die Verwendung der nutzbaren Feldkapazität bezogen auf den effektiven Wurzelraum ermöglicht unter Berücksichtigung der Bewertungsklassen aus Tab. 4 eine Bewertung des Standorts.

Tab. 4: Bewertungsklassen für die Luftkapazität (LK), Trockenraumdichte (TRD) und nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum ( $nFK We$ )

Bewertung	LK* [Vol.-%]	TRD <sup>^</sup> [g cm <sup>-3</sup> ]	$nFK We^{\wedge}$ [mm]
sehr gering	<2	<1,25	30 - <60
gering	2 - <5	1,25 - <1,45	60 - <90
mittel	5 - <13	1,45 - <1,65	90 - <120
hoch	13 - <26	1,65 - <1,85	120 - <180
sehr hoch	≥26	≥1,85	180 - 240

\* nach Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005

<sup>^</sup> nach Arbeitskreis Standortkartierung 2003

### 3.3.2 Ergebnisse Bodenphysik

Für das Leitprofil Reiffenhausen Referenz (RR) wurde eine effektive Wurzeltiefe für Laubgehölze ( $We_{1,5}$ ) von 1,2 m bestimmt (Tab. 5). Unter Berücksichtigung des effektiven Wurzelraums für Laubgehölze stehen den Pflanzen damit 206 mm Bodenwasser ( $nFK We_{1,5}$ ) zur Verfügung, was als sehr hoch zu bewerten ist (Tab. 4). Ferner ergibt sich eine mittlere bis hohe Luftkapazität mit Werten größer als 11 Vol.-% über sämtliche Tiefenstufen verteilt. Eine hohe Luftkapazität lässt auf ein schnelles

Versickern des Niederschlagswassers und eine ausreichende Umsetzung der organischen Substanz schließen (Blume et al. 2011). Für das Leitprofil Reiffenhausen Weide (RW) beträgt die effektive Wurzeltiefe ( $We_{1,5}$ ) 1,6 m, sodass sich eine  $nFK We_{1,5}$  von 196 mm ergibt (Tab. 5). Die sehr geringe Luftkapazität (Tab. 4) von ca. 1 % ab 10 cm Tiefe (Tab. 5) kann die Sauerstoffversorgung der Wurzeln gefährden und unzureichende Umsetzungsprozesse bedingen.

Tab. 5: Mittlere (Standardabweichung) bodenphysikalische Kennwerte (n = 3): Bodenart (BA), Trockenraumdichte (TRD), Gesamtporenvolumen (GPV), Feldkapazität (FK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Luftkapazität (LK), Permanenter Welkepunkt (PWP) der Leitprofile (LP) Reiffenhausen Referenz (RR), Reiffenhausen Weide (RW)

LP	Tiefe [cm]	BA	TRD [g cm <sup>-3</sup> ]	GPV [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	PWP [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	nFK [mm]
RR	0-10	SI4	1,3 (0,1)	50,9 (3,9)	34,5 (2,3)	8,7 (1,2)	16,4 (1,9)	25,5 (3,2)
	10-30	SI4	1,6 (0,1)	39,7 (2,3)	28,5 (1,7)	11,2 (0,3)	11,2 (2,2)	34,3 (3,4)
	30-60	SI4	1,5 (0,0)	42,1 (1,7)	25,4 (1,2)	10,6 (1,0)	16,8 (2,7)	43,8 (0,9)
	60-90	St2	1,5 (0,1)	42,9 (3,3)	25,3 (2,4)	7,1 (0,3)	17,6 (3,2)	54,2 (7,0)
	90-120	St2	1,5 (0,1)	45,1 (2,1)	21,2 (0,5)	5,0 (0,7)	23,9 (1,6)	48,0 (3,5)
	0-80 <sup>^</sup>							140
	0-120 <sup>†</sup>							206
RW	0-10	Tu3	1,4 (0,1)	46,8 (2,9)	38,8 (1,7)	20,8 (0,8)	8,1 (3,7)	17,8 (1,2)
	10-30	Tu3	1,5 (0,0)	42,2 (1,8)	41,5 (0,6)	26,5 (2,8)	0,8 (1,2)	29,6 (6,5)
	30-60	Tu3	1,5 (0,0)	45,2 (1,8)	44,0 (0,7)	30,4 (2,3)	1,2 (1,6)	40,5 (5,3)
	60-90	Tu3	1,7 (0,1)	36,7 (6,1)	36,7 (6,1)	21,8 (3,0)	0,0 (0,0)	40,1 (19,0)
	90-120	Ut2*	1,6 (0,1)	40,7 (1,9)	39,4 (0,7)	23,2 (2,5)	1,3 (1,2)	29,2 (3,7)
	0-110 <sup>^</sup>							148
	0-160 <sup>†</sup>							196

\* nach Profilsprache im Gelände

<sup>^</sup> effektive Wurzeltiefe (We) nach Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005

<sup>†</sup> effektive Wurzeltiefe multipliziert mit 1,5 für Laubgehölze (We<sub>1,5</sub>) nach Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005

LK = GPV - FK

nFK = FK - PWP

### 3.4 Bodenchemische Untersuchungen

#### 3.4.1 Material und Methoden

Zur Untersuchung der Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte wurden die tiefenstufenabhängig gewonnenen Leitprofilbodenproben (siehe Abschnitt 3.3.1) verwendet. Eine Teilmenge dieser Bodenproben, die zuvor fein gemahlen wurden (Fa. Retsch-PM 4000), diente zur Analyse der Gesamtgehalte an Kohlenstoff (C<sub>t</sub>) und Stickstoff (N<sub>t</sub>). Die Gehalte an C<sub>t</sub> und N<sub>t</sub> wurden mittels oxidativer Verbrennung am C-N-Analysator (CHN-O-Rapide, VarioEL, Fa. Elementar) erfasst. Die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (C<sub>org</sub>) erfolgte durch Messung des Kohlenstoffs nach Zerstörung der Carbonate mit Salzsäure. Der Carbonatgehalt (Dolomit, Calcit) wurde aus der Differenz zwischen C<sub>t</sub> und C<sub>org</sub> ermittelt.

Der Gesamtgehalt an Phosphor (P<sub>t</sub>) wurde nach HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluss mittels ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer, Fa. Thermo Fisher) analysiert.

Die Analyse des pH-Wertes erfolgte mit bidestilliertem Wasser mit einem pH-Meter (Gutachterausschuss Forstliche Analytik 2005). Die Bestimmung der potenziellen Kationenaustauschkapazität (KAK<sub>pot</sub>) erfolgte durch Austausch der adsorbierten Kationen mit Bariumchlorid-Lösung bei pH 8,1 (Gutachterausschuss Forstliche Analytik 2005).

Die flächenbezogene Akkumulation an Nährstoffen (t ha<sup>-1</sup>) wurde durch Multiplikation der Bodenmenge, die unter Berücksichtigung der Trockenraumdichte, des Skelett- und Kalkgehaltes ermittelt wurde, mit den Stoffkonzentrationen berechnet und nach den Klassen in Tab. 6 bewertet. Die Bestimmung der Bodenmenge erfolgte für die Tiefenstufen 0–10 cm, 10–30 cm, 30–60 cm, 60–90 cm, 90–120 cm und bis zur effektiven Wurzeltiefe. Die Verwendung der Vorräte bezogen auf den effektiven Wurzelraum ermöglicht unter Berücksichtigung der Bewertungsklassen aus Tab. 6 einen Vergleich der Standorte untereinander.

### 3.4.2 Ergebnisse Bodenchemie

Die geringsten pH-Werte aller untersuchten Proben liegen mit 5,8 im schwach sauren Bereich und wurden im Oberboden (0–10 cm) für das Leitprofil RR nachgewiesen (Tab. 6). Im Leitprofil RW liegen neutrale Bodenreaktionen vor. Die Profile befinden sich damit annähernd im optimalen Bereich (pH-Wert: 6,0–7,5) für Pappeln und Weiden (Röhricht u. Ruscher 2009) und lassen demzufolge gute Bedingungen für das Pflanzenwachstum erwarten.

Grundsätzlich steigen die pH-Werte mit zunehmender Bodentiefe. Mit pH-Werten > 6,2 liegt das Profil RW im Carbonatpufferbereich. In RR wird aufgrund der geringen und ungleichmäßigen Verteilung der Carbonate auch der Silikatpuffer (6,2 > pH-Wert > 5,0) wirksam (Arbeitskreis Standortkartierung 2003). Beide Leitprofile weisen mit zunehmender Tiefe eine Abnahme der  $C_{org}$ -Gehalte auf, die Vorräte an  $C_{org}$  im effektiven Wurzelraum sind relativ gering.

Tab. 6: Mittlere (Standardabweichung) bodenchemische Kennwerte (n = 3): pH-Wert; Gesamtgehalt und Vorrat an  $C_{org}$ ,  $N_t$ , Gehalt an  $CaMg(CO_3)_2$  und  $CaCO_3$  sowie  $C_{org}/N_t$ -Verhältnis der Leitprofile (LP) Reiffenhausen Referenz (RR), Reiffenhausen Weide (RW)

LP	Tiefe [cm]	pH [H <sub>2</sub> O]	$C_{org}$ [mg g <sup>-1</sup> ]	$C_{org}$ [t ha <sup>-1</sup> ]	$CaMg(CO_3)_2^*$ , $CaCO_3$ [%]	$N_t$ [mg g <sup>-1</sup> ]	$N_t$ [t ha <sup>-1</sup> ]	$C_{org}/N_t$
RR	0-10	5,8 (0,2)	10,9 (0,3)	13,8 (0,4)	1,2 (0,6)	1,2 (0,0)	1,5 (0,1)	9,0 (0,5)
	10-30	6,0 (0,2)	8,6 (1,5)	26,9 (4,7)	1,0 (0,4)	1,0 (0,2)	3,2 (0,6)	8,4 (1,0)
	30-60	6,5 (0,1)	2,9 (0,7)	12,9 (3,3)	0,4 (0,2)	0,4 (0,1)	1,8 (0,4)	7,1 (0,3)
	60-90	6,7 (0,1)	1,2 (0,1)	5,3 (0,6)	0,4 (0,1)	0,2 (0,1)	0,8 (0,2)	6,8 (2,4)
	90-120	6,7 (0,0)	0,9 (0,3)	4,2 (1,4)	0,2 (0,0)	0,1 (0,1)	0,6 (0,2)	6,8 (0,7)
	0-80 <sup>^</sup>			57,1			7,0	
RW	0-10	7,1 (0,3)	13,0 (0,3)	17,8 (0,5)	1,4 (0,4)	1,5 (0,1)	2,0 (0,1)	8,7 (0,6)
	10-30	7,1 (0,2)	6,2 (1,2)	18,5 (3,5)	0,2 (0,1)	0,7 (0,1)	2,2 (0,2)	8,4 (1,0)
	30-60	7,3 (0,1)	3,3 (0,2)	14,6 (0,8)	0,6 (0,1)	0,6 (0,0)	2,8 (0,1)	5,2 (0,4)
	60-90	7,9 (0,0)	1,3 (0,2)	4,0 (0,7)	30,1 (5,3)	0,4 (0,1)	1,1 (0,2)	3,6 (0,1)
	90-120	8,2 (0,2)	1,4 (0,2)	3,1 (0,4)	22,8 (2,9)	0,4 (0,0)	0,8 (0,1)	3,9 (0,8)
	0-110 <sup>^</sup>			57,0			8,6	

\*  $CaMg(CO_3)_2$  in Reiffenhausen Referenz und Reiffenhausen Weide

<sup>^</sup> effektive Wurzeltiefe (We) nach Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005

Die Gesamtgehalte an Stickstoff ( $N_t$ ) liegen im Ap-Horizont am Standort Reiffenhausen zwischen 0,7 und 1,5 mg g<sup>-1</sup>, die  $N_t$ -Vorräte zwischen 4,2 bis 4,7 t ha<sup>-1</sup>. Bezogen auf die effektive Wurzeltiefe, sind die Stickstoffvorräte an diesem Standort einer mittleren Klasse zuzuordnen. Die  $C_{org}/N_t$ -Verhältnisse im Ap-Horizont liegen zwischen 8,4 und 9,0 (Tab. 6) und sind demzufolge sehr eng ausgeprägt (Arbeitskreis Standortkartierung 2003). Dies deutet auf günstige Umsatzbedingungen hin, unter denen es

zum Abbau und zur Umsetzung der organischen Substanz kommt. Die Kationenaustauschkapazität ( $KAK_{pot}$ ) der untersuchten Leitprofile am Standort Reiffenhausen reicht von 53 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> im Unterboden bis 190 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> im Oberboden und ist insgesamt im mittleren Bereich einzustufen (Tab. 7). Deutlich höhere Tongehalte im Profil RW führen zu relativ erhöhten Werten der  $KAK_{pot}$ .

Tab. 7: Mittlere (Standardabweichung) bodenchemische Kennwerte (n = 3): Potenzielle Kationenaustauschkapazität (KAK<sub>pot</sub>), Basensättigung (BS) und Kationensättigung sowie Vorrat an Natrium (Na), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Gesamtphosphor (P<sub>t</sub>) der Leitprofile (LP) Reiffenhausen Referenz (RR), Reiffenhausen Weide (RW)

LP	Tiefe [cm]	KAK <sub>pot</sub> [mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ]	BS [%]	Sättigung % von KAK <sub>pot</sub>				Na [t ha <sup>-1</sup> ]	K [t ha <sup>-1</sup> ]	Ca [t ha <sup>-1</sup> ]	Mg [t ha <sup>-1</sup> ]	P <sub>t</sub> [t ha <sup>-1</sup> ]
				Na	K	Ca	Mg					
RR	0-10	105,5 (0,8)	77,1 (19,9)	0,3 (0,3)	7,0 (2,9)	51,3 (3,0)	18,4 (19,6)	0,0 (0,0)	0,4 (0,2)	2,8 (0,2)	0,6 (0,6)	0,8 (0,0)
	10-30	99,6 (1,2)	68,7 (1,2)	0,3 (0,4)	7,4 (0,2)	53,4 (0,8)	7,6 (0,3)	0,0 (0,0)	0,9 (0,0)	6,7 (0,1)	0,6 (0,0)	1,8 (0,0)
	30-60	86,0 (9,6)	79,5 (16,0)	0,0 (0,0)	7,2 (0,9)	64,4 (14,5)	7,9 (1,1)	0,0 (0,0)	1,1 (0,2)	9,7 (1,2)	0,7 (0,1)	1,3 (0,3)
	60-90	60,3 (5,2)	88,4 (10,3)	0,0 (0,0)	8,4 (0,7)	72,9 (7,5)	7,0 (2,3)	0,0 (0,0)	0,9 (0,1)	7,9 (1,5)	0,5 (0,2)	1,1 (0,1)
	90-120	53,0 (10,8)	78,1 (24,7)	0,0 (0,0)	5,6 (3,7)	66,1 (20,8)	6,5 (0,6)	0,0 (0,0)	0,5 (0,2)	6,0 (1,2)	0,4 (0,1)	1,0 (0,4)
	0-80 <sup>^</sup>							0,0	3,0	24,5	2,2	4,6
RW	0-10	190,0 (10,9)	72,2 (41,2)	0,0 (0,0)	3,5 (1,8)	57,4 (31,3)	11,2 (8,2)	0,0 (0,0)	0,4 (0,2)	6,1 (3,4)	0,7 (0,5)	0,8 (0,0)
	10-30	193,7 (12,7)	94,1 (8,8)	0,1 (0,1)	3,2 (1,0)	71,9 (7,0)	18,9 (1,3)	0,0 (0,0)	0,7 (0,2)	16,5 (0,7)	2,6 (0,1)	1,0 (0,1)
	30-60	230,4 (5,2)	93,2 (11,8)	0,2 (0,1)	1,7 (0,5)	65,6 (5,2)	25,6 (7,2)	0,0 (0,0)	0,7 (0,2)	26,8 (1,7)	6,3 (1,7)	2,2 (0,1)
	60-90	150,6 (11,6)	100,0 (0,0)	0,9 (1,3)	1,7 (0,3)	64,5 (6,6)	32,8 (5,1)	0,1 (0,1)	0,2 (0,1)	8,1 (0,3)	2,5 (0,6)	1,5 (0,0)
	90-120	163,1 (6,9)	94,0 (10,4)	0,1 (0,0)	1,4 (0,3)	67,8 (9,0)	24,6 (1,3)	0,0 (0,0)	0,2 (0,0)	11,9 (1,3)	2,6 (0,1)	1,1 (0,0)
	0-110 <sup>^</sup>							0,1	2,1	65,4	13,8	6,2

<sup>^</sup> effektive Wurzeltiefe (We) nach Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005

Hinsichtlich der Austauscherbelegung dominiert Ca, gefolgt von Mg, K und Na. Am Beprobungspunkt RW kommt es durch die Verwitterung des Minerals Dolomit (Oberer Buntsandstein) zur höheren Verfügbarkeit von Mg. Bezogen auf den effektiven Wurzelraum, verfügen alle Versuchsflächen über sehr hohe Magnesium- (>2 t ha<sup>-1</sup>), sehr hohe Calcium- (>8 t ha<sup>-1</sup>) und sehr hohe Kalium-Vorräte (>1,6 t ha<sup>-1</sup>). Die Phosphorvorräte sind mit >3 t ha<sup>-1</sup> als hoch zu bewerten. Im effektiven Wurzelraum ist die Nährstoffausstattung am Standort Reiffenhausen damit als gut bis sehr gut anzusprechen. Dies ist sowohl in der landwirtschaftlichen Vornutzung als auch in dem geologischen Ausgangsmaterial der Bodenentwicklung begründet.

### 3.4.3 Initiale N-Bilanzen und Nutzungseffizienzen

Zur Untersuchung des initialen N-Kreislaufs wurden verschiedene N-Flüsse und N-Vorräte bestimmt, eine erste N-Bilanz wurde aufgestellt, und die N-Nutzungseffizienzen wurden ermittelt. Als Eintragsgrößen (Input) gingen die

Netto-N-Mineralisation sowie die atmosphärische N-Deposition in die Bilanzen ein. Als Austragsgrößen (Output) wurden die Nitratausträge mit dem Sickerwasser, die Verluste über die Emission von Lachgas (N<sub>2</sub>O) sowie der mögliche Export von N über die Ernte der ober-irdischen holzigen Biomasse berücksichtigt.

Die mittleren Raten der Netto-N-Mineralisation unterscheiden sich jeweils nicht signifikant zwischen den Flächen (p>0,05; Tab. 8), zeigen jedoch unter Weide eine Tendenz zu höheren Werten und höheren zeitlichen Streuungen, mit deutlich ansteigenden Raten ab Mitte bis Ende der Vegetationszeit (nicht abgebildet). Der mittlere N-Input aus der atmosphärischen Deposition betrug im Untersuchungszeitraum 11 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>. Insgesamt ergibt sich somit ein Input von ca. 30–40 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>, mit der Tendenz zu höheren Raten unter Weide. Der potenzielle N-Entzug mit der Ernte der holzigen Biomasse fällt am größten bei der KUP-Pappel aus, verursacht durch höhere Nährstoffgehalte und Biomasseerträge im Vergleich zur Weide. Bedingt durch hohe anfängliche Nitratkonzentrationen unter KUP-Weide (max. 33 ± 8,7 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>) errechnen sich hier relativ hohe mittlere

Austragsraten von Nitrat im Untersuchungszeitraum (ca. 30 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>). Auch unter Weide-AF zeigen sich im Vergleich zur KUP-Pappel erhöhte Nitrat austräge. Die Lachgasemissionen wurden nach Messungen von Walter et al. (2012) für alle Flächen mit maximal 2 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> veranschlagt. Insgesamt ergaben

sich am Untersuchungsstandort mit +9,3 bis +22,5 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> ausschließlich positive N-Bilanzen. Dies bedeutet, dass trotz gewisser N-Austräge mit dem Sickerwasser, als Lachgas und über den Export von Holziger Biomasse über die Erntemaßnahmen Stickstoff im System zurückgehalten wird.

Tab. 8: Mittlere ( $\pm$ STD) N-Flüsse, N-Bilanzen und N-Effizienzen am Standort Reiffenhausen, Landkreis Göttingen, mit KUP-Pappel, KUP-Weide und KUP-Weide als Alley-Cropping-System mit Grünland (Weide-AF) (nach Hartmann u. Lamersdorf 2015)

N-Flüsse, N-Bilanzen [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ] und N-Effizienzen [kg/kg]	KUP-Pappel	KUP-Weide	Weide-AF
N-Input (Netto-N-Mineralisation) <sup>1</sup>	18,6 (13,3)	28,1 (25,5)	23,9 (21,4)
N-Input (atmosphärische Deposition) <sup>2</sup>	11,0 (0,4)	11,0 (0,4)	11,0 (0,4)
$\Sigma$ Input	29,6	39,1	34,9
N-Output (Aufnahme Stammholz mit Rinde) <sup>3</sup>	7,4 (0,9)	5,5 (0,9)	6,0 (0,7)
N-Output (NO <sub>3</sub> -Austrag) <sup>4</sup>	2,5	22,3	4,4
N-Output (N <sub>2</sub> O-Emissionen) <sup>5</sup>	$\leq 2$	$\leq 2$	$\leq 2$
$\Sigma$ Output	11,9	29,8	12,4
N-Bilanz (Input – Output)	17,7	9,3	22,5
N-Aufnahmeeffizienz (N-Aufnahme / $\Sigma$ Input)	0,25	0,14	0,17
N-Nutzungseffizienz (TM Holz / N-Aufnahme)	135	198	155

<sup>1</sup> „Buried-Bag“-Methode, Mittel aus 8 Beprobungsterminen, März–Okt. 2012, 0–30 cm, n = 4/Monat/Fläche.

<sup>2</sup> Totalisatoren, 2-wöchige Beprobung, Nov. 2011–Okt. 2012, n = 4/Fläche.

<sup>3</sup> Zur Bestimmung der Holzbiomassen (TM = Trockenmassen) siehe Hartmann et al. (2014); N wurde als Gesamt-N in Holzproben inkl. Rinde gemessen, n = 15/Fläche.

<sup>4</sup> NO<sub>3</sub>-Messungen: monatliche Mittel, Dez. 2011–Nov. 2012, n = 4 keramische Saugkerzen/Fläche, 60 cm Bodentiefe; die nur für die KUP-Pappel modellierten Wasserflüsse (siehe dazu auch Bredemeier et al. 2015) wurden auch für die Weidenflächen verwendet.

<sup>5</sup> Die eingesetzten Raten der N<sub>2</sub>O-Emissionen wurden nur auf der KUP-Pappel gemessen (Okt. 2011–Okt. 2013, siehe Walter et al. 2012).

Dabei deuten die Berechnungen zur N-Effizienz auf eine gesteigerte N-Aufnahmeeffizienz unter Pappel, jedoch eine erhöhte N-Nutzungseffizienz unter Weide. Im Fall geringer bodenbürtiger N-Vorräte sollte im Hinblick auf die N-Nutzungseffizienz daher die Weide (hier, Klon „Tordis“) bevorzugt angebaut werden. Der Anbau der

Pappel (hier Klon „Max 1“) kann dann empfohlen werden, wenn es gilt, einen vorhandenen Überschuss an Stickstoff aus z. B. ehemaliger intensiver Düngung oder sonstigen Einträgen (z. B. atmosphärische Deposition) abzubauen.



## Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover
- AdV Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2003): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem - ATKIS - Objektartenkatalog Basis DLM. München
- Arbeitskreis Standortkartierung (2003): Forstliche Standortaufnahme. München
- Arp G, Tanner D, Leiss B (2011a): Struktur der Leinetalgraben-Randstörung bei Reiffenhausen (Autobahn 38 Heidkopftunnel-Westportal). In: Leiss B, Tanner D, Vollbrecht A, Arp G (Hrsg.) Neue Untersuchungen zur Geologie der Leinetalgrabenstruktur. Bausteine zur Erkundung des geothermischen Potenzials der Region Göttingen. Göttingen: 17–21
- Arp G, Vollbrecht A, Tanner D, Leiss B (2011b): Zur Geologie des Leinetalgrabens - ein kurzer Überblick. In: Leiss B, Tanner D, Vollbrecht A, Arp G (Hrsg.) Neue Untersuchungen zur Geologie der Leinetalgrabenstruktur. Bausteine zur Erkundung des geothermischen Potenzials der Region Göttingen. Göttingen: 1–7
- Blume H-P, Stahr K, Leinweber P (2011): Bodenkundliches Praktikum: Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler. Heidelberg
- DEGES (2009): Bundesautobahn A 38 Göttingen-Halle (A 143 Westumfahrung Halle). <http://www.deges.de/Ueber-DEGES/Weitere-Publikationen/DEGES-Publikationen-K113.htm> (aufgerufen am 13.11.2013)
- Gutachterausschuss Forstliche Analytik (2005): Handbuch Forstliche Analytik. Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. [http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Wald-Jagd/Bodenzustandserhebung/Handbuch/HandbuchForstanalytikKomplett.pdf;jsessionid=D7253ACE02DC916AD297982F16E9AF5A.2\\_cid376?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Wald-Jagd/Bodenzustandserhebung/Handbuch/HandbuchForstanalytikKomplett.pdf;jsessionid=D7253ACE02DC916AD297982F16E9AF5A.2_cid376?__blob=publicationFile) (aufgerufen am 1.7.2013)
- Hartmann L, Lamersdorf N (2015): Site Conditions, Initial Growth and Nutrient and Litter Cycling of Newly Installed Short Rotation Coppice and Agroforestry Systems, in Bioenergy from Dendromass for the Sustainable Development of Rural Areas (eds DB Manning, A Bemann, M Bredemeier, N Lamersdorf, C Ammer) Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany: 121–138
- Heunisch C, Caspers G, Elbracht J, Langer A, Röhling H-G, Schwarz C, Streif H (2007): Erdgeschichte von Niedersachsen. Geologie und Landschaftsentwicklung. [http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation\\_id=582&article\\_id=822&\\_psmand=4](http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=582&article_id=822&_psmand=4). (aufgerufen am 15.11.2013)
- Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen (LSKN) (2011): Bevölkerung der Gemeinden am 30. Juni 2011. [http://www.lskn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation\\_id=25688&article\\_id=87679&\\_psmand=40](http://www.lskn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=25688&article_id=87679&_psmand=40). Aufgerufen am 15.11.2013
- LBEG Landesamt für Bergbau Energie und Geologie (2012) NIBIS® - Kartenserver. <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=BGL500#> (aufgerufen am 13.9.2012)
- Röhrich C, Ruscher K (2009): Anbauempfehlungen Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13410> (aufgerufen am 13.11.2013)
- Seedorf HH, Meyer H-H (1992): Landeskunde Niedersachsen Natur- und Kulturgeschichte eines Bundeslandes. Band 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung. Neumünster
- Stille H, Lotze F (1933): Geologische Übersichtskarte der Umgebung von Göttingen 1:100.000 mit Erläuterungsheft. Göttingen, Berlin
- Vollbrecht A, Tanner D (2011): Der Leinetalgraben als Teil einer regionalen Pull-Apart-Struktur. In: Leiss B, Tanner D, Vollbrecht A, Arp G (Hrsg.) Neue Untersuchungen zur Geologie der Leinetalgrabenstruktur. Bausteine zur Erkundung des geothermischen Potenzials der Region Göttingen. Göttingen: 9–15
- Walter K, Don A, Flessa H (2012). Greenhouse gas fluxes during growth of different bioenergy crops. European Geosciences Union, General Assembly, Wien, 22.-27. April 2012
- Wedell I (2013a): Geotechnischer Längsschnitt. RE-Vorentwurf. A 38 Göttingen - Halle (A 9), Verkehrseinheit Uder. Lgr. NI/TH - w AS Heiligenstadt. e-Mail Göttingen
- Wedell I (2013b): Lageplan. RE-Vorentwurf. A 38 Göttingen - Halle (A 9), Verkehrseinheit Uder. Lgr. NI/TH - w AS Heiligenstadt. e-Mail Göttingen
- Ziegler PA (1990): Geological atlas of Western and Central Europe. The Hague

## Weiterführende Literatur zum Standort Reiffenhausen

- Bredemeier M, Busch G, Hartmann L, Jansen M, Richter F, Lamersdorf NP (2015): Fast Growing Plantations for Wood Production - Integration of Ecological Effects and Economic Perspectives Front Bioeng Biotechnol 3: 72
- Ehret M, Graß R, Wachendorf M (2013a): Ertragsentwicklung in der Etablierung eines Agroforstsystems aus Grünland und Weiden im Kurzumtrieb. In: FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hrsg.) Gülzower Fachgespräche Agrarholz – Kongress 2013 19./20. Februar 2013, Berlin: 369–376

Ehret M, Hartmann L, Graß R, Lamersdorf N, Wachendorf M (2013b): Ertragsentwicklung während der Etablierung eines Agroforstsystems aus Grünland und Weiden zur Erzeugung biogener Festbrennstoffe. In: Pekrun C, Wachendorf M, Francke-Weltmann L (Hrsg.) Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. mit der Technischen Universität München, der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft und dem Technologie- und Förderzentrum Straubing 04. bis 06. September 2013. Göttingen: 184–185

Hartmann L, Ehret M, Richter F, Leitch C, Lamersdorf N (2013): Ertragsschätzung von schnellwachsenden Gehölzen in Kurzumtriebs- und Agroforstsystemen während der Etablierungsphase im Rahmen des Verbundprojektes BEST. In: Pekrun C, Wachendorf M, Francke-Weltmann L (Hrsg.) Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. mit der Technischen Universität München, der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft und dem Technologie- und Förderzentrum Straubing 04. bis 06. September 2013. Göttingen: 273–274



**DBG Mitteilungen Band 118 – 2017 – Exkursionsführer Göttingen**

**ISSN – 0343-1071**