



Jahrestagung  
der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft  
5.-13. September 2009  
Bonn

**Böden – eine endliche Ressource**



**Exkursionsführer**

## **Tagungsveranstalter**

- Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft
- Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre (ICG-4 Agrosphäre)
- Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES), Bereich Bodenwissenschaften

## **Die Tagungsveranstalter danken den Institutionen, deren Mitarbeiter sich an der Vorbereitung des Exkursionsprogramms beteiligt haben:**

- Biologische Station im Kreis Aachen, Aachen
- Büro für Bodenschutzplanung D.A. Hiller, Hofstetten
- Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz (DLR-Mosel), Weinbau und Oenologie, Mayen
- Dombauhütte Köln
- Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Unité de Géopédologie
- Faculté Universitaire Notre-Dame de la Paix, Namur, Département de Géologie
- Finanzverwaltung NRW, Finanzamt Leverkusen
- Forschungszentrum Jülich, Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre 4 (Agrosphäre)
- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld
- Katholieke Universiteit Leuven, Department of Earth and Environmental Sciences
- Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, Mainz
- Landschaftsverband Rheinland, LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland, Bonn
- Landwirtschaftskammer NRW, Bonn/Münster
- Pédologie Forestière (IRSIA), Gembloux
- RheinEnergie AG, Köln
- RWE Power AG Köln, Rekultivierung Land- und Forstwirtschaft, Erftstadt
- RWTH Aachen, Geographisches Institut
- Stadt Mülheim an der Ruhr, Referat VI - Umwelt, Planen und Bauen
- Umweltberatung Botschek, Bonn
- Universität Bonn, Geographisches Institut
- Universität Bonn, INRES-Bodenwissenschaften
- Universität Bonn, INRES-Ökologie der Kulturlandschaft
- Universität Bonn, Institut für Organischen Landbau
- Universität Duisburg – Essen, Professur Angewandte Bodenkunde
- Universität Köln, Institut für Ur- und Frühgeschichte (Archäobotanik)
- Université de Liège, Département de Géographie
- Universiteit Gent, Laboratory of Soil Science

## Inhaltsverzeichnis

### Allgemeiner Teil

Tagungsort und Exkursionsraum (A. Skowronek, S. Wagner) .....	3
Geologischer Rahmen, Geomorphogenese und Ausgangssubstrate (A. Skowronek) .....	5
Böden und Bodengesellschaften in Nordrhein-Westfalen (A. Skowronek) .....	12
Klima und Vegetation in Nordrhein-Westfalen (S. Wagner).....	22
Zum Bodenschutz in Nordrhein-Westfalen (A. Skowronek, S. Wagner).....	27
Bodenverhältnisse der Bundesstadt Bonn (M. Scholz, A. Skowronek) .....	36

### Exkursionsbeschreibungen

#### Zweitagesexkursion

Z1: Understanding soil diversity and ecosystem evolution (F. Barbier, L. Bock, J. Chapelle, J. Deckers, M. Etienne, P. Engels, V. Hallet, E. Juvigné, M. Laloux, R. Langohr, X. Legrain, J. Poesen, S. Rekk, M. Streel, F. Weissen, C. Willam, J. Yans) .....	45
--	----

#### Ganztagesexkursionen

G1: Rekultivierung landwirtschaftlicher Flächen im rheinischen Braunkohlenrevier im Wandel der Zeit (G. Dumbeck).....	66
G2: Bodenkundliche Untersuchungen für Biotopmanagement und Grundlagenforschung im Nationalpark Eifel (F. Richter, T. Pütz).....	78
G3: Nicht-invasive Messverfahren in der bodenkundlichen Forschung (J. v. d. Kruk, J.A. Huisman, S. Lambot, A. Pohlmeier) .....	87
G4: Bodenkartierung im Hohen Venn – Planungsgrundlagen zum Schutz und zur Reaktivierung von Mooren (M. Aletsee, F. Richter, G. Milbert) .....	96
G5: Böden und Bodenerosion im Pleiser Hügelland und in der Siegburger Bucht (A. Skowronek, S. Wagner).....	109
G6: Stadt- und Bergbauböden im Ruhrgebiet (W. Burghardt, U. Marx, D.A. Hiller) .....	120
G7: Pedologie und Geoarchäologie im Rheinland (Renate Gerlach, Jutta Meurers-Balke, Carolin Wygasch, Silke Schamuhn, Udo Geilenbrügge) .....	136
G8: Fe- und C-Dynamik von Böden im Bereich aktiver Mofetten in der Vulkaneifel (S. Pätzold).....	147
G9: Bodenschätzung in der Niederrheinischen Bucht, einem stark anthropogen geprägtem Naturraum (H. J. Betzer, C. Petzold).....	158
G10: Böden und Weinbau im Ahrtal (E.-D. Spies, S. Lawnik) .....	171

#### Halbtagesexkursionen

H1: Intensive landwirtschaftliche Bodennutzung in den Kölner Wasserschutzgebieten im Spannungsfeld unterschiedlicher Nutzungsinteressen (A. Wolf).....	172
H2: Bodenheterogenität auf der Feldskala: eine Herausforderung für den Präzisionslandbau (S. Pätzold, G. Welp) .....	179
H3: Gesteine, Böden und Naturschutz im Siebengebirge (A. Skowronek, M. Kehl).....	189
H4: Tunnelerosion im Bergischen Land (J. Botschek, A. Winzen, D. Henn, T. Abel, R. Krämer).....	194
H5: Bodenlehrpfad im Ballungsraum Köln – ein Beitrag zur Sensibilisierung für das Schutzgut Boden (F. Richter) .....	200
H6: Über den Dächern von Köln – Gesteinsverwitterung am Kölner Dom (N.N., H.D. Narres) .....	205



## Tagungsort und Exkursionsraum

Armin Skowronek und Stephen Wagner

Die Tagung und die meisten Exkursionen finden im industriell hoch entwickelten und im bevölkerungsreichsten Bundesland Nordrhein-Westfalen statt (17 996 621 Einw. [31.12.2007], 34 085,27 km<sup>2</sup>, 528 Einw./km<sup>2</sup>). Am 23. August 1946 gegründet, umfasst NRW neben Westfalen den nördlichen Teil der preußischen Rheinprovinz von 1822 mit den Regierungsbezirken Aachen, Düsseldorf und Köln. Der südliche Teil mit Koblenz und Trier gehört zu Rheinland-Pfalz (LVA NRW 1968). Das sog. Rheinland (= ehem. preuß. Rheinprovinz) stellt – ausser für Z 1 und G 6 – den Exkursionsraum dar (s. Abb.).

1971 tangierte eine große Bodenkunde-Tour durch die BRD diesen Raum (DBG 1971). Auch das Mittelrheintal und die Niederrheinische Bucht waren schon einmal Teil einer bodenkundlichen Exkursion (DBG 1986), während die westfälische Bucht mit umrahmendem Grund- und Deckgebirge der DBG-Jahrestagung 1989 in Münster für entsprechende Aktivitäten diente (DBG 1989).

Die Bundesstadt Bonn (316 416 Einwohner [31.12.2007], 141,2 km<sup>2</sup>, 2 241 Einw./km<sup>2</sup>) ist

### Exkursionsgebiete

Samstag, 05.09.09

**G2:** Bodenkundliche Untersuchungen für Biotopmanagement und Grundlagenforschung im Nationalpark Eifel

**G6:** Stadtböden im Ruhrgebiet

**G8:** Fe- und C-Dynamik im Bereich aktiver Mofetten in der Vulkaneifel

Sonntag, 06.09.09

**G1:** Rekultivierung landwirtschaftlicher Flächen im rheinischen Braunkohlenrevier im Wandel der Zeit

**G3:** Nicht-invasive Messverfahren in der bodenkundlichen Forschung

**G5:** Böden und Bodenerosion im Pleiser Hügelland und in der Siegburger Bucht

nach 1953 zum zweiten Mal Tagungsort der DBG, nach Zählung der „Großen Tagungen“ (BLUME 2001, Tab. 2) wäre dies die 33. Tagung seit der Neugründung unserer Gesellschaft 1949/50.

### Literatur

BLUME, H.-P. (2001): Bodenentwicklung und Bodenverbreitung. Die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft von 1951 bis 1973. – In: BLUME, H.-P. (Hrsg.), 1926-2001 75 Jahre Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft. – Mitt. DBG 97: 45-68.

DBG – DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT (Hrsg.) (1971): Gemeinsame Tagung von Kommission V und VI der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft in Stuttgart-Hohenheim. Exkursion C. Landschaften und Böden in der Bundesrepublik Deutschland. – Mitt. DBG 13: 1-521.

DBG – DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT (Hrsg.) (1986): XIII. Congress of the International Society of Soil Science Hamburg 13.-20.8.1986. Guidebook Tour B. Soils and Landscapes around the Rhine Valley, Germany and the Netherlands. – Mitt. DBG 47: 1-240.

DBG – DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT (Hrsg.) (1989): Exkursionsführer zur Jahrestagung in Münster 1989. – Mitt. DBG 58: 1-341.

LVA NRW – LANDESVERMESSUNGSAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.) (1968): Topographischer Atlas Nordrhein-Westfalen. – Bonn, 345 S.

**G7:** Pedologie und Geoarchäologie im Rheinland

**G10:** Böden und Weinbau im Ahrtal

Mittwoch, 09.09.09

**H1:** Intensive landwirtschaftliche Bodennutzung in den Kölner Wasserschutzgebieten im Spannungsfeld unterschiedlicher Nutzungsinteressen

**H2:** Bodenheterogenität auf der Feldskala: eine Herausforderung für den Präzisionslandbau

**H3:** Gesteine, Böden und Naturschutz im Siebengebirge

**H4:** Tunnelerosion im Bergischen Land

**H5:** Bodenlehrpfad im Ballungsraum Köln – ein Beitrag zur Sensibilisierung für das Schutzgut Boden

**H6:** Über den Dächern von Köln – Gesteinsverwitterung am Kölner Dom

**G9:** Bodenschätzung in der Niederrheinischen Bucht, einem stark anthropogen geprägten Naturraum

Samstag, 12.09.09

Freitag, 11.09.09 – Sonntag, 13.09.09

**G4:** Bodenkartierung im Hohen Venn – Planungsgrundlagen zum Schutz und zur Reaktivierung von Mooren

**Z1:** Understanding soil diversity and ecosystem evolution

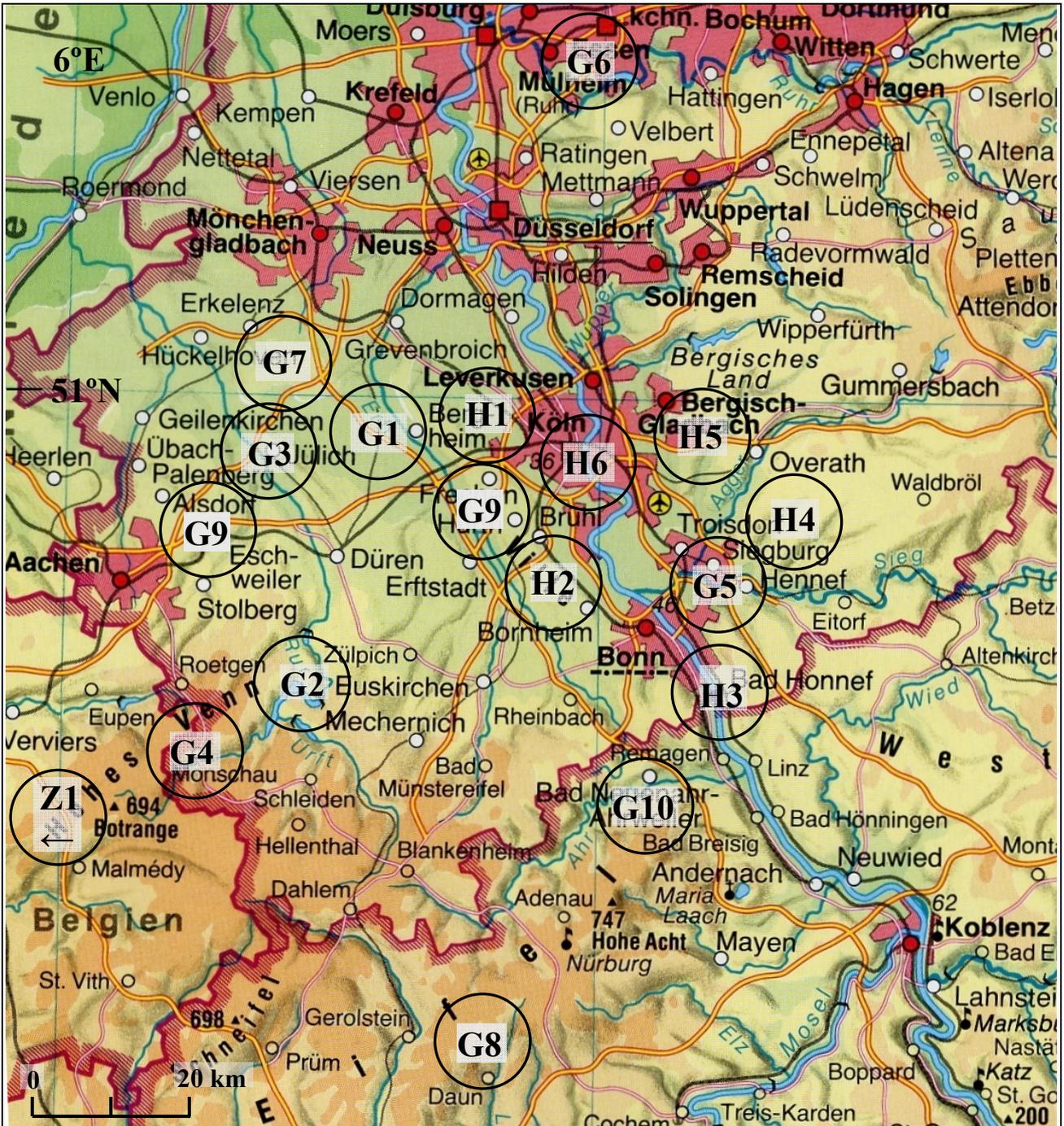


Abb. Lage der Exkursionsziele (Kartenhintergrund nach DIERCKE-Weltatlas 1992)

## Geologischer Rahmen, Geomorphogenese und Ausgangssubstrate

Armin Skowronek

Ein umfassendes Verständnis der Boden- und Verwitterungsdecke eines Raumes erfordert vor allem Kenntnisse des geologischen Untergrundes und der Reliefentwicklung (MÜCKENHAUSEN 1993). Auch die Entstehung der holozänen Oberflächenböden ist eng daran geknüpft.

### Geologischer Rahmen

Die Exkursionen agieren entweder im Rheinischen Schiefergebirge (Z 1 [z. T. Ardennen], G 2, G 4, G 5, G 6, G 8, G 10, H 3, H 4 u. H 5) oder in der Niederrheinischen Bucht (G 1, G 3, G 7, G 9, H 1, H 2 u. H 6).

### Rheinisches Schiefergebirge

Seine Existenz als geologischer Körper (Abb. 1) verdankt es der varistischen Orogenese und den zuvor gebildeten Sedimentgesteinen, vorwiegend des Devons. Jüngere diskordante, kleinflächige Ablagerungen stammen aus dem Mesozoikum und dem Tertiär.

Die NW-gerichtete Krusteneinengung erzeugte im außeralpinen Bereich zunächst das *Moldanubikum* mit starkem Plutonismus und intensiver Metamorphose, dann das *Saxothuringikum* mit granitischem Plutonismus und Regionalmetamorphose, schließlich das *Rhenohertzynikum*, dessen mächtiges Devon (rheinische Fazies) nur gefaltet und geschiefert wurde. Die *Subvaristische Saumsenke* mit mächtigen oberkarbonen Sedimenten (a. Steinkohle) wurde erst jungvaristisch – als Molasse – deformiert (SCHÖNENBERG 1971, S. 84-85 u. Abb. 14).

Das Rheinische Schiefergebirge stellt zusammen mit den Ardennen und dem Harz den zu Tage tretenden Teil des *rhenohertzynischen* Grundgebirges dar (Abb. 1). Seine Lithologie wird bestimmt durch die primäre Petrographie des Devons (vorw. Sand- u. Tonsteine, Grauwacken, Quarzite, Carbonatgesteine), durch die orogenetische Beanspruchung (Faltung, Schieferung, Klüftung etc.) sowie durch spätere Bruchtektonik, die auch den känozoischen Vul-

kanismus auslöste. Ebenso spielen hydrothermale Vorgänge eine Rolle, wie z. B. bei der Kaolinisierung von Gesteinen (SPIES 1986).

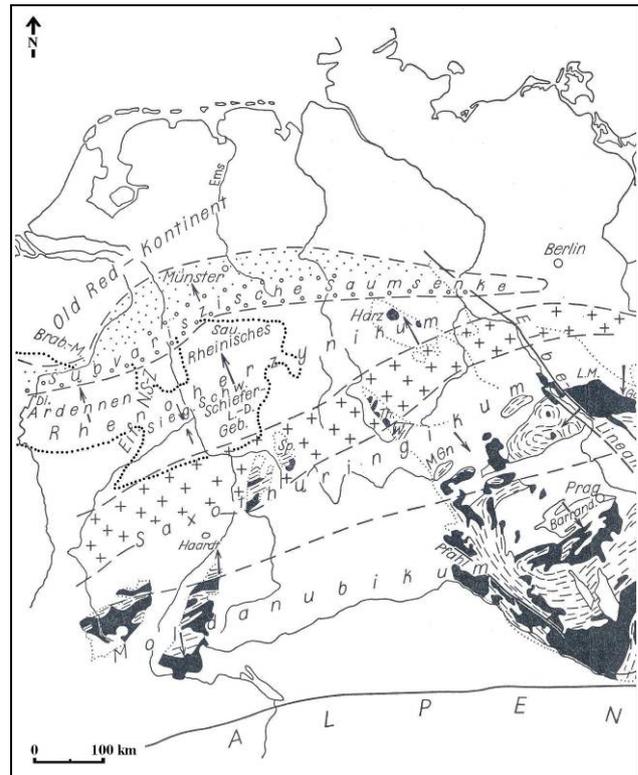


Abb.1. Das Varistikum in Mitteleuropa (aus SCHÖNENBERG 1971, Abb. 14, Ausschnitt, leicht verändert)

Die Tektogenese des Rheinischen Schiefergebirges hat mit der *Subvaristischen Saumsenke* den riesigen „Bodenschatz“ des Energierohstoffs Steinkohle geschaffen. Das war der materielle Ausgangspunkt für die Entwicklung zum größten geschlossenen Industriegebiet Europas, dem Ruhrgebiet. Zusammen mit dem Erzreichtum des Rheinischen Schiefergebirges – es gibt fast alle Typen von Erzlagerstätten, sogar die seltene Imprägnationslagerstätte (GEWEHR 1958) – wurde das Land an Rhein und Ruhr die Basis für eine frühe Industrialisierung. Gewinnung und Aufbereitung dieser „Bodenschätze“ sowie andere Stationen der Wertschöpfungskette waren aber mit erheblichen Emissionen in Umwelt und Böden verbunden, so dass heute auch ganz spezifische Probleme des Bodenschutzes gelöst werden müssen (GLA NRW 1986).

### Niederrheinische Bucht

Infolge Alpenentstehung kam es im Tertiär an verschiedenen Stellen in Deutschland zu Absenkungen. Deren Füllung besteht aus marinen und terrestrischen tonig-sandigen, selten aus

Prof. Dr. A. Skowronek, INRES – Bodenwissenschaften, Universität Bonn, Nußallee 13, 53115 Bonn, e-mail: askowronek@uni-bonn.de

karbonatischen Ablagerungen. Vielfach sind Braunkohle-Flöze entwickelt. Die quartäre Überdeckung erreicht oft mehrere Dekameter (HENNINGSEN & KATZUNG 1992, S. 147).

Die nach SE spitz zulaufende Niederrheinische Bucht ist in das Rheinische Schiefergebirge eingebrochen. Die Bewegungen halten noch an. Bonn liegt auf einer tektonischen Grenze (Abb. 2).

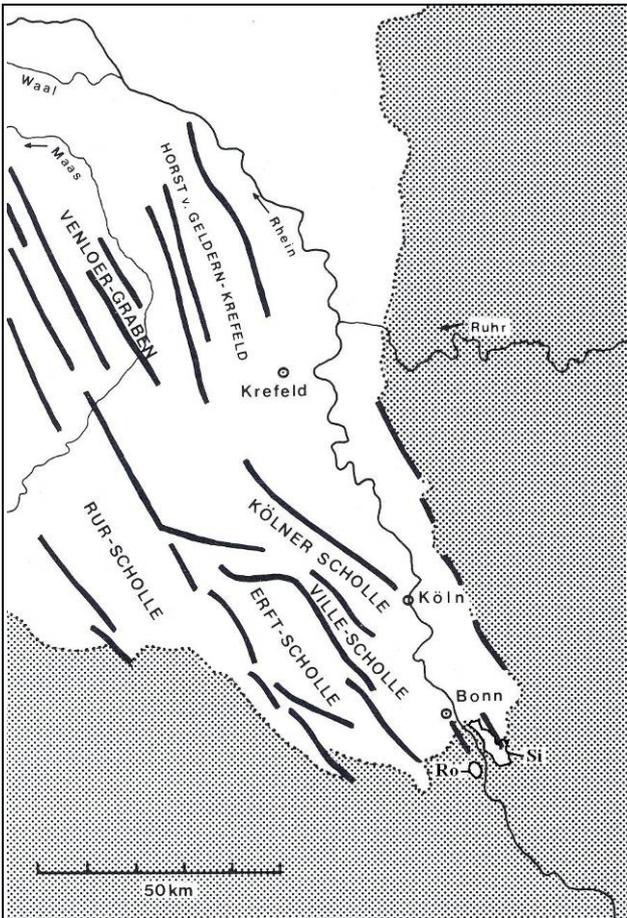


Abb. 2. Die Niederrheinische Bucht (aus HENNINGSEN & KATZUNG 1992, Abb. 44, leicht verändert); Ro = Rodderberg, Si = Siebengebirge

Große NW-SE-verlaufende Verwerfungen haben die bis 600 m mächtige tertiäre Füllung in horst- und grabenartige Schollen zerlegt, welche meist leicht nach NW geneigt sind. Daher konnte der Abbau der reichen Braunkohle-Vorkommen am SE-Ende der herausgehobenen Ville-Scholle (= Vorgebirge) relativ bequem ansetzen. Da die Einzelschollen gleichzeitig nach W stärker eingesunken sind, gestaltet sich der Tagebau zunehmend aufwendiger.

Andere Lagerstätten sind Tone, Sande und Kiese des Tertiärs und Quartärs. Die bedeutende Steinzeug- und Bauindustrie hat hier ihre materielle Grundlage. Die Gewinnung der genann-

ten Rohstoffe im Tagebau ist mit erheblichen Bodenverlusten und anschließenden Rekultivierungsproblemen verbunden. Bei der Braunkohle, durch die mehr als 50 % des Strombedarfs von NRW gedeckt werden, kommen noch starke künstliche Grundwasserabsenkungen hinzu.

### Junger Vulkanismus

Zeitlich lassen sich die Gesteine des postvaristischen Vulkanismus in die tertiären Vorkommen von Eifel, Siebengebirge und Westerwald einerseits sowie in die quartäre Vulkan-Eifel andererseits unterteilen (Abb. 3). Die vulkanische Aktivität ist an o. g. Bruchtektonik gebunden, möglicherweise spielt aber auch ein sog. Mantel-Plume eine Rolle, welcher noch heute in mehreren 100 km Tiefe existiert (GAENSICKE 2007). Auch austretende kohlen saure Lösungen, seltener Gase, begleiten das geologische Geschehen bis in die Gegenwart.

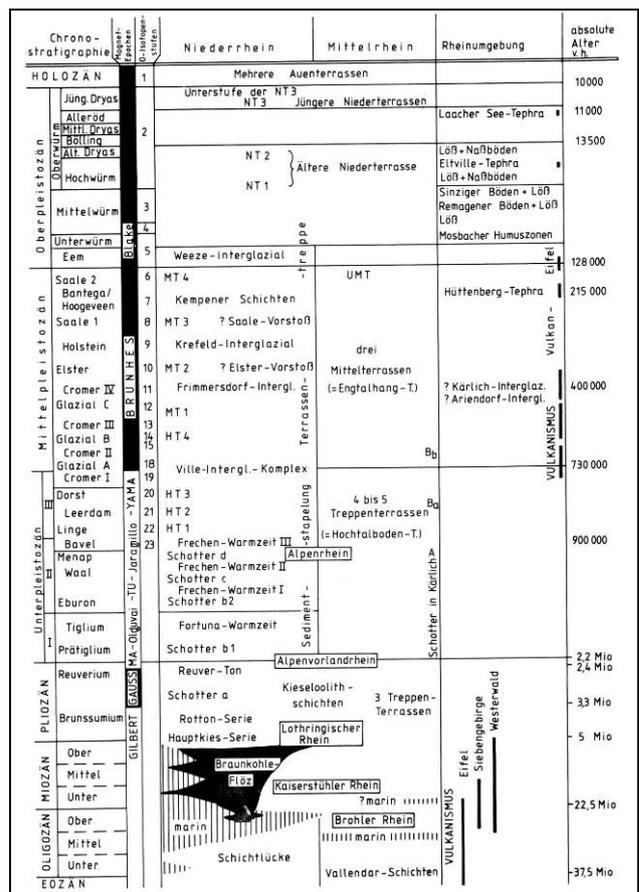


Abb.3. Zeittafel des Känozoikums im Rheinland (aus SCHIRMER 1990, Abb. 3, unverändert)

Die alttertiären Vulkanite der Hoheifel (Hohe Acht 746 m NN) und die oligo-miozänen des Siebengebirges bestehen überwiegend aus Trachyten, Latiten und Basalten, im Siebengebirge sind auch Trachyttuffe weit verbreitet. Im Westerwald dominieren Basalte. Der – zu verschie-

denen Zeiten des Quartärs aktive – Eifelvulkanismus wird räumlich in die Vulkanfelder von West- und Osteifel getrennt (SCHMINCKE 2003), der mittelpleistozäne Rodderberg-Vulkan (Osteifel) liegt vor den Toren der Stadt Bonn (PAULICK et al. 2009). Insgesamt ist die Gesteinsvielfalt groß, sie reicht von Alkalibasalten bis zu den trachytischen Bimstufen des Laacher Sees, welche das (vorläufige) Ende des Vulkanismus im Alleröd markieren (Abb. 3).

Alle vulkanischen Gesteine unterlagen oder unterliegen einem intensiven Abbau, die angereicherten Grundwässer finden als Sprudel bzw. als Säuerlinge Verwendung. Die radikale Gesteinsentnahme im Siebengebirge erzeugte in der Mitte des 19. Jahrhunderts den massiven Widerstand der Bürger: es war die Geburtsstunde des deutschen Naturschutzes.

### Geomorphogenese

Das Rheinische Schiefergebirge tritt dem Betrachter allgemein als Rumpffläche (*Penplain*, ggf. als „Primärrumpf“ i. S. PENCKs 1924) oder am Rhein als Terrassentreppe entgegen. Letztere setzt sich in die Niederrheinische Bucht fort (Abb. 4).

Das fluviale Abtragungsrelief beider Einheiten stellt das Resultat verschiedener, zeitlich aufeinander folgender Prozeßkombinationen dar.

Der flächenbildende Prozeß der Pedimentation, d. h. das regressive Einschneiden der Flüsse unter Ausbildung einer Fußfläche, führte im Tertiär zur Einebnung (Pediplanation) des sich langsam hebenden Rheinischen Schiefergebirges. Die Abflußbasis (Meer) lag hoch, die Vertikalabstände waren gering. Verursacht wurde die Pedimentation durch lange Trockenphasen (vgl. SCHWARZBACH 1968), begünstigt wurde sie durch zuvor bereitgestelltes Material geringer Abtragungsresistenz (s. FELIX-HENNINGSSEN 1990). Der Regolith selbst erlaubt keine Rückschlüsse auf den Abtragungsprozeß (vgl. WIECHMANN & ZEPP 1985). Genetisch handelt es sich damit um eine *Pediplain*, eine aus vielen Pedimenten zusammengesetzte Abtragungsfläche, bzw. um *Pediplans*, wenn eine Flächentreppe vorliegt (z. B. RICHTER 1962).

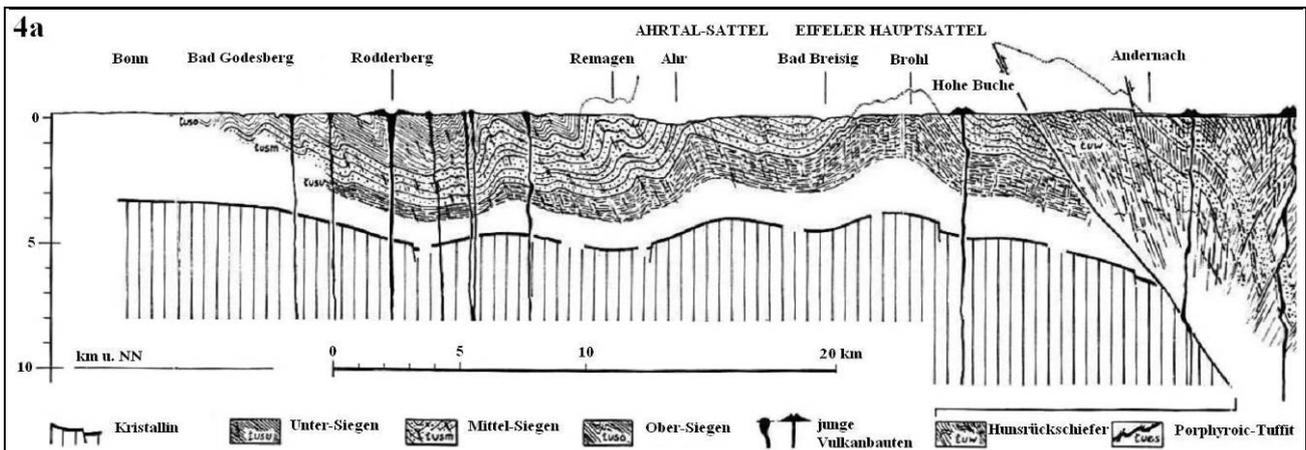
Die weitere Reliefentwicklung am Rhein kann mit ROHDENBURG (1989, S. 140-160) als „Interferenz von Klimaschwankungen mit Tektonik und Veränderungen der Abflußbasis“ er-

klärt werden. Abbildung 4b verdeutlicht dies (aus MEYER & STETS 1998, Abb. 2):

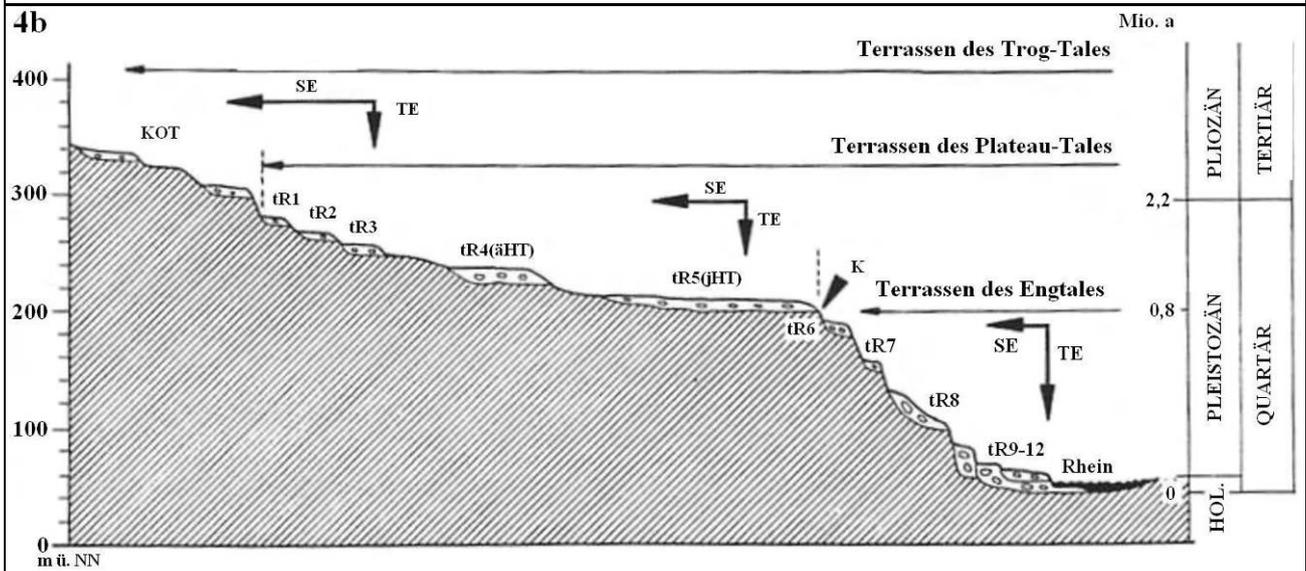
- die 20 bis 30 km breiten und bis 50 m tief in die *Pediplain* eingelassenen, pliozänen „Terrassen des Trog-Tales“ weisen zunächst auf eine moderate tektonische Hebung hin. Die Breite/Tiefe-Relation belegt aber auch starke Seitenerosion (SE in Abb. 4b; „Talbodenpedimentation“ nach ROHDENBURG 1989, S. 67 f.) und „Hangpedimentation“ (= regressives Zurückweichen einer Stufe unter Ausbildung einer Fußfläche) gegen die Wasserscheiden hin. Damit wird ein klimazyklisches Alternieren von konzentriertem Abfluß und Hangstabilität einerseits und von Flussbetterweiterung (mit Akkumulation) und Hangabtragung andererseits angezeigt. Nach den geomorphologischen Zeugnissen geschah dies im Pliozän dreimal (Abb. 4b).

- die in das „Trog-Tal“ eingeschachtelten, pliozän-altpleistozänen „Terrassen des Plateau-Tales“ zeigen im Prinzip das Gleiche wie die älteren Verebnungsniveaus, doch das Flächenbildungspotential ist kleiner geworden. Fünf Klimazyklen spiegeln sich wider. Die Jüngere Hauptterrasse (jHT bzw. tR5) endet abrupt mit einer scharfen Kante (K) gegen das „Engtal“, am Niederrhein ist eine Hauptterrasse (HAT 3) über eine ältere (HT 2) gestapelt (Abb. 4c). Hier war die Akkumulation von HT 2 zu stark, die nachfolgende warmzeitliche Einschneidung dagegen zu schwach, um ein Flussbett zu schaffen, von dem aus die folgende, kaltzeitliche Erweiterung auf Kosten der HT 2 hätte erfolgen können.

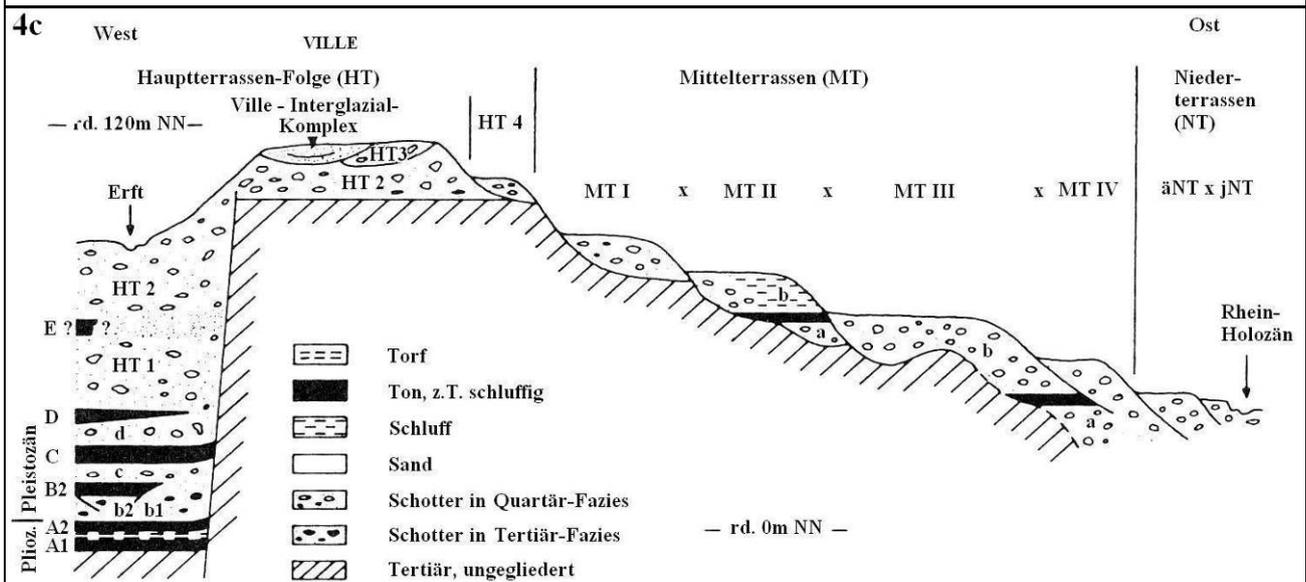
- die „Terrassen des Engtales“ (Mittel- u. Niederterrassen) dokumentieren eine kräftige Hebung und eine damit einhergehende Tiefenerosion (TE in Abb. 4b) mit generell schwächer werdender Tendenz der Flußbetterweiterung. Anstehender Fels in der Flußsohle oberstromig von der Loreley deutet auf ein Anhalten der Hebung hin (vgl. MEYER & STETS 1998, S. 365). Die kaltzeitliche Zurückverlegung der Hänge im „Engtal“ geschah durch stark reduzierte Seitenerosion („Talbodenpedimentation“) des Rheins, unterstützt von gravitativem Transport durch Gellisolfluktion. „Hangpedimentation“ dürfte höchstens in leicht ausräumbaren Materialien wie z. B. Schottern abgelaufen sein. Der Dislokationsüberschuß im „Engtal“ konnte nicht mehr durch Einebnung ausgeglichen oder beseitigt werden.



aus MEYER & STETS (1975, Tafel 1, Ausschnitt, unverändert)



aus MEYER & STETS (1998, Abb. 2, unverändert)



aus BRUNNACKER et al. (1982, Abb. 23, unverändert)

Abb. 4. Zur Geomorphogenese des Rheinischen Schiefergebirges und der Niederrheinischen Bucht

Wenn für die Dreigliederung der würmzeitlichen Niederterrasse (NT 1 bis NT 3 SCHIRMERS; s. hier Abb. 3) Tektonik als Ursache ausscheidet, dann kämen noch eustatische Veränderungen der Abflußbasis in Frage. Beide sind wegen der zeitlichen Kürze der Abschnitte aber sehr unwahrscheinlich. Wahrscheinlicher sind – besonders für die Ausbildung der holozänen Auenterrassen – „autozyklische Akkumulations- und Erosionsphasen“ (BUCH 1988, S. 156) bei der Selbstorganisation des Flusses.

Die fluviale Formengesellschaft von Rheinischem Schiefergebirge und südlicher Niederrheinischer Bucht (Abb. 4) stellt ein Peditain-Pediment-Terrassen-Treppenrelief dar, dessen gesetzmäßige Anordnung klimazyklisch (durch Klimawechsel) erfolgte, dessen Vertikalabstände aber stark von junger Tektonik bestimmt werden. Die Klimazyklen waren im Tertiär sicher durch ein Alternieren von Feucht und Trocken, im Quartär von Warm und Kalt gekennzeichnet, was im geomorphologischen Ergebnis aber auf das Gleiche hinausläuft. Nur die Zusammensetzung der (Locker)Substrate änderte sich.

In mitteleuropäischen Lössen (FINK & KUKLA 1977) sind wesentlich mehr pleistozäne Warmzeit-Kaltzeit-Zyklen archiviert als in den Terrassentritten des Rheins (Abb. 4). Eine Erklärung bietet das „Intensitätsauslese-Prinzip“ ROHDENBURGS (1989, S. 145), welches besagt, daß erosive Formen nur dann erhalten bleiben, wenn nachfolgende (stärkere/längerdauernde) Formungszyklen diese nicht zerstören.

Das in Rumpfflächen und Täler zweigeteilte Rheinische Schiefergebirge wird belebt durch tertiären und quartären Vulkanismus. Während die älteren Gesteine teilweise als Härtlinge überdauerten (z. B. Siebengebirge), haben die aufgesetzten jüngeren Vulkane noch weitgehend ihre primäre – endogen bedingte – Form bewahrt (Abb. 4a).

#### Ausgangssubstrate

Richtung und Geschwindigkeit der Bodenentwicklung werden vom Ausgangssubstrat bestimmt. Die Beziehungen Boden zu Ausgangssubstrat einerseits und Ausgangssubstrat zu Geomorphogenese/geologischer Untergrund andererseits sind erkennbar in der – stark verkleinerten – „Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen“ von MÜCKENHAUSEN &

WORTMANN (1958, Taf. 2), welche unter A „Böden des Rheinischen Schiefergebirges“, unter B „Böden des ostwestfälischen Berg- und Hügellandes“, unter C „Böden des Münsterlandes“ und unter D „Böden der Niederrheinischen Bucht“ ausweist. Das hier in Abb. 5 übernommene Rheinische Schiefergebirge (A) enthält sechs bodenbildende Substrate (Nr. 1-6), die Niederrheinische Bucht (D) fünf (Nr. 23-27). Die folgende Beschreibung der Ausgangssubstrate ist MÜCKENHAUSEN & WORTMANN zum Teil wörtlich entnommen (1958, S. 29-30 u. 32-33).

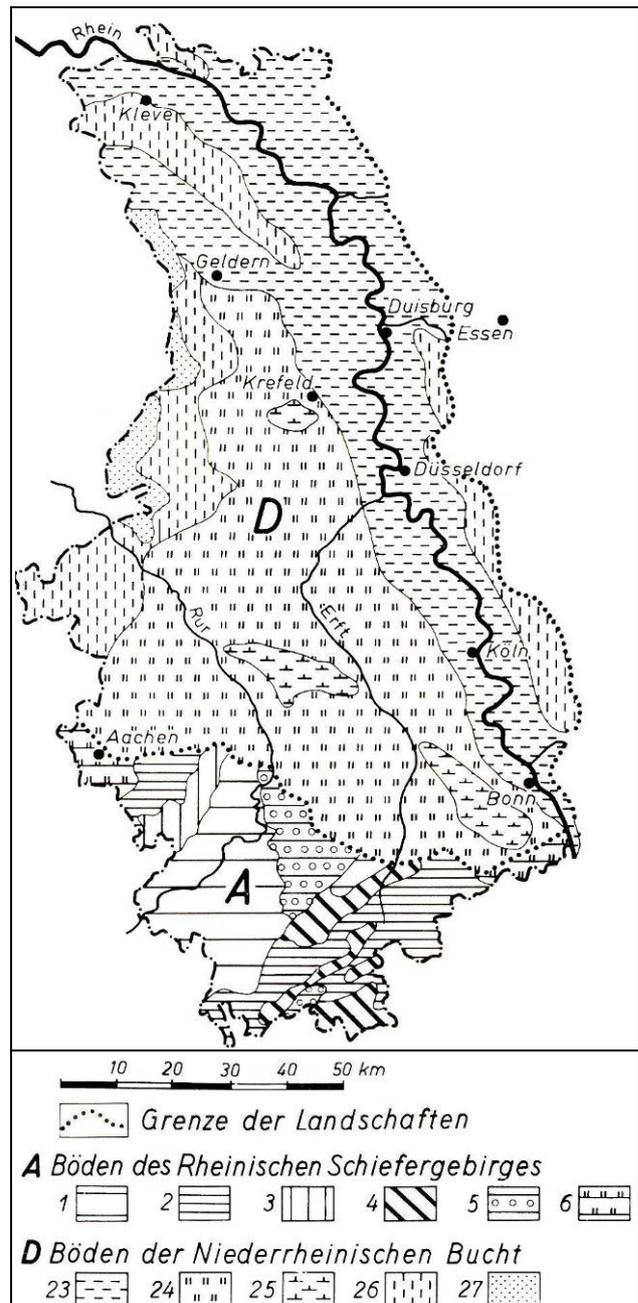


Abb. 5. Ausgangssubstrate und Böden in Nordrheinland (aus MÜCKENHAUSEN & WORTMANN 1958, Tafel 2, Ausschnitt, unverändert)

### *Rheinisches Schiefergebirge (A)*

Nr. 1: besteht überwiegend aus Schiefen und Grauwacken, aber auch Sandsteine, Quarzite und Kieselschiefer bilden den Untergrund. Steiniger, feinsandiger Lehm, teils schluffig und tonig, tritt hinzu.

Nr. 2: wie 1, aber auch „Weißlehm (= Graulehm)“ aus o. g. Gesteinen kommt flächenweise vor. Dieser „Graulehm“ (von MÜCKENHAUSEN & WORTMANN als Bodentyp interpretiert) ist Teil der „mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecke“ FELIX-HENNINGSENS (1990). Der „Graulehm“ ist aber kein Boden (Solum) i. e. S., er gehört zum Saprolit der MTV, d. h. zu einer – unter dem damaligen Solum entstandenen – Verwitterungszone, die sich gemäß der Saprolit-Definition von BECKER (1895) durch ein „thoroughly decomposed rock in place“ (S. 284) bzw. durch ein „thoroughly decomposed, earthy, but untransported rock“ (S. 289) auszeichnet. In späteren Pedimentations (Pediplanations)-Phasen wurde der Saprolit immer wieder neu für nachfolgende Bodenbildungen (Sola) bzw. für periglaziale Prozesse exponiert.

Nr. 3: kambrische Phyllite und Quarzite mit steinigem, feinsandigem, schluffigem Lehm bilden das Ausgangssubstrat.

Nr. 4: die orogenetisch bedingten, SW-NE-streichenden Mulden exponieren mitteldevonische Kalksteine, Dolomite und Mergel zusammen mit jüngeren, steinig-tonigen Lehmen.

Nr. 5: in der sog. Mechernicher Trias-Bucht streichen Sand- und Tonsteine des Mittleren bzw. Oberen Buntsandsteins sowie Gesteine des Muschelkalks und Keupers aus. Alle tragen Lockermaterial.

Nr. 6: Löss unterschiedlicher Körnung, kalkhaltig (15-20 %) oder entkalkt, in wechselnder Mächtigkeit über Nr. 1 und Nr. 2.

### *Niederrheinische Bucht (D)*

Nr. 23: spätglazial-holozäne, überwiegend lehmige, karbonathaltige Hochflutsedimente des Rheins über Kiesen und Sanden der Niederterrasse und über der Inselterrasse (= Erosionsrest der NT).

Nr. 24: pleistozäne Löss und Lößlehme.

Nr. 25: staunasse Löss aufgrund von Verdichtungen in liegenden Terrassen-Sedimenten, z. B. im Kottenforst SW Bonn, wo die Kiese der

altpleistozänen jHT (s. o.) so stark vergleht und inkrustiert sind, dass die hangende würmzeitliche, kalkfreie Lößdecke („Kottenforstlehm“) weitflächig primäre Staunässe erhält. Nur wo diese paläo-pedogene Verdichtung fehlt, z.B. weil sie von einem Gerinne durchschnitten wurde, konnten sich im Löß Parabraunerden entwickeln (WIECHMANN & BRUNNER 1986, Fig. 3).

Nr. 26: Sandlöss und Flugdecksande, aber auch Kiese und Sande der Mittelterrassen, soweit diese lößfrei geblieben sind.

Nr. 27: Ablagerungen der Hauptterrasse, aber auch Flugdeck- und Dünsande, teils anlehmig, teils steinig.

### *Pedologische Effekte des Periglazials*

Die von MÜCKENHAUSEN & WORTMANN (1958) beschriebenen Lockermaterialien werden heute teilweise als quartäre Deckschichten bezeichnet. Als Hangsedimente wurden sie durch Spülprozesse sowie durch gravitative (Geli-Solifluktion) und äolische Prozesse abgelagert bzw. in ihre heutige Position gebracht. Darauf beruht das Decken/Lagen-Konzept der deutschen Bodenkunde: Basislage, Mittellage, Hauptlage und Oberlage.

ALTERMANN et al. (2007) weisen aber eindrucksvoll darauf hin, dass damit nur ein unvollständiges Bild vom Bodenaufbau entstehe. Neben der „Kryotranslokation“ (Decken/Lagenbildung) müssten die „Kryoklastik“ und vor allem die „Kryoperstruktion“, d. h. der „kryogene Strukturumbau“ mit den Teilprozessen „Destratifikation“, „Kryolithotropie“ und „Kryoturbation“ wesentlich stärker berücksichtigt werden als bisher. Mit der „Kryopedogenese“ werden sogar Prozesse wie Verbraunung oder Podsolierung in das Periglazial vorverlegt.

Diese interessante, aus jahrzehntelanger Erfahrung heraus entwickelte Idee einer periglazial differenzierten Pedosphäre sollte auch auf Exkursionen weiter verfolgt werden, sie ist nicht nur von bodengenetischem Interesse, sie berührt gleichermaßen auch bodenökologische Belange wie z. B. die Wasserbewegung.

## Literatur

- ALTERMANN, M., K.-D. JÄGER, D. KOPP, A. KOWALKOWSKI, D. KÜHN & W. SCHWANECKE (2007): Zur Kennzeichnung und Gliederung von periglaziär bedingten Differenzierungen in der Pedosphäre. – Mitt. DBG 110: 559-560.
- BECKER, G. F. (1895): Gold fields of the Southern Appalachians. – 16<sup>th</sup> Annual Report US Geological Survey, Part III.-Mineral Resources of the United States, 1894 Metallic Products, S. 251-331.
- BRUNNACKER, K. et al. (1982): Paläoböden in Nordrhein-Westfalen. – Geol. Jb. F 14: 165-253.
- BUCH, M. W. (1988): Zur Frage einer kausalen Verknüpfung fluvialer Prozesse und Klimaschwankungen im Spätpleistozän und Holozän – Versuch einer geomorphodynamischen Deutung von Befunden von Donau und Main. – Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 70: 131-162.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. (1990): Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge. Aufbau, Genese und quartäre Überprägung. – Relief, Boden, Paläoklima 6: 1-192.
- FINK, J. & J. KUKLA (1977): Pleistocene Climates in Central Europe: At least 17 Interglacials after the Olduvai Event. – Quat. Res. 7: 363-371.
- GAENSICKE, H. (2007): Untersuchung der seismischen Geschwindigkeiten in der Erdkruste unter den tertiären und quartären Vulkanfeldern der Eifel. – Diss. Math.-Nat. Fak. Univ. Bonn, 153 S.
- GLA NRW – GEOLOGISCHES LANDESAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.) (1986): Geochemie und Vererzung im Rheinischen Schiefergebirge. Geochemische, lagerstättenkundliche und bodenphysikalische Untersuchungen zur Mineralisation und zur Schwermetallbelastung der Böden. – Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. 34: 1-508.
- GEWEHR, H. (1958): Erzmikroskopische und röntgenographische Untersuchungen an Erzen und Aufbereitungsprodukten der Mechernicher Bleierzlagerstätte. – Diss. Math.-Nat. Fak. Univ. Bonn, 137 S.
- HENNINGSSEN, D. & G. KATZUNG (1992): Einführung in die Geologie Deutschlands. – Stuttgart (Enke), 228 S.
- MEYER, W. & J. STETS (1975): Das Rheinprofil zwischen Bonn und Bingen. – Z. dt. geol. Ges. 126: 15-29.
- MEYER, W. & J. STETS (1998): Junge Tektonik im Rheinischen Schiefergebirge und ihre Quantifizierung. – Z. dt. geol. Ges. 149: 359-379.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1993<sup>4</sup>): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. – Frankfurt am Main (DLG), 579 S. (1. Auflage 1975).
- MÜCKENHAUSEN, E. & H. WORTMANN (1958): Erläuterungen zur Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen 1:300 000. – Krefeld, 144 S.
- PAULICK, H., C. EWEN, H. BLANCHARD & L. ZÖLLER (2009): The Middle-Pleistocene (~300 ka) Roderberg maarscoria cone volcanic complex (Bonn, Germany): eruptive history, geochemistry, and thermoluminescence dating. – Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.), DOI 10.1007/s00531-008-0341-0.
- PENCK, W. (1924): Die morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie. – Geogr. Abh., 2. Reihe, Heft 2: 1-283.
- RICHTER, D. (1962): Die Hochflächen-Treppe der Nordeifel und ihre Beziehungen zum Tertiär und Quartär der Niederrheinischen Bucht. – Geol. Rundsch. 52: 376-404.
- ROHDENBURG, H. (1989): Landschaftsökologie – Geomorphologie [Aus d. Ms. bearb. u. hrsg. von Margot Rohdenburg]. – Cremlingen-Destedt, 220 S.
- SCHIRMER, W. (1990): Der känozoische Werdegang des Exkursionsgebietes. – In: SCHIRMER, W. (Hrsg.), Rheingeschichte zwischen Mosel und Maas, deuqua-Führer 1: 9-33.
- SCHMINCKE, H.-U. (2003): Als in Deutschland die Berge noch Feuer spien. – Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden und Wasser; Heidelberg-Berlin (Spektrum), S. 60-63.
- SCHÖNENBERG, R. (1971): Einführung in die Geologie Europas. – Freiburg (Rombach), 300 S.
- SCHWARZBACH, M. (1968): Das Klima des rheinischen Tertiärs. – Z. dt. geol. Ges. 118: 33-68.
- SPIES, E.-D. (1986): Vergleichende Untersuchungen an präpleistozänen Verwitterungsdecken im Osthunsrück und an Gesteinszersatz durch aszendente (Thermal-)Wässer in der Nordost-eifel (Rheinisches Schiefergebirge). – Diss. Math.-Nat. Fak. Univ. Bonn, 182 S.
- WIECHMANN, H. & C. BRUNNER (1986): Pseudogleyic soils in the Kottenforst area. – Mitt. DBG 47: 113-134.
- WIECHMANN, H. & H. ZEPP (1985): Zur morphogenetischen Bedeutung der Graulehme in der Nordeifel. – Catena Suppl. 6: 121-135.

## Böden und Bodengesellschaften in Nordrhein-Westfalen

Armin Skowronek

### Einleitung

Auf der vierten „Großen Tagung“ der DBG in Bonn (16.-20.9.1953, 24 Vorträge; vgl. Blume 2001, Tab. 2) stellten die Geologen vom Amt für Bodenforschung in Krefeld/Rheinl. Mückenhausen und Wortmann erstmals „Die Böden Nordrhein-Westfalens“ vor (s. MÜCKENHAUSEN & WORTMANN 1954). Ihre „Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen“ (1954, Abb. 1) ging später unverändert in die „Erläuterungen zur Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen 1:300 000“ ein (MÜCKENHAUSEN & WORTMANN 1958, Tafel 2; vgl. Abb. 5 Beitrag Skowronek).

Die BÜK 300 NRW von 1953 selbst ist eine Karte der Bodenarten (Flächenfarbe), welche „nach den vorherrschenden **Bodentypen** und damit auch nach dem **natürlichen Kalkgehalt**, der **Basensättigung** und dem **natürlichen Nährstoffvorrat** (insbesondere Kalzium und Kalium) zu sechs Gruppen zusammengefaßt“ sind (MÜCKENHAUSEN & WORTMANN 1953, Legende). Die Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:500 000 des Deutschen Planungsatlas von 1971 wiederum ist eine reine Bodentypen(verbreitungs)-Karte, wobei die 40 Bodentypen (= Bodeneinheiten) nach Ausgangsgestein, Geländegestaltung und Bodenentstehung sechs Bodengesellschaften zugeteilt wurden (MAAS & MÜCKENHAUSEN 1971, S. 1 u. 16).

Während bodensystematisch Ähnliches zur Ausweisung von Bodengesellschaften in NRW diente (s. o.), stellte SCHLICHTING 1970 (S. 8) heraus, dass Bodengesellschaften „nicht Inventarlisten willkürlich abgegrenzter Räume, sondern Gruppen zusammengehöriger Böden“ seien. Die Bodenentwicklung „im geomorphen Komplex Hügel- und Senkenbereich“ hänge „in gleicher Weise von der Profildifferenzierung wie von der Reliefformung“ ab (S. 5). Das hatte der amerikanische Bodengeomorphologe RUHE 1960 grundsätzlich formuliert. Und STAHR, ein Schüler von Schlichting, konkretisierte dann

1990 umfassend die pedochemischen Beziehungen von Hügel- und Senkenbereich.

Im Folgenden wird versucht, beides: Bodensystematik und Bodensoziologie, für die Beschreibung der Böden und Bodengesellschaften in NRW nutzbar zu machen.

Zur Bodenverbreitung und Bodenvergesellschaftung in NRW, anhand von vier Blättern der BK 50

Vor der Darstellung müssen eine regionalpedologische Einordnung von NRW und der Kartenbeispiele sowie eine Charakterisierung der BK 50 NRW vorgenommen werden.

### Bodenregionalisierung von NRW nach BÜK 1000 (1995)

Von den 12 Bodenregionen – als obersten Hierarchiestufen für künftige überregionale Bodenkarten – sind fünf in NRW realisiert (Abb. 1).

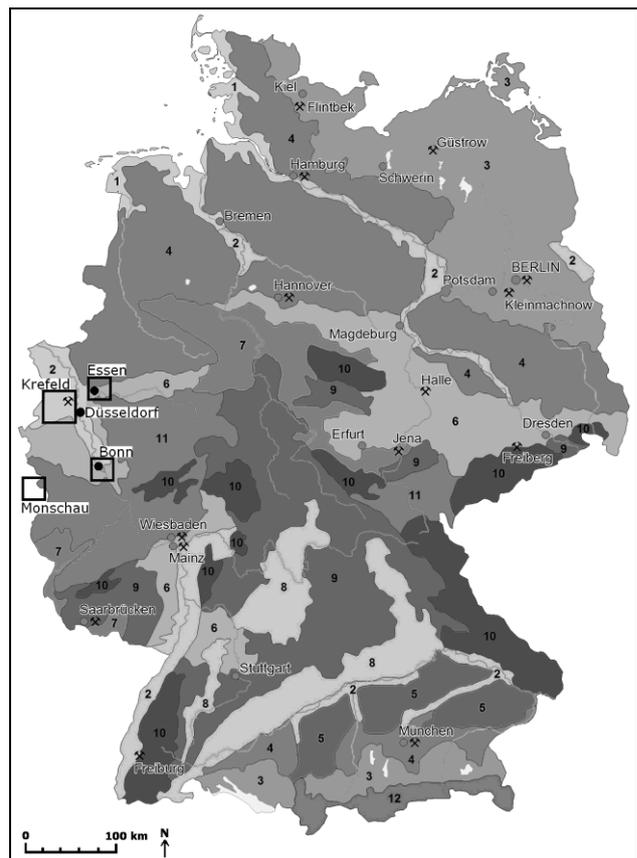


Abb. 1. Regionalisierung der Bodenverbreitung in Deutschland (aus HARTWICH et al. 1995, Abb. 1, leicht verändert) und Lage der vorgestellten Blätter der BK 50 NRW

Bodenregion 2: (Überregionale) Flusslandschaften. Leitböden: Auenboden, Gley, Parabraunerde, Braunerde und Pararendzina.

Bodenregion 4: *Altmoränenlandschaften*. Leitböden: Braunerde, Podsol, Pseudogley, Parabraunerde, Gley und Moor.

Bodenregion 6: *Löß- und Sandlößlandschaften*. Leitböden: Parabraunerde, Tschernosem, Pseudogley, Fahlerde und Pararendzina.

Bodenregion 7: *Berg- und Hügelländer mit hohem Anteil an nichtmetamorphen Sedimentgesteinen im Wechsel mit Löß*. Leitböden: Parabraunerde, Rendzina, Braunerde, Ranker und Pseudogley.

Bodenregion 11: *Berg- und Hügelländer mit hohem Anteil an Ton- und Schluffschiefen*. Leitböden: Braunerde und Pseudogley.

„Die Bodenregionen unterscheiden sich untereinander besonders hinsichtlich der bodengeographischen Ordnungsfaktoren Orographie und Lithogenese und weisen charakteristische Vergesellschaftungen von Böden auf“ (HARTWICH et al. 1995, S. 7).

#### *Die Bodenkarte 1:50 000 von Nordrhein-Westfalen*

Das Kartenwerk (BK 50) liegt mit 72 gedruckten Kartenblättern (bzw. digital) und mit 15 als Farbplot verfügbaren Grenzblättern nahezu flächendeckend vor. Eine Karte deckt 4 TK 25 ab, also ca. 500 km<sup>2</sup>. Die Kartenprojektion ist eine Polyederprojektion. Der Gradnetzausschnitt jedes Kartenblattes wird als Trapez abgebildet, d. h. da die Erdoberfläche in Polyeder umgewandelt ist, wird der Netzentwurf praktisch verzerrungsfrei. Zusätzlich ist ein Gauß-Krüger-Gitternetz aufgedruckt.

Es gibt keine Erläuterungen, die Randaufstellung enthält folgende Angaben.

I. Bodeneinheiten: „Bodentypen, geol. Kennzeichnung“ einerseits und „Bodenartenschichtung in dm“ andererseits. Die Flächenfarbe kennzeichnet den Bodentyp, die anderen Informationen (s. o.) sind symbolhaft eingedruckt (Bodenartenschichtung) bzw. verbalisiert. Die Listung der Bodeneinheiten erfolgt in den Abteilungen der deutschen Bodensystematik.

II. Sonstige Angaben: Grenzen der Bodeneinheiten.

III. Wasserverhältnisse: A. Grundwasser (Mittlerer Stand unter Flur) und B. Staunässe.

Darüber hinaus sind jeder Bodeneinheit noch folgende Informationen beigelegt: „Wertzahlen nach der Bodenschätzung, allgemeine Kennzeichnung nach Ertrag, Bearbeitbarkeit, Nutzung, Vorkommen, Sorptionsfähigkeit, nutzbare Wasserkapazität, Durchlässigkeit und Grundwasserstand“.

Dieses – in der BRD einmalige – Kartenwerk sollte den steigenden Anforderungen der Praxis in NRW gerecht und „vor allem bei Fragen der Raumordnung, Bodennutzung und Landschaftspflege“ genutzt werden (MERTENS 1973, S. 61).

Auf Basis BK 50 NRW wird seit 1997 auch die „Karte der schutzwürdigen Böden in Nordrhein-Westfalen 1:50 000“ erstellt (s. SCHRAPS & SCHREY 1997). Diese soll künftig u. a. bei Planungen und naturschutzrechtlichen Eingriffsregelungen Verwendung finden (MUNLV 2007).

#### *Böden und Bodengesellschaften in den Bodenregionen nach BK 50 NRW*

Da die jeweilige BK 50 NRW hier nicht abgebildet werden kann, sollen Böden und Bodengesellschaften aus Geomorphogenese und Lithogenese abgeleitet werden, welche in der, jeder Karte beigegebenen, „Geologischen Übersicht“ entnommen werden können (s. hier Abb. 2, 3, 4 u. 6). Damit wird gleichzeitig die bodensoziologische Definition SCHLICHTINGS berücksichtigt, wonach eine „Bodenlandschaft“ als eine „durch Gesteinsinhalt und Reliefform ausgezeichnete geomorphe Einheit“ aufgefasst werden kann (1970, S. 4; vgl. a. SEMMEL 1996).

Die enge Beziehung von geologischer Bodenart (Korngröße, petrographische Zusammensetzung) und Bodentyp (Bodenzustand) unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen hat BÜLOW 1939 (S. 579) grundsätzlich formuliert, die Bedeutung der quartären Deckschichten für die Bodeneigenschaften haben ALTERMANN & WÜNSCHE (1991) herausgestellt.

Blatt L 4704 Krefeld (1969)

Die Böden des ersten Kartenwerk-Blattes gehören fast ausschließlich zur Bodenregion 2, nur punktuell zur Bodenregion 4 (s. o.). Geomorphogenetisch liegt eine pleistozäne Terrassentreppe vor, das Holozän ist nur östlich eines – in den Kartenausschnitt reichenden – Rhein-

Mäanders entwickelt, es besteht aus Auenlehm (Bodenart) und trägt typologisch einen Braunen Auenboden (A3). Löß wurde in der „Geologischen Übersichtskarte Maßstab 1:400 000“ nicht ausgewiesen (s. hier Abb. 2), er ist aber außerhalb der Rhein-Aue und der Niederterrasse vorhanden und wird in der „Geol. Kennzeichnung“ der BK 50 aufgeführt. Die beiden kleinen Stauchendmoränen sind Reliefformen eines Vorstoßes des nordischen Inlandeises während des Drenthe-Stadials (Saale-Eiszeit), nach NW bilden sie Höhenzüge, im Kartenausschnitt durchragen sie als Relikte – mit maximal 30 m relativer Höhe (Olsberg 60 m NN) – die weichselzeitliche Niederterrasse (vgl. a. SIEBERTZ 1987, Abb. 1).

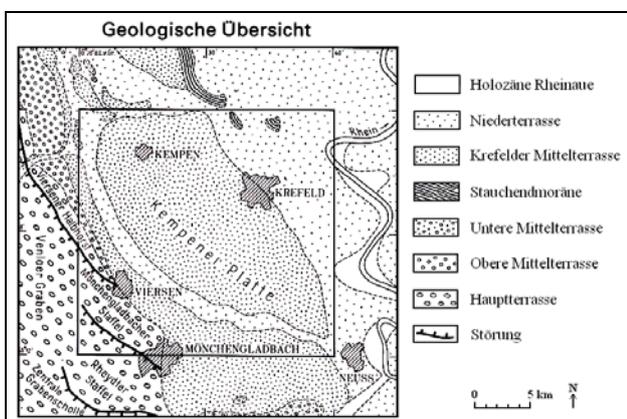


Abb. 2. Zur Geomorphogenese und Lithogenese auf BK 50 NRW Blatt L 4704 Krefeld (1969), leicht verändert

Die Lithogenese der fluvialen Ablagerungen hängt von der Materialherkunft und von der Sedimentation selbst ab. Während die holozänen Auenlehme (und die Hochflutsedimente auf der Niederterrasse) von einem mäandrierenden Rhein geschüttet wurden, sind die kaltzeitlichen Sedimente dem Verhalten eines sog. „braided river“ zuzuordnen, d. h. das hohe Belastungsverhältnis des Flusses führte ständig zur Akkumulation von Schotterbänken und damit zu Auslenkungen der Abfließbahnen. Darüber hinaus stellt eine Terrassentreppe wie diese, die zeitlich weit in das Pleistozän zurückreicht, auch eine Chronosequenz dar, so dass die Terrassenoberflächen noch (reliktische u. ggf. polygenetische) Paläoböden aufweisen können, welche dann Ausgangssubstrat für die holozäne Bodenbildung sind. So zeigen die Hauptterrassen am Niederrhein meist eine starke Verlehmung von rotbrauner Farbe, auch die Mittelterrassen sind paläopedologisch involviert, allerdings nicht so stark wie die HT (vgl. PAAS 1961). Natürlich muß auch mit periglazialen

Differenzierungen gerechnet werden (s. KAISER 1958). Oft wird der Untergrund aber durch eine jüngste äolische Überdeckung (Löß bis Sand) maskiert, so auch hier.

Die lithogenetische Besonderheit von Stauchendmoränen besteht darin, dass bei der Stauchung und Pressung durch das Eis spezifische, texturabhängige Strukturen (und Vorbelastungen) entstehen können, welche die nachfolgende Bodenbildung stark beeinflussen. In Brandenburg z. B. gibt es einen „Eutric Vertisol“ (Pelosol-Pseudogley) aus gestauchten glaziolakustrinen Sedimenten (BAURIEGEL et al. 2003, Profil G7/1), bei Krefeld sind die Stauchendmoränen sandig und daher (nur) zu Braunerden umgewandelt (B7 u. (p)B8).

Wichtig für die bodenkundliche Interpretation der geologischen Übersicht ist weiterhin, dass die Vertikalabstände der Mittel- und Niederterrasse(n) hier sehr klein sind, ein größerer Abstand tritt erst zur Hauptterrasse auf: Rhein vor Strom-km 764 = 32 m NN, Krefeld-Ost (Sportplatz) = 34 m NN, Krefeld-West (Nähe Hbf) = 38 m NN und Mönchengladbach NW (Trigonometrischer Punkt) = 72 m NN. Der Grund liegt darin, dass wir uns in nordwestlicher Richtung dem Punkt nähern, wo die erosionsbedingte Terrassentreppe in eine rein akkumulativ bedingte Terrassenstapelung übergeht. Die Flußbeintiefung konnte und kann die (dort stärkere) tektonische Senkung der Niederrheinischen Bucht nicht (über)kompensieren. Die Konsequenz ist ein hoher Grundwasserspiegel in der NT und in allen Mittelterrassen. Deshalb unterschied MÜCKENHAUSEN am Niederrhein prinzipiell zwischen grundwasserfernen und grundwassernahen Böden (1952).

Außerhalb der Verbreitung der Semiterrestrischen Böden und der Moore kann man aber die enge Beziehung zwischen geologischer Bodenart und Bodentyp bodensystematisch nutzen: die spätglazial-frühholozänen, lehmigen und carbonathaltigen Hochflutsedimente der NT des Rheins führten zu Parabraunerden, z. T. zu Gley-Parabraunerden (L4), ebenso die flachgründigen (8-13 dm) Löss über der – zu den Mittelterrassen zählenden – Krefelder Terrasse und die über der Hauptterrasse (= (s)L3, stellenweise pseudovergleyt). Alle geomorphologischen Eintiefungen in NT und MT enthalten bodentypologisch Gleye bzw. Moore, besonders die (Naht)Rinnen, welche die „Kempener Platte“ spindelförmig aus der Krefelder Terras-

se herausgeschnitten haben. Bei Verlassen bzw. Trockenfallen dieser Rinnen wurden Flugsande ausgeweht und parallel dazu abgelagert. Das typologische Resultat der Pedogenese sind (g)B8 und (p)B8.

Alle genannten „geomorphen Einheiten“ kann man bodensoziologisch i. S. SCHLICHTINGS (1970, S. 4) als eigenständige Bodengesellschaften bzw. als Bodenlandschaften auffassen: die grundwassernahen Böden (Gleye/G2-G8 u. Moore/H) eint das Wasserregime, die grundwasserfernen Böden der „Gesteinsinhalt“, und die weitgehend freie Perkolations des Bodenswassers. Bodensystematik und Bodensoziologie lassen sich zur Deckung bringen. Ob allerdings „im geomorphen Komplex Hügel- und Senkenbereich“ eine Zusammengehörigkeit von Böden existiert und damit auch eine „elementare Bodenlandschaft“ „durch eine Interdependenz der bodenbildenden Prozesse begründet“ wird (SCHLICHTING 1970, S. 5 u. 8), ist der BK 50 (u. der geol. Übersicht) nicht zu entnehmen. Von landschaftsökologischem Interesse wäre diese Frage allemal, weil in der westlichen Altrinne NNW Viersen (s. Abb. 2) fast durchgehend (mesotrophe) Niedermoore (H) entwickelt sind und diese von den Kanten der Mittelterrassen, vor allem aber von der lößbedeckten und ackerbaulich genutzten HT Importe gelöster Stoffe bekommen können und sich dadurch ihr Trophiezustand ändern würde – eine für den Naturschutz wichtige Frage.

Eine „elementare Bodenlandschaft“ existiert aber auf jeden Fall dort, wo die bodentypologische Ansprache eine „Parabraunerde, vereinzelt erodiert, Kolluvium, stellenweise Gley-Parabraunerde und Pseudogley-Parabraunerde“ (L, K3) räumlich ausweist. Diese großflächig N Mönchengladbach bis Viersen auf der Krefelder Terrasse kartierten Vorkommen lassen nur eine geomorphologisch-bodenkundliche (bodgeomorphologische) Interpretation zu: es sind die Abtragungsprodukte einer anthropogen induzierten Bodenerosion durch Wasser auf der Hauptterrasse. Der Feststofftransport über die relativ hohe Terrassenkante (ca. 30 m) erfolgte in kleinen Tälchen, als die flache Mittelterrasse erreicht war, kam es zur Ausbreitung von Schwemmfächern aus erodiertem Bodenmaterial (Bodensedimenten). Diese „elementare Bodenlandschaft“ könnte man bodensoziologisch als „Löß-Parabraunerde – Kolluvium – Landschaft“ bezeichnen.

In den „tiefhumosen“ Löß-Parabraunerden auf der Haupt- und den Mittelterrassen sah KOPP (1965) ein spätglaziales Schwarzerde-Relikt, also einen bioklimatisch korrelierten Bodentyp, der nur in erosionsfreien Plateaulagen überdauern konnte. Heute wird die Steppenboden-Theorie nicht mehr für alle – als Tschernosem klassifizierten – Böden akzeptiert, weil auch bisher unberücksichtigte Faktoren wie anthropogene Aktivitäten und Waldbrand eine bedeutende Rolle spielen können (s. ECKMEIER et al. 2007).

Blatt L 5308 Bonn (1983)

Die „Geologische Übersicht“ 1:300 000 der Abb. 3 zeigt einen komplexen Aufbau, die Zuordnung zu „Bodenregionen“ (s. o.) gestaltet sich vielfältiger als in Krefeld: das Holozän und die pleistozänen Terrassen (NT, MT, HT) gehören wieder zu Bodenregion 2 und das devonische Grundgebirge (mit lokal auflagerndem Tertiär) zu Bodenregion 11. Wollte man die tertiären und die pleistozänen Vulkanite (Siebengebirge u. Rodderberg) stärker integrieren, müssten alle Areale aus Festgestein zu Bodenregion 10 gezählt werden (s. z. B. Westerwald in Abb. 1).

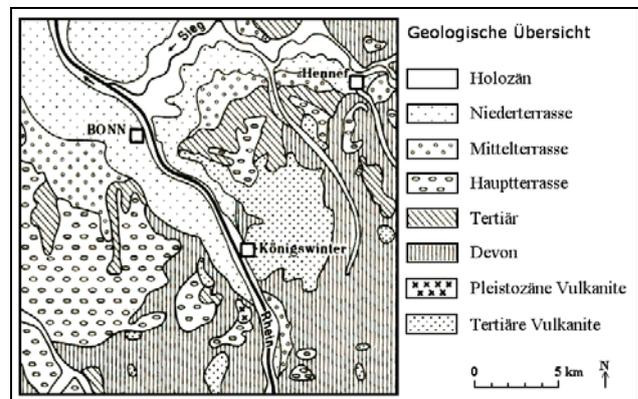


Abb. 3. Zur Geomorphogenese und Lithogenese auf BK 50 NRW Blatt L 5308 Bonn (1983), leicht verändert

In der Übersicht fehlt der Löß, er ist aber z. T. flächendeckend vorhanden. Nördlich Königswinter sollten wir eigentlich Bodenregion 6 ausweisen (vgl. Abb. 1). Während die – fast ausschließlich weichselzeitlichen – Löss auf den Mittel- und Hauptterrassen der Niederrheinischen Bucht größere Mächtigkeiten erreichen, werden diese bei Annäherung an das Rheinische Schiefergebirge geringer (max. 6-8 m), Verteilung und Mächtigkeit im Mittelgebirge sind expositionsbedingt, und oberhalb von 300 m NN tritt der Löß nur sporadisch auf. Der

Jungweichsellöß ist sehr kalkhaltig, im Mittel 15-17 % (JANUS 1988, S. 125). Die Verbreitung des Lösses kann man direkt der BK 50 entnehmen, weil sich die substratkorrelierten Parabraunerden L31 bis L33 darauf entwickelten.

Geomorphogenetisch erkennt man wieder eine Terrassentreppe an Rhein und Sieg, die holozäne Aue letzterer ist relativ breit, ein möglicher Grund: „Der hochwasserführende Rhein erzeugte im Unterlauf der Sieg stets einen beträchtlichen Rückstau mit der Folge ausgedehnter Mäanderbildungen“ (GRUNERT 1988, S. 179). Die Vertikalabstände sind groß: Rhein bei Kennedy-Brücke = 46 m NN, Bonner Marktplatz (NT) = 68 m NN, Mittelterrasse bei Dransdorf = 75 m NN und Hauptterrasse im Kottenforst zwischen 158 und 180 m NN. Der mittelpleistozäne Rodderberg-Vulkan SSE Bonn hat noch weitgehend seine – endogen bedingte – Form einer Caldera mit Kraterwall (bis 192 m NN) behalten, dagegen sind die Siebengebirgs-Vulkanite Trachyt, Latit und Basalt mit Höhen zwischen 321 m (Drachenfels) und 460 m (Gr. Ölberg) bei der allgemeinen Landabtragung als sog. geomorphologische Härtlinge aus ihrer weniger resistenten Gesteinsummantelung (bes. Trachyttuff) „herausgeschält“ worden. Devon und Tertiär sind flächenhaft durch Pediplanation und linienhaft durch Tiefenerosion abgetragen.

Die Lithogenese der Ausgangssubstrate ist bei Holozän, NT, MT und HT weitgehend geomorphogenetisch bedingt. Die Gesteinsbildung der Vulkanite ist magmatischer Natur, petrographisch von Quarztrachyt bis Alkalibasalt reichend (Siebengebirge) bzw. von leucitisch-nephelinitisch bis basanitisch (Rodderberg). Das Devon ist hier überwiegend mit den Herdorf-Schichten der Siegen-Stufe exponiert: schluffige geschieferte Tonsteine, gelegentlich mit Sandsteinbänken, „entfestigt und gebleicht“ (z. B. GK 25 Blatt 5309 Königswinter, 1995), d. h. saprolithisiert. Das Tertiär ist meistens tonig entwickelt, es kommen aber auch wechsellagernd Quarzfeinsande, Tone und Braunkohle vor. An den Hängen in o. g. Festgesteinen bilden periglaziäre Deckschichten das Ausgangsmaterial, deckschichtenfreie Kuppen der Siebengebirgs-Vulkanite sind sichtbar kryoklastisch aufbereitet (Frostkeile).

Die bodensystematische Einstufung der Böden bildet die Lithogenese oft 1:1 ab. Die Böden der holozänen Aue von Rhein und Sieg sind

texturell sehr heterogen (A3-A8). Die spätglazial-frühholozänen Hochflutsedimente auf der NT sind zu Braunerden und Parabraunerden umgewandelt. Während die MT des Rheins lößbedeckt ist, exponiert die Sieg-MT nur ihre Kiese und Sande für die Pedogenese mit dem bodentypologischen Resultat: dort Parabraunerde (L3), hier Braunerde (B7). Letztere erscheint auch auf der HT, wenn diese lößfrei ist. Das große, lößbedeckte Areal der Hauptterrasse links des Rheins S Bonn, der Kottenforst, trägt nun aber keine Parabraunerden, sondern fast ausschließlich lehmige Pseudogleye: die paläopedologische Verglebung der HT-Sedimente war so intensiv, dass die Fe- und Mn-Inkristationen einen großflächigen Staukörper bildeten, der möglicherweise einen carbonathaltigen Löß sehr schnell entkalken ließ. Hier wirkt also eine hydromorphe Pedogenese des Altquartärs in die – eigentlich terrestrische – Bodenbildung des Holozäns hinein. Pseudogleye sind auch häufig auf saprolithisiertem Devon, auf Tertiär-Ton und auf dem Trachyttuff, weil dieser sehr tonig verwittert ist (bes. Smectit). Die festen Vulkanite weisen alle Braunerden bzw. Ranker auf.

Auch auf Blatt Bonn führt die enge Beziehung von Lithogenese und Pedogenese bodensoziologisch zu einfach fassbaren Bodengesellschaften. Ob sich die topogen bedingten Pseudogleye des Kottenforstes noch weiter durch Eluviation bzw. Akkumulation von mobilisierten und lateral transportierten Soluten in „elementare Bodengesellschaften“ differenzieren lassen, muß offen bleiben, ausgeschlossen werden kann das nicht, zumal die Terrassenfläche ein – durch Hangpedimentation verursachtes (?) – Süd-Nordgefälle besitzt (s. o.). SCHWEIKLE (1971) konnte auf Flachformen mit ähnlichem Gefälle pedogenetisch wirksame Fe-Migration nachweisen.

Andererseits bietet die BK 50 von Bonn ein hervorragendes Beispiel für den – ebenfalls pedogenetisch wirksamen Prozeß – der Hangpedimentation: die anthropogen verursachte Boden-erosion hat in Lößarealen, von der jeweiligen Abflußbasis gesteuert, Hangkonkavitäten erzeugt, die von Rendzinen (R3) räumlich abgebildet werden – und dies in gesetzmäßiger Anordnung zur Vorflut. Oberhalb dieser Rendzinen (eigentlich Pararendzinen) findet man erodierte Parabraunerden, unterhalb Kolluvien (K3). Anschaulicher kann man den geomorpho-

logischen Prozeß und die Form des Reliefs – auf bodensoziologischer Grundlage – nicht demonstrieren (s. a. BORK et al. 1998, S. 144).

Blatt L 4508 Essen (1984)

Der Blattausschnitt hat Anteil an der Bodenregion 6 *Löß- und Sandlößlandschaften* und an der Bodenregion 11 *Berg- und Hügelländer mit hohem Anteil an Ton- und Schluffschiefen* (Abb. 1). Geologisch grenzt hier das varistische (rhenoherynische) Grundgebirge im Süden an das kretazische Deckgebirge der Westfälischen Bucht im Norden. Mit dem Begriff Oberkarbon sind die reichen Steinkohlen-Lagerstätten (Flöze) assoziiert, die nach Norden unter die Oberkreide abtauchen. „Löß und Sandlöß“ sind erstmals ausgewiesen (s. Abb. 4).

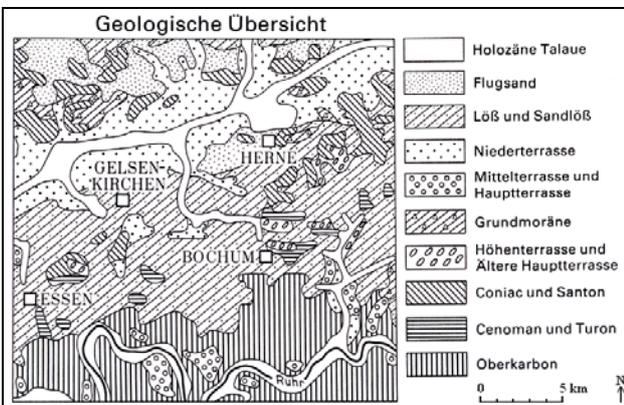


Abb. 4. Zur Geomorphogenese und Lithogenese auf BK 50 NRW Blatt L 4508 Essen (1984), leicht verändert

Geomorphogenetisch liegen Verebnungsflächen (Pediains) über Grund- und Deckgebirge vor. Die Täler sind in ersterem tiefer eingeschnitten, auch die Flußdicke ist größer als in letzterem. Die (aufgestaute) Ruhr hat am Austritt 52 m, die Hochflächen haben etwas mehr als 200 m Meereshöhe. Viele Tributäre der Ruhr folgen den SW-NE-streichenden, engständigen Faltenwürfen, die das Oberkarbon hier tektonisch differenzieren.

Ruhr und Emscher (N Gelsenkirchen u. Herne) unterschieden sich in ihrer geomorphologischen Wirkung erheblich voneinander: die Ruhr hat im Engtal ihre weichselzeitlichen Sedimente während des Spätglazials wahrscheinlich vollständig ausgeräumt, auch sind nur noch kleine Reste älterer Terrassen übrig geblieben. Dafür nimmt das Holozän den gesamten Talboden ein – oft in einer Breite von mehr als 1 km. Dagegen konnte die Emscher – wegen anderer Gefällsverhältnisse (?) – sowohl die Niederterrasse

als auch die holozäne Talau verhältnismäßig breit entwickeln.

Die Lithogenese der bodenbildenden Substrate kann man wieder aus den geomorphologisch bedingten Quartär-Sedimenten bzw. aus dem geologisch bedingten Grund- und Deckgebirge ableiten. Für die „Holozäne Talau“, die Nieder-, Mittel- und Hauptterrasse gilt prinzipiell das gleiche wie bei Krefeld und Bonn. Die „Grundmoräne“ (Saale) ist nur noch lokal (bes. im NW) erhalten. Angesichts der postsaalezeitlichen Oberflächenprozesse (Pedo- und Geomorphogenese) dürfte sie tiefgründig entkalkt sein und jetzt als „Geschiebedecksand“ vorliegen (vgl. ALTERMANN & WÜNSCHE 1991, Abb. 1). „Löß und Sandlöß“ – vom Niederrhein und aus dem Münsterland aufgeweht – nehmen eine geschlossene Fläche ein (Abb. 4) und reichen – als eigene Löß-Provinz – nach Osten über Soest bis nach Paderborn (s. MÜLLER 1959, Abb. 1). Das – intensiv gefaltete – Oberkarbon besteht hier überwiegend aus den flözführenden Namur C und Westfal A mit Schiefertonen und Sandsteinen. Die – sölige – Oberkreide liegt mergelig und kalkig (Cenoman u. Turon), aber auch mehr sandig (Coniac u. Santon) vor.

Bodensystematisch überwiegt entsprechend der Lößverbreitung Parabraunerde (L3), eine Mindestmächtigkeit des Substrats vorausgesetzt (vgl. dazu a. HOHNVEHLMANN 1963). Interessant im SE-Teil des Kartenausschnittes ist der engräumige Wechsel von B3 und bP7: es paust sich die mehr tonig-schluffige (B3) bzw. die mehr sandige (bP7) Fazies des Oberkarbon durch – exakt entlang der Faltenhöhen und der Faltenmulden. Der hohe Sandanteil der Emscher-Niederung (NT u. Oberkreide) bedingt B7 bis P8. Gleye besitzen eine weite Verbreitung, punkthaft existieren auch Niedermoore (Hn). Bodensystematik deckt sich wieder weitestgehend mit Bodensozioogie.

Der Steinkohle-Abbau hat eine entsprechende Inanspruchnahme von Bodenfläche mit sich gebracht. So findet man z. B. die Signaturen „Halden des Steinkohlebergbaus, z. T. rekultiviert“ und „mächtige Aufschüttungen von Müll, Schutt, Kraftwerksasche u. ä.“ auf allen Reliefformen der BK 50 Essen, mit einer gewissen Konzentration in der Emscher-Niederung E Gelsenkirchen. Auch das Problem der sog. Bergschäden dürfte sich pedologisch auswirken. Abb. 5 zeigt die lagerstättenkundliche Situation der Steinkohle.

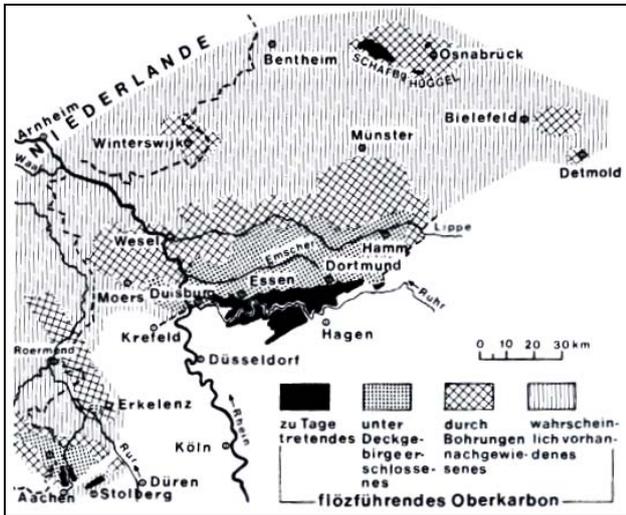


Abb. 5. Flözführendes Oberkarbon im Ruhrgebiet (aus HENNINGSSEN & KATZUNG 1992, Abb. 22), ergänzt.

Bis heute sind in dem 4 435 km<sup>2</sup> großen Ruhrgebiet ca. 9 km<sup>3</sup> Steinkohle einschließlich Bergematerial entnommen worden. Wenn man von 50 bis 90 % Senkungsvolumen ausgeht, ergäbe das eine Absenkung der Erdoberfläche von 4,7 bis 8,5 mm/Jahr. Maximalwerte von insgesamt 24 m sind bekannt. Pedologisch interessant sind die Veränderungen der Vorflut, die man mit hohem Energieaufwand (Pumpen) regulieren muss. Großflächige Vernässungen sind aber keine Seltenheit, am 26. Juli 2008 „ersoffen“ die Pumpen, ganze Stadtteile von Dortmund wurden überflutet.

Blatt L 5502 Monschau (1991)

Die Böden des – größtenteils belgisches Territorium umfassenden – Kartenblattes gehören ausschließlich zu Bodenregion 11 (Abb. 1). Die diagonale Beinahe-Zweiteilung ist geologischer Natur, darüber hinaus fällt im NW-Teil (= Hohes Venn) eine starke Vermoorung auf. Löß wurde nicht ausgewiesen, Lößlehm spielt aber stellenweise eine Rolle.

Die Geomorphogenese hat eine große Abtragungsfläche (Venn-Fußfläche) bei ca. 650 m NN hinterlassen, welche nach NW und nach SE auf 550 m NN abdacht. Höchste Erhebungen sind: Steling mit 658 m, Pannensterzkopf (Bovel) mit 659 m und Botrange mit 700 m Meereshöhe. Das spricht für eine postgenetische tektonische Aufwölbung bzw. Verbiegung. Die Täler sind V-förmig und terrassenlos eingeschnitten, im SE-Teil (zur Rur) tiefer und häufiger als im NW-Flügel (zur Vesdre). Ein geomorphologisches Unikum stellen die ausgedehnten, teilweise unter Naturschutz stehenden,

„Hoch- und Übergangsmoore“ auf den höchsten Bereichen der Venn-Fußfläche dar. Die Niederschläge sind generell hoch, über 1 000 mm/a (Botrange: 1 400 mm/a). Austorfungen (hU5) spielen flächenmäßig eine nicht unerhebliche Rolle. Die Entstehung der für Moorbildung nötigen Hohlformen wird mit kaltzeitlichen Pingos (Hydrolakkolithen) oder/und mit Palsas (Frostaufwölbungen mit Torfmantel u. mineralischem Kern) erklärt. MÜCKENHAUSEN beschrieb – in Hangrichtung verlaufende – Rinnen als Pingos (1960). Der belgische Geomorphologe Albert PISSART hat den Begriff „Lithalsas“ eingeführt und einige periglaziale Relikte im Hohen Venn zeitlich in die Jüngere Dryas datiert (2003).

Die Lithogenese wird bestimmt durch die Petrographie des paläozoischen Untergrundes. Kambrische (schwarzglänzende) Tonschiefer, phyllitische Schiefer und dunkle Quarzite sind als älteste Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges im Hohen Venn exponiert, weil die varistische Orogenese hier einen großen Sattelaufbruch (Venn-Sattel) erzeugte, in dem sich sogar eine granitische Schmelze zu vulkanischem Tonalit differenzierte (s. Abb. 6). Östlich der rheinisch streichenden „Überschiebung“ (s. Abb. 6) ist ein schmaler Saum jüngerer (ordovizischer) Ton- und Bänderschiefer bzw. Quarzite entwickelt, bevor dann unterdevonische Tonschiefer mit Sandsteinbänken flächendeckend anstehen. Diskordant auflagerndes Perm (Grobe Konglomerate in rotem kalkig-tonigem Bindemittel) und auch etwas Tertiär bei Malmedy nehmen nur kleine Flächen ein. Bei der „Geologischen Kennzeichnung“ der Bodeneinheiten führt die BK 50 häufig noch „präpleistozäne Verwitterungs- und Plastosolrelikte“ an, generell dürften alle Gesteinsoberflächen aber auch mit quartären Deckschichten (Lagen) überzogen sein (vgl. dazu z. B. FELIX-HENNINGSSEN et al. 1991).

MÜCKENHAUSEN hat dieses Gebiet schon früh unter bodensystematischen und bodensoziologischen Gesichtspunkten aufgenommen und charakterisiert (1951). Sein „Schematisches Bodenlängsprofil vom Hohen Fenn nach Nordosten“ (Abb. 3a, S. 112) enthält das, was wir heute quartäre Deckschichten nennen, ebenso wie die tertiären Verwitterungsreste, welche zusammen das eigentliche Ausgangssubstrat der holozänen Bodenbildung abgeben. Da die Böden reliefkonform dargestellt sind, könnte man die

podsoligen Böden bzw. die mit geringer Basensättigung im – lösungsschemischen – Abtragungsbereich (Kuppe, Hang) mit den Gleyen im Tal auch als „elementare Bodengesellschaften“ interpretieren. SCHLICHTING hat einen solchen bodensoziologisch-bodengenetischen Zusammenhang später „im geomorphen Komplex Hügel- und Senkenbereich“ der „Podsol-Gley-Landschaft“ verifizieren können (1965; s. a. 1970).

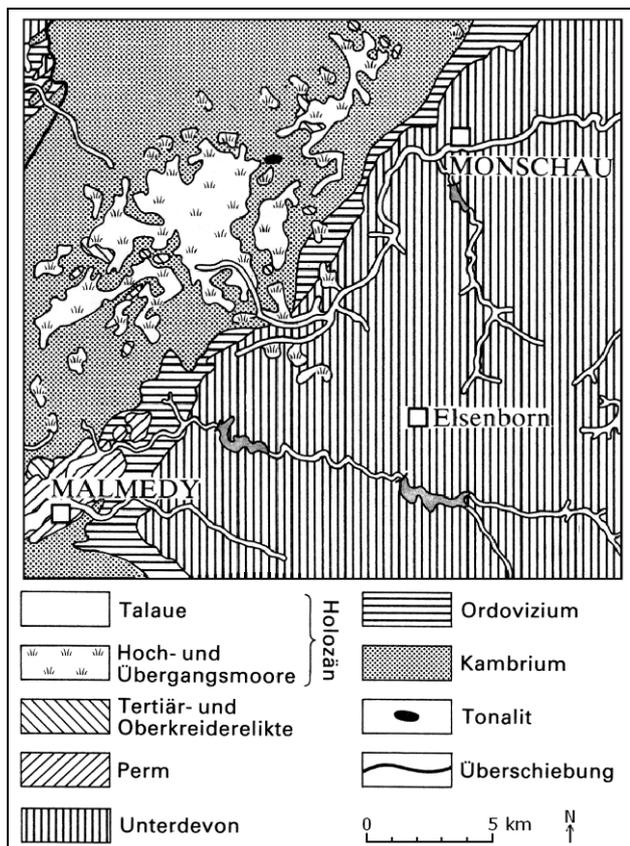


Abb. 6. Zur Geomorphogenese und Lithogenese auf BK 50 NRW Blatt L 5502 Monschau (1991), leicht verändert

Die Bodendecke des Kartenausschnitts lässt sich analog der geologischen Gliederung zweiteilen: Das Hohe Venn trägt neben den Mooren (Hn, Hü, Hh) überwiegend Pseudogleye und Stagnogleye (S3), während die ordovizisch-unterdevonischen Sandsteinbänke eine höhere Permeabilität und damit die Ausbildung von Braunerden (B3) gestatten. Bodensystematik und Bodensoziologie stimmen gut überein.

#### Bemerkungen zur Bodenvergesellschaftung (Bodensozioologie)

Die Darstellung der Böden und Bodengesellschaften in Nordrhein-Westfalen anhand ausgewählter BK 50 zeigt, daß zur Kennzeichnung von Bodengesellschaften – je nach Zielsetzung – verschiedene Wege möglich sind.

1. In der Geographie interessiert natürlich besonders der mögliche Zusammenhang zwischen der (ggf. klimagenetischen) Reliefentwicklung und der Vergesellschaftung wichtiger Böden. Rumpfflächen- und Tallandschaften mit Relikten von Saproolithen/Paläoböden einerseits und Bodenchronosequenzen andererseits – als Ausgangssubstrat für die holozäne Pedogenese – sind dafür ein Beispiel (s. SEMMEL 1996).

2. In der Bodengenetik ist die Aufhellung der Beziehung bodenbildende Faktoren/Bodentyp unverzichtbar. Da mitteleuropäische Böden typologisch stark mit der geologischen Bodenart korrelieren (s. BÜLOW 1939), ergibt sich hinsichtlich der Bodenvergesellschaftung eine ebenso starke Anlehnung an den lithogenen Hintergrund.

3. In der Landschaftsökologie sind – räumlich unterschiedliche – Trophie-Zustände wichtig, zumal diese durch laterale Lösungstransporte geändert werden (können). „Die Geochemie der Landschaften“ (GLASOWSKAJA 1962) ist ein wesentliches Kennzeichen warmzeitlicher, geomorphologisch stabiler Landschaften. Ob der permanente laterale Solutentransport letztlich auch zu bodensystematisch unterschiedlichen Bodeneinheiten führt, ist wiederum von der geologischen Bodenart abhängig: „Die Raseneisenbildung in der nordwestdeutschen Podsol-Gley-Landschaft“ (SCHLICHTING 1970) ist sicher nicht 1:1 in andere Landschaften übertragbar, schon in der Geest sind Stoffverteilung und Stoffverlagerung sehr unterschiedlich (vgl. REENTS 1982). Bodenerosion – als Ausdruck anthropogen induzierter, geomorphologischer Instabilität – führt dagegen schnell zur Vergesellschaftung verschiedener bodensystematischer Einheiten.

Eine moderne Bodensozioologie und Klassifizierung von Bodengesellschaften berücksichtigt dies auch (SCHMIDT 1997 u. 1999).

#### Ausblick

In der 4. Studienrichtung „Naturschutz und Landschaftsökologie“ des Studiengangs Agrarwissenschaften an der Universität Bonn wird die Übung „Bodenkundlich-geoökologische Karteninterpretation“ angeboten, in der nordrhein-westfälische Bodenkarten entsprechend interpretiert werden (BOTSCHKEK & SKOWRONEK 1992).

Die BK 50 Krefeld wurde ökologisch ausgewertet (DAHMEN & DAHMEN 1973), die BK 50 Bonn war Grundlage für die Entwicklung der BÜK 200 von Deutschland/NRW-Teil (RICHTER et al. 1997).

## Literatur

ALTERMANN, M. & M. WÜNSCHE (1991): Ausgangsgesteine und Bodeneigenschaften. – Z. geol. Wiss. 19: 3-12.

BAURIEGEL, A., M. GRÜLL, J. HERING & M. KAYSER (2003): Exkursion G7: Die Bodengesellschaften der Stauchmoränengebiete Ostbrandenburgs. – Mitt. DBG 100: 155-168.

BLUME, H.-P. (2001): Bodenentwicklung und Bodenverbreitung. Die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft von 1951 bis 1973. – In: BLUME, H.-P. (Hrsg.), 1926-2001 75 Jahre Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft. – Mitt. DBG 97: 45-68.

BORK, H.-R., H. BORK, C. DALCHOW, B. FAUST, H.-P. PIORR & T. SCHATZ (1998): Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften. – Gotha u. Stuttgart, 328 S.

BOTSCHKE, J. & A. SKOWRONEK (1992): Zur Anwendung von Bodenkarten bei landschaftsökologischen Fragestellungen. – Bonner Geogr. Abh. 85: 31-44.

BÜLOW, K. VON (1939): Bodenart und Bodentyp in geologischer Betrachtung. – Z. dt. geol. Ges. 91: 575-580 u. 642.

DAHMEN, W. & G. DAHMEN (1973): Eine ökologische Auswertekarte zur Bodenkarte 1:50 000 für Zwecke der Landschaftspflege und Nutzungsplanung. – Niederrheinisches Jahrbuch 12: 63-69.

ECKMEIER, E., R. GERLACH, E. GEHRT & M. W. I. SCHMIDT (2007): Pedogenesis of Chernozems in Central Europe – A review. – Geoderma 139: 288-299.

FELIX-HENNINGSEN, P., E.-D. SPIES & H. ZAKOSEK (1991): Genese und Stratigraphie periglazialer Deckschichten auf der Hochfläche des Ost-Hunsrücks (Rheinisches Schiefergebirge). – Eiszeitalter u. Gegenwart 41: 56-69.

GLASOWSKAJA, M. A. (1962): Die Geochemie der Landschaften, ihre Aufgaben und Untersuchungsmethoden. – Geogr. Ber. 23: 201-208.

GRUNERT, J. (1988): Geomorphologische Entwicklung des Bonner Raumes. – Arb. z. Rhein. Landeskd. 58: 165-180.

HARTWICH, R., J. BEHRENS, W. ECKELMANN, G. HAASE, A. RICHTER, G. ROESCHMANN & R. SCHMIDT (1995): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1 000 000. Karte mit Erläuterungen, Textlegende und Leitprofilen. – Hannover (BGR), 43 S.

HOHNVEHLMANN, J. (1963): Vergesellschaftung, Entstehung und Eigenschaften der Böden im Soester Hellweggebiet. – Diss. Landw. Fak Univ. Bonn, 120 S.

JANUS, U. (1988): Löss der südlichen Niederrheinischen Bucht. – Kölner Geogr. Arb. 49: 1-171 [= Dissertation].

KAISER, K. (1958): Wirkungen des pleistozänen Bodenfrostes in den Sedimenten der Niederrheinischen Bucht. Ein Beitrag zur Kenntnis der Periglazialerscheinungen der Rheinlande. – Eiszeitalter u. Gegenwart 9: 119-129.

KOPP, E. (1965): Über Vorkommen „degradiierter Steppenböden“ in Lößgebieten des Niederrheins und Westfalens und ihre Bedeutung für die Paläobodenkunde und Bodengenese. – Eiszeitalter u. Gegenwart 16: 97-112.

MAAS, H. & E. MÜCKENHAUSEN (1971): Erläuterungen zur Karte „Böden“. – Deutscher Planungsatlas, Band I: Nordrhein-Westfalen, Lieferung 1, Text, Hannover (Gebr. Jänecke), 29 S.

MERTENS, H. (1973): Die Bodenkarte 1:50 000 von Nordrhein-Westfalen. – Niederrheinisches Jahrbuch 12: S. 55-61.

MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2007): Schutzwürdige Böden in Nordrhein-Westfalen. – Düsseldorf, 42 S.

MÜCKENHAUSEN, E. (1951): Die Böden der Nord-eifel. Ein Beispiel für Bodengesellschaften und ein Beitrag zur Bodengenetik und zur regionalen Bodenkunde. – Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 54: 97-117.

MÜCKENHAUSEN, E. (1952): Die Böden des linken Niederrheins. – Der Niederrhein 19: 72-77.

MÜCKENHAUSEN, E. (1960): Eine besondere Art von Pingos am Hohen Venn/Eifel. – Eiszeitalter u. Gegenwart 11: 5-11.

MÜCKENHAUSEN, E. & H. WORTMANN (1954): Die Böden Nordrhein-Westfalens. – Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 67: 97-116.

MÜCKENHAUSEN, E. & H. WORTMANN (1958): Erläuterungen zur Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen 1:300 000. – Krefeld, 144 S.

MÜLLER, E.-H. (1959): Art und Herkunft des Lösses und Bodenbildungen in den äolischen Ablagerungen Nordrhein-Westfalens unter Berücksichtigung der Nachbargebiete. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 4: 255-265.

- PAAS, W. (1961): Rezente und fossile Böden auf niederrheinischen Terrassen und deren Deckschichten. – *Eiszeitalter u. Gegenwart* 12: 165-230.
- PISSART, A. (2003): The remnants of Younger Dryas lithalsas on the Hautes Fagnes Plateau in Belgium and elsewhere in the world. – *Geomorphology* 52: 5-38.
- REENTS, H.-J. (1982): Die Abgrenzung von Bodengesellschaften aufgrund funktionaler Beziehungen zwischen Böden – dargestellt an zwei Beispielen aus der nordwestdeutschen Geestlandschaft. – Diss. Landw. Fak. Univ. Bonn, 231 S.
- RICHTER, K., A. SKOWRONEK, W.-G. SCHRAPS, W. PAAS & R. ROTH (1997): Zur Entwicklung der Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200 000 aus der Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:50 000. – *Mitt. DBG* 85: 1207-1210.
- RUHE, R. V. (1960): Elements of the soil landscape. – *Tranact. 7<sup>th</sup> Intern. Congr. Soil Sci.* V: 165-170.
- SCHLICHTING, E. (1965): Die Raseneisenbildung in der nordwestdeutschen Podsol-Gley-Landschaft. – *Chem. Erde* 24: 11-26.
- SCHLICHTING, E. (1970): Bodensystematik und Bodensoziologie. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 127: 1-9.
- SCHMIDT, R. (1997): Grundsätze der Bodenvergesellschaftung. – *Handbuch der Bodenkunde* 3. Erg. Lfg. 11/97, 23 S.
- SCHMIDT, R. (1999): Klassifikation von Bodengesellschaften. – *Handbuch der Bodenkunde* 7. Erg.Lfg. 12/99, 18 S.
- SCHRAPS, W. G. & H. P. SCHREY (1997): Schutzwürdige Böden in Nordrhein-Westfalen – Bodenkundliche Kriterien für eine flächendeckende Karte zum Bodenschutz. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 160: 407-412.
- SCHWEIKLE, V. (1971): Die Stellung der Stagnogleye in der Bodengesellschaft der Schwarzwaldhochfläche auf  $s_0$  – Sandstein. – Diss. FB Agrarbiol. Univ. Hohenheim, 103 S.
- SEMMEL, A. (1996): Bodentragende Landschaften. – *Handbuch der Bodenkunde* I, 21 S.
- SIEBERTZ, H. (1987): Glaziale Serie und glaziäre Zyklen im Niederrheingebiet. – *Der Niederrhein* 54: 153-160.
- STAHR, K. (1990). Stoffverlagerung in Böden und Landschaften (Transport processes in soils and landscapes). – *Hohenheimer Arb., Tagungsband (= Gedächtniskolloquium „Ernst Schlichting“, Memorial Workshop)*, S. 58-68.
- Karten
- Geologische Übersichtskarte 1:400 000 der BK 50 – L 4704 Krefeld (1969).
- Geologische Übersichtskarte 1:300 000 der BK 50 – L 5308 Bonn (1983).
- Geologische Übersichtskarte 1:300 000 der BK 50 – L 4508 Essen (1984).
- Geologische Übersichtskarte 1:300 000 der BK 50 – L 5502 Monschau (1991).

## Klima und Vegetation in Nordrhein-Westfalen

Stephen Wagner

Klima

Zonale Einordnung

Nordrhein-Westfalen (NRW) liegt nach LAUER & FRANKENBERG (1987) in den warmgemäßigten Mittelbreiten mit maritim-semihumider Prägung und ozeanischem Einfluss. Die im Jahresverlauf relativ geringen Temperaturschwankungen sind in östlicher Richtung bei zunehmend subatlantisch-kontinentalem Einfluss stärker ausgeprägt (BÖHM, 1999). Atlantische Großwetterlagen führen mit ihren Zyklonen hohe Niederschläge aus dem Westen heran, die insbesondere in Staulagen der Mittelgebirge zu feucht-milden Verhältnissen führen. Im Winter dominiert polar-maritime Kaltluft, wobei kontinentale Luftmassen strenge Fröste bewirken.

Im Frühjahr führt geringe Bewölkung zu ungehinderter Strahlungszufuhr und nachfolgender Erwärmung, während die Sommer bei Hochwetterlagen anhaltend trocken-warm, bei Luftzufuhr aus dem Mittelmeerraum aber auch von Feuchtfronten – häufig in Begleitung von Gewittern – durchzogen sind (BÖHM, 1999).

Niederschlag und Wasserbilanz

Die Niederschlagsverteilung der mittleren Jahressumme wird in NRW wesentlich durch ozeanische Luftmassen und die Lage der Mittelgebirge geprägt. Während im Flachland im jährlichen Mittel etwa 700 bis 900 mm Niederschlag fallen, sind es in exponierten Hochlagen des Rheinischen Schiefergebirges bis zu 1400 mm (mit Sekundär-Maxima im Winter), die je nach saisonalem Witterungsverlauf erheblich schwanken können (BÖHM, 1999). So fallen im Hohen Venn ganzjährig bis zu 1400 mm Niederschlag. Im Sommer kommt es häufig zu Gewitterregen. Im Winter hingegen sind Schneedecken mit bis zu 50 cm Mächtigkeit keine Seltenheit (KNEIPS, 1998). In Tälern werden die Maxima im Sommer erreicht (BÖHM, 1999).

---

Dipl.-Geogr. Stephen Wagner, INRES – Bodenwissenschaften, Universität Bonn, Nußallee 13, 53115 Bonn, e-mail: stephen.wagner@uni-bonn.de

Am Beispiel der Klimastation Bonn-Friesdorf ist erkennbar, dass die Niederschläge im Jahresverlauf nur geringfügig schwanken, wobei die Maxima von Juli bis August und zwischen November und Januar kaum ausgeprägt sind. Der mittlere Jahresniederschlag lag nach MÜLLER-WESTERMEIER (1996) zwischen 1961 und 1990 bei 681 mm (Abb. 1).

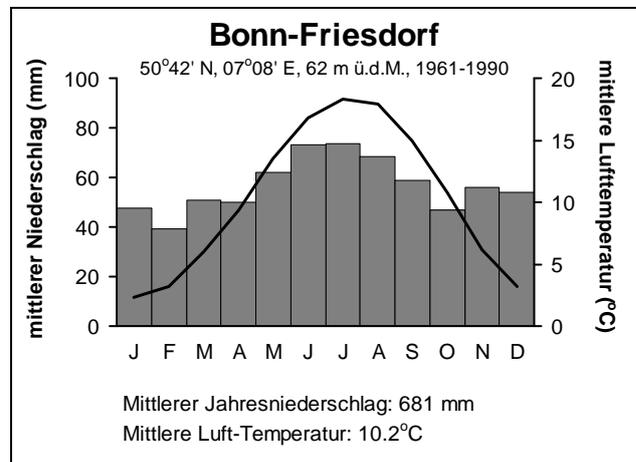


Abb. 1. Niederschlags- und Temperaturverteilung im Jahresverlauf am Standort Bonn-Friesdorf nach MÜLLER-WESTERMEIER (1996)

Die Anteile von Abfluss und Verdunstung an den Niederschlägen schwanken insgesamt nur geringfügig; vergleichsweise größere Unterschiede sind lediglich zwischen den Hochlagen der Mittelgebirge und dem Tiefland feststellbar (BÖHM, 1999). Der relative Abfluss nimmt mit der Höhe zu und beträgt in den Hochlagen etwa 70 % des Gesamt-Niederschlags, in der Niederrheinischen Bucht und im Münsterland hingegen weniger als 20 %. Zu höheren Verdunstungsverlusten kommt es in den Tiefländern, so etwa im Neuwieder Becken sowie in der Niederrheinischen und Münsterländer Bucht. Sie werden durch eine höhere Feldkapazität der auf periglazialen Sedimenten wie Löss und Sandlöss entwickelten Böden ausgeglichen. Die jährliche Abflussmenge liegt hier z. T. unter 150 mm. In exponierten Höhenlagen werden hingegen Abflussmengen von über 700 mm erreicht (BÖHM, 1999).

Zu den im Jahresverlauf höchsten Abflüssen kommt es im ozeanisch geprägten Mittel- und Niederrheingebiet, wenn auf wassergesättigten Böden die Schneeschmelze im Februar zu Oberflächenabfluss führt. Die Zuflüsse des Rheins transportieren von November und April hohe Abflussmengen, wodurch es stellenweise zu Überflutungen kommt. Die geringsten Abflussmengen gibt es hingegen in trockenen Pe-

rioden mit zumeist antizyklonalen Südlagen im September und Oktober, wenn das Bodenwasser durch Vegetation und Verdunstung weitgehend verbraucht ist (BÖHM, 1999).

### Lufttemperaturen

Im Jahresmittel liegt die Temperatur für ganz NRW bei durchschnittlich 9.1°C (LÖBF, 2005) und schwankt im Jahresverlauf mit einer Temperatur-Amplitude von etwa 16°C eher wenig. Dies beruht auf der weitgehend ozeanischen Prägung des Klimas mit anhaltender Zufuhr milder Atlantikluft (BÖHM, 1999; MPI-M, zit. in GERMANWATCH, 2006). So liegen etwa in der Niederrheinischen Bucht die Temperaturen im Januar-Mittel bei 0-3°C, wobei insbesondere im tief eingeschnittenen Rheintal Frosttage und Schneedecken selten sind. Im Sommer werden hier häufig Werte über 25°C erreicht (BÖHM, 1999). Dies spiegelt den starken Einfluss des Reliefs auf den Temperaturverlauf wieder. Im Jahresmittel wird etwa in Bonn-Friesdorf eine Temperatur von 10.2°C erreicht, wobei die Monatsmittel zwischen 2.3°C im Januar und 18.3°C im Juli liegen (Abb. 1; nach MÜLLER-WESTERMEIER 1996). Durch die Gunstlage des Rheintals gehört der Raum Köln-Bonn zu den wärmsten Gebieten in Deutschland (KLUG, 1954). Hingegen wird im Jahresmittel auf dem Kahlen Asten (841 m ü. d. M.) im Rothaargebirge eine Temperatur von lediglich 4,8°C erreicht (GLÄSER et al., 1997). In Hanglagen der Mittelgebirge kommt es durch nächtliche Strahlungsabkühlung zu ausgeprägten Temperaturinversionen mit der Ansammlung von Kaltluft in Tal- und Muldenlagen (GLÄSER et al., 1997).

### Großstadtklima im Ruhrgebiet

Im städtischen Ballungsraum des Ruhrgebiets (5 233 593 Einwohner [31.12.2007], 4 434,68 km<sup>2</sup>, 1 180 Einw./km<sup>2</sup>) ist der Einfluss des Menschen auf das Klima durch Bebauung und flächenhafte Bodenversiegelung besonders ausgeprägt (KUTTLER & BARLAG, 2003). Zu nennen sind insbesondere die damit einhergehende Rückdrängung der Vegetation, die ausgeprägte dreidimensionale Strukturierung, aber auch die Zufuhr industriell und gewerblich genutzter Luft und von Abwärme. Infolgedessen ändern sich die atmosphärische Zusammensetzung, der Strahlungs- und Wärmehaushalt und der Luftaustausch mit dem Umland, was allgemein als „Stadtklima“ bezeichnet wird (KUTTLER,

2000). So wirken Gebäude als nächtliche Wärmespeicher, während erhöhte Oberflächenrauigkeit zu reduzierten Windgeschwindigkeiten und damit eingeschränkter Frischluftzufuhr führt, was bei Inversionswetterlagen zur Anreicherung von Luftschadstoffen führen kann. Die im Vergleich zum Freiland geringere oder fehlende Vegetation führt durch geringere Luftfeuchtigkeit zu höheren Temperaturen. Dieser Prozess wird durch großflächige Versiegelung und damit bedingtem schnellem Abfluss von Niederschlägen in die Kanalisation noch verstärkt. Darüber hinaus tragen auch Heizungen und Klimaanlage sowie Industrie und Straßenverkehr zur Aufheizung der Stadtluft bei (KUTTLER & BARLAG, 2003; REGIONALVERBAND RUHR, 2009).

### Potenzielle und reale Vegetation

Die potenziell natürliche Vegetation wird im Wesentlichen von klimatischen Faktoren gesteuert und hängt daher von der Niederschlags- und Temperaturkurve im Jahresverlauf ab. Für NRW ist das maritim-semihumide Klima mit ozeanischen Einflüssen entscheidend, während kontinentale Einflüsse in südöstlicher Richtung zunehmen. Neben der topographischen Lage und der lokalen Klima-Ausprägung bestimmen auch Bodeneigenschaften die potenziell natürliche Vegetation (BÖHM, 1999). Hierauf soll nachfolgend kurz eingegangen werden.

In Talauen des Rheinischen Schiefergebirges mit Böden über basenarmen Ausgangsgesteinen sind potenziell Hainsimsen-Buchenwälder (*Luzulo-Fagetum*) (LUA, 1999) mit Stechpalmen im Unterwuchs verbreitet. Sie werden auf süd-exponierten, flachgründigen Böden durch Traubeneichen (*Quercus petraea*) ergänzt (BÖHM, 1999). Aus der Niederwaldwirtschaft gingen hieraus z. T. Eichen-Birkenwälder hervor. In ebenen Lagen wurde die natürliche Vegetation jedoch weitgehend durch Grünland- und Acker-nutzung verdrängt, während exponierte Hänge heute meist Fichten (*Picea abies*) oder – auf nährstoffarmen und trockenen Standorten – Waldkiefern (*Pinus sylvestris*) und Douglasien (*Pseudotsuga menziesii*) bestanden sind (BÖHM, 1999; LUA, 1999). Oberhalb von 600 m ü. d. M. ist die Vegetation ärmer, dabei wird die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) von Traubeneichen und Hängebirken (*Betula pendula*) verdrängt (BÖHM, 1999).

In der Niederrheinischen und Münsterländer Bucht bilden in Höhenlagen bis zu 200 m ü. d. M. dicht stehende und lichtarme Perlgras-, Drahtschmielen- und Tiefland-Buchenwälder mit Rotbuchen die potenzielle natürliche Vegetation (BÖHM, 1999). Strauchschicht und Pflanzenbestand sind hier mit Ausnahme trockenwarmer Lagen meist artenarm. Die Standorte decken sich weitgehend mit der Verbreitung von Parabraunerden und Pseudogleyen auf Löss, die aufgrund ihres hohen Ertragspotenzials jedoch meist landwirtschaftlich genutzt werden. Feuchtere Standorte mit staunassen Böden und häufigen Spätfrösten werden hingegen von vergleichsweise robusteren Stieleichen (*Quercus robur*), Hainbuchen (*Carpinus betulus*), Erlen (*Alnus*) und Eschen (*Fraxinus*) besiedelt (BÖHM, 1999).

In der Münsterländer Bucht sind ausserdem Nieder- und Hochmoore sowie Birken-Stieleichenwälder als potenzielle Vegetation zu nennen (BÖHM, 1999). Die Stieleichen werden hier durch Hängebirken und Ebereschen (*Sorbus aucuparia*) ergänzt, die an die vergleichsweise hohe Bodenacidität und Vernässung gut angepasst sind. Durch intensive Nutzung wurden diese jedoch später großflächig von Calluna-Zwergstrauchheiden (*Calluna vulgaris*) besiedelt, die mit ihrer schwer zersetzbaren Streu zur Podsolierung der Böden beitragen (BÖHM, 1999).

Die trockeneren Standorte des Hohen Venn waren vor Beginn ihrer Nutzung im 15. Jh. (RASKIN & MISERÉ, 2005) durch den Menschen von Rotbuchenwäldern bedeckt, während in feuchteren Lagen Erlen- und Birkenbruchwälder sowie Moore die natürliche Vegetation bildeten. Kleinere Flächen der Hochmoore sind auch heute noch von natürlicher Vegetation (*Sphagnetum*) bedeckt, während auf Niedermooren Binsen (*Juncus*) und Seggen (*Carex*) dominieren (KNEIPS, 1998). Nach intensiver Nutzung wurden die einst bewaldeten Flächen vor etwa 200 Jahren zunächst mit Kiefern, in der Folge jedoch größtenteils mit Fichten-Monokulturen aufgeforstet. Weniger verbreitet sind die meist von Stieleichen besiedelten Misch- oder reinen Laubwälder. Auf den heute nicht mehr bewirtschafteten Heiden- und Niedermoorflächen entwickelt sich die Vegetation nach einsetzender Verbuschung mit Weiden (*Salix*) als Pioniergehölzen heute tendenziell zu Eichen-Birkenwäldern oder zu Bruchwäldern (KNEIPS, 1998).

## Wald

Nach Angaben des LÖBF (2005) sind etwa 27 % der Landesfläche von NRW bewaldet, wobei größere Anteile auf die Eifel, das Sauerland und das Weserbergland fallen. In niederen Lagen kommen meist Eichen und Kiefern vor; in Hügellagen treten Buchen hinzu, während oberhalb von 400 m Fichten dominieren. Die heutige Verbreitung der Baumarten geht auf Standorteigenschaften und die Nutzung des Waldes durch den Menschen zurück, wobei Nadelbaumarten erst in den vergangenen 200 Jahren eingeführt wurden. Die frühere Dominanz der Buchen wurde später in Niederwäldern durch die als Bauholz-Lieferant dienende Eiche abgelöst. Hingegen finden sich im Tiefland und auf sandigen Böden meist Kiefern. In Mittelgebirgslagen dominiert heute hingegen die ebenfalls durch den Menschen verbreitete Fichte.

Die Anfang der 90er Jahre als unzureichend festgestellte Nährstoffversorgung der Waldböden hat sich in der Folgezeit wieder verbessert, wobei die Bestände von Fichten und Kiefern zuletzt nicht flächendeckend mit Kalium bzw. Magnesium versorgt waren. In Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung wurde hingegen eine ausgeprägte Stickstoff-Übersättigung von Kiefern, Buchen und Eichen festgestellt, die erst in den letzten Jahren erkennbar abgenommen hat (LÖBF, 2005).

Durch veränderte Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse wird die Verbreitung (sub-)mediterraner Arten begünstigt. Davon sind neben den Tiefländern großer Flusstäler (Rhein, Sieg, Lippe) mittlerweile auch die Mittelgebirge betroffen (MUNLV, 2007; LANUV, 2008). Es kommt dadurch zu Arealverschiebungen von Arten und Ökosystemen, in dessen Zuge einheimische Arten mit engem ökologischem Toleranzbereich – z. B. kalte- und feuchteliebende Arten oder solche mit eingeschränkter Migrationsfähigkeit – von Neophyten verdrängt werden (MICHELS, 2008). Beispielhaft seien hier die Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Späte Traubenkirsche (*Prunus serotina*) genannt. Die Ansiedlung von Robinien bewirkt eine Aufdüngung des Bodens mit Stickstoff (KOWARIK, 2003), wodurch insbesondere mesophile Arten verdrängt werden. In NRW sind neben aufgekalkten Flächen die Brachflächen der Magerrasen und Weinbergsbrachen im Siebengebirge betroffen. Die auf nährstoffarmen Sandböden im Niederrhein und Münsterland verbreitete

Späte Traubenkirsche trägt mit ihrer stark schattenden Strauchschicht – insbesondere in Waldrandgebieten – zur Abwanderung Lichtliebender Waldbewohner bei (MICHELS, 2008). Zudem wird damit die natürliche Verjüngung des Bestands behindert.

### Grünland

Wiesen und Weiden weisen je nach Standortverhältnissen charakteristische Artenzusammensetzungen auf. Hier nahm durch die intensivierte Grünland-Nutzung die Artenvielfalt seit den 50er Jahren jedoch kontinuierlich ab. Dazu trägt der Anbau leistungsstarker Grassorten, intensive Düngung, mehrmaliger Schnitt und die Verwendung des Aufwuchses als Silage bei (KÖNIG et al., 2008). Artenreiches Magergrünland, Feucht- und Nassgrünflächen stehen daher unter besonderem Schutz, wovon in NRW gegenwärtig 40 000 ha, d. h. etwa 8 % des Dauergrünlands betroffen sind (KÖNIG et al., 2008).

### Ackerflächen

Für die Biodiversität auf Ackerflächen sind insbesondere Ackerwildkräuter von zentraler Bedeutung. Durch intensive Nutzung sind die hier verbreiteten 250 Arten besonders gefährdet; durchschnittlich sind 11 % der Ackerparzellen von Wildkräutern bewachsen. Die Artenvielfalt kann durch den Verzicht auf Biozide jedoch positiv beeinflusst werden (KÖNIG et al., 2008).

### Klimawandel und Zukunfts-Szenarien

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich das Klima in NRW bereits erkennbar verändert: Die Winter sind tendenziell milder, die Sommer wärmer. Frosttage sind seltener, es gibt hingegen mehr Sommertage. Die Niederschläge haben je nach Region teilweise bereits um mehr als 100 mm pro Jahr zugenommen; Starkregen mit erosiver Wirkung kommen häufiger vor. Dieser Trend wird sich auch künftig fortsetzen (GERSTENGARBE et al., 2004). Im Winterhalbjahr wird es künftig deutlich höhere Niederschlagsmaxima und damit einhergehend eine ausgeprägte Schneeschmelze mit vermehrten Hochwässern entlang des Rheins geben. Dieses Szenario steht jedoch in zeitlich begrenzten Zusammenhang mit dem beinahe vollständigen Abschmelzen der Alpengletscher. Mittel- und langfristig wird es hingegen vermehrt Niedrigwasser (mit eingeschränktem Wasserverkehr) und dadurch begrenzte Nutz- und Trinkwasser-

ressourcen geben. Klimaszenarien prognostizieren weiter steigende Temperatur-Mittel, wobei die Unterschiede in den Wintermonaten ausgeprägter sein dürften (ca. 3°C gegenüber 2.7°C in Sommermonaten) (MPI-M, zit. in GERMANWATCH, 2006). Eis- und Frosttage werden künftig weitgehend auf höhere Lagen begrenzt bleiben; die Anzahl der Sommertage wird landesweit zunehmen (GERSTENGARBE et al., 2004), wobei die Sommer nasser, die Winter hingegen trockener ausfallen werden. Im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands wird der Klimawandel in NRW jedoch durch die relative Nähe zum Atlantik noch gemäßigt ausfallen (MPI-M, zit. in GERMANWATCH, 2006).

Phänologische Beobachtungen zeigen einen seit 1951 um zwei Wochen früheren Beginn der Vegetationsperiode. Das Risiko von durch Spätfröste verursachten Schäden nimmt künftig zu. Im Sommer führen Niederschlagsdefizite zu einer eingeschränkten Wasserversorgung; flachgründige Böden sind besonders trockenheitsgefährdet, während sich das Ertragspotenzial auf Standorten mit guter Wasserversorgung erhöht. Es wird erwartet, dass Starkregenereignisse häufiger auftreten und damit die Erosionsgefährdung durch Wasser steigt. Die Böden dürften wegen der Abnahme an Frost- und Eistagen zu erhöhter Verdichtung neigen. Auf wassergesättigten Böden wird der Oberflächenabfluss – und dadurch die Anzahl der Hochwasserereignisse – zunehmen. Durch höhere Versickerungsmengen wird es auch mehr Austräge von Nähr- und Schadstoffen in das Grundwasser geben. Der Anbau thermophiler Kulturen (z. B. Sonnenblumen, Leguminosen, Mais) wird insgesamt begünstigt (LANUV, 2008).

Als Folge des Klimawandels nimmt nach LANUV (2008) die Humuskonzentration in Ackerböden seit etwa 20 Jahren stetig ab, was sich auf Filter- und Pufferkapazitäten und die Wasserspeicherfähigkeit negativ auswirkt; damit wird auch weniger CO<sub>2</sub> im Boden gespeichert. Andererseits nimmt auf flachgründigen Böden der Wasserstress zu, was auf forstwirtschaftlich genutzten Flächen zu einem erhöhten Windwurfisiko führt (z. B. bei Sturmweatherlagen). Als Gegenmaßnahme erwägt man u.a. die Anpflanzung von Baumarten mit erhöhtem Wärmeanspruch. Positiv dürfte sich hingegen der Zuwachs an Biomasse auf Standorten mit guter Wasserversorgung auswirken (LANUV, 2008).

Damit kommt der Weiterentwicklung konservierender Bodenbearbeitungsverfahren eine besondere Bedeutung zu. So werden die erosionsmindernde Bearbeitung, Vermeidung von Bodenschadverdichtungen, optimierte Stickstoffdüngung und an Trockenheit angepasste Anbaustrategien künftige Schwerpunkte nachhaltiger, d. h. klima-optimierter Bodennutzung (LANUV, 2008).

## Literatur

BÖHM, H. 1999. Deutschland – Die westliche Mitte. Westermann, Braunschweig, 296 S.

GLÄSER, E., SCHMIED, M.W. & WOITSCHÜTZKE, C.P. 1997. Nordrhein-Westfalen. Mit einem Anhang Fakten – Zahlen – Übersichten. 2. Auflage. Perthes Länderprofile, Gotha, 89 Tab., 423 S.

KLUG, H. 1954. Das Klima Nordrhein-Westfalens (NRW). Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 67, S. 123-134.

KNIEPS, E. 1998. Das Hohe Venn. In: STIEHL, E. (Hrsg.): Die Stadt Bonn und ihr Umland – Ein geographischer Exkursionsführer. Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde, Heft 66, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn. 289 S., 2. Auflage, S. 233-257.

KÖNIG, H., WERKING-RADTKE, J. & NEITZKE, A. 2008. Biodiversität nordrhein-westfälischer Agrarlandschaften. Natur in NRW, 2/2008, S. 39-43.

KOWARIK, I. 2003. Biologische Invasionen. Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer Verlag, Stuttgart, 380 S.

KUTTLER, W. 2000. Stadtklima – In: R. GUDERIAN (Hrsg.): Atmosphäre. Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie, Bd. 1B, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S. 420-470.

KUTTLER, W. & A.-B. BARLAG 2003. Angewandte Stadtklimaforschung im Ruhrgebiet. In: CHMIELEWSKI, F.-M. & T. FOKEN (Hrsg.). Beiträge zur Klima- und Meeresforschung, Berlin und Bayreuth, S. 91-101.

LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) 2008. Jahresbericht 2007. Recklinghausen, 115 S.

LAUER, W. & FRANKENBERG, P. 1987. Klimaklassifikation. In: Diercke Weltatlas (1996). 4. Aufl., Braunschweig, S. 220-221.

LÖBF NRW (LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, BODENORDNUNG UND FORSTEN NORDRHEIN-WESTFALEN) 2005. Natur und Landschaft in Nordrhein-Westfalen 2005. Grundlagen – Zustand – Entwicklung. Recklinghausen, 283 S.

LUA NRW (LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN) 1999. Referenzgewässer der Fließgewässertypen Nordrhein-Westfalens. Teil 1: Kleine bis mittelgroße Fließgewässer. Merkblätter Nr. 16, Essen, 245 S.

MICHELS, C. 2008. Auswirkungen invasiver Neobiota auf die heimische Flora und Fauna. Natur in NRW, 2/2008, S. 60-63.

MÜLLER-WESTERMEIER, G. 1996. Klimadaten von Deutschland – Zeitraum 1961-1990. (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sonnenschein, Bewölkung). Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes (Hrsg.), Offenbach am Main, 431 S., 101 Tab., 311 Diagr., 1 Karte.

MUNLV (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW) 2007. Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Wege zu einer Anpassungsstrategie, Düsseldorf

RASKIN, R. & MISERÉ, S. 2005. Flora und Vegetation des Hohen Venns. Telma, Band 35, S. 71-84. Sonderdruck, Hannover.

## Online-Quellen

GERMANWATCH 2007. Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland – Mit Exkurs NRW. 24 S.

<http://www.germanwatch.org/klima/klideu07.pdf>

GERSTENGARBE, F.W., WERNER, P.C. & HAUF, Y. 2004. Erstellung regionaler Klimaszenarien für Nordrhein-Westfalen. Bruecke-Potsdam GbR, Vertrag Nr. 2-53710-2233, Forschungsbericht, 94 S.

[http://www.lanuv.nrw.de/klima/klima\\_veroeffentlichungen.htm](http://www.lanuv.nrw.de/klima/klima_veroeffentlichungen.htm)

MPI-M (MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE) 2006. Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert. S. 21-22 in: GERMANWATCH 2007. Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland – Mit Exkurs NRW. 24 S.

<http://www.germanwatch.org/klima/klideu07.pdf>

REGIONALVERBAND RUHR 2009. Klimatope und Wärmearchipel – Ursachen, Ausprägung und Folgen des städtischen Klimas im Ruhrgebiet.

[http://www.rvr-online.de/landschaft/Klima/\\_stadtklima.php?m=p](http://www.rvr-online.de/landschaft/Klima/_stadtklima.php?m=p)

## Zum Bodenschutz in Nordrhein-Westfalen

Armin Skowronek und Stephen Wagner

### Einleitung

Böden nehmen eine zentrale Stellung in terrestrischen Ökosystemen und Landschaften ein, ihre Funktionsvielfalt bedingt auch eine zentrale Stellung im Umweltschutz (s. HÜBLER 1985). Nach BBodSchG gilt es, die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen (§ 1). Da Böden unterschiedlichen Nutzungsansprüchen ausgesetzt sind und dabei ihre Leistungsfähigkeit gefährdet sein kann, ergibt sich eine enge Beziehung zwischen Bodennutzung und Bodenschutz (vgl. FIEDLER 1990).

Im bevölkerungsreichsten Bundesland NRW mit seinen 17 996 621 Einwohnern [31.12.2007] und seiner (rohstoffbasierten) industriellen Entwicklung war und ist die Bodennutzung auch mit Bodengefährdungen verbunden. Es bestehen „Pflichten zur Gefahrenabwehr“ (BBodSchG § 4).

Im Folgenden werden überwiegend hochschul-eigene Forschungsergebnisse zum Bodenschutz verarbeitet (Auswahl).

### Bodennutzung und Bodenschutz in NRW

Die derzeitige Inanspruchnahme von Bodenfläche in NRW (34 085,27 km<sup>2</sup>, 528 Einw./km<sup>2</sup>) stellt sich nach Nutzungsarten wie folgt dar (Abb. 1).

Die Veränderung der Flächennutzungen zwischen 1997 und 2007 ergab für Gebäude- und Freifläche ein Plus von 254 km<sup>2</sup>, für Waldfläche von 221 km<sup>2</sup>, für Erholungsfläche von 163 km<sup>2</sup>, für Verkehrsfläche von 127 km<sup>2</sup>, für Wasserfläche von 44 km<sup>2</sup> und für Betriebsfläche von 12 km<sup>2</sup>. Die Landwirtschaftsfläche verlor 642 km<sup>2</sup> (MUNLV NRW 2008, S. 10).

### Landwirtschaftliche Bodennutzung

Die „gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft“ muß die „Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürlicher Ressource“ nachhaltig sichern (BBodSchG § 17).

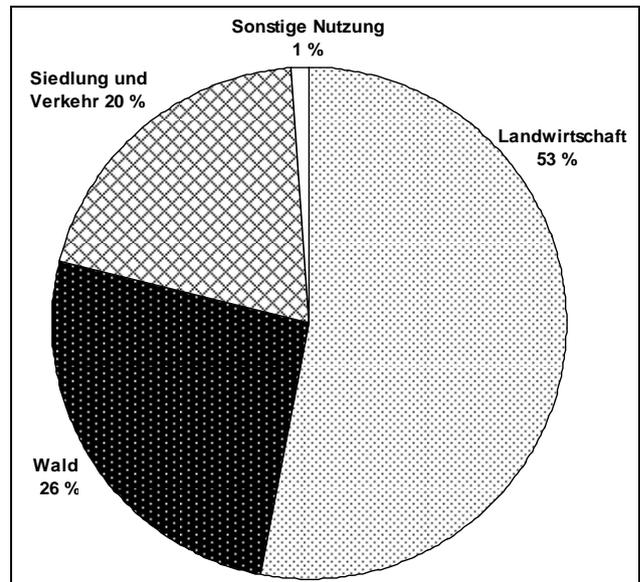


Abb. 1. Nutzungsarten und beanspruchte Bodenfläche in NRW

### Bodenverdichtungen

Was Schadverdichtungen betrifft, so zeigt eine erste repräsentative – von der FH Soest ausgehende – Untersuchung auf 46 landwirtschaftlich genutzten Böden (Acker, Grünland, stillgelegte Flächen), dass an der Krumbasis und im nicht gelockerten Krumbereich stärkere Verdichtungen existieren (CRAMER 2006). Die sog. Vorbelastung als maximale frühere Belastung, bei deren Überschreitung mit irreversiblen Bodenverformungen gerechnet werden muß, scheint sich immer mehr als ein geeigneter Indikator für die Druckstabilität der Böden herauszukristallisieren. Die Verdichtungsempfindlichkeit ist standortspezifisch, d. h. auch von der Bodenart (Schluff, Sand, Lehm, Ton), also im Wesentlichen vom Ausgangssubstrat abhängig (CRAMER 2006, S. 139-153; s. hier Abb. 2).

CRAMER schätzt, dass in Schluffböden mit einer Vorbelastung von ca. 100 kPa die Grenze der bodeneigenen Stabilität erreicht wird, wenn die Radlast von Landmaschinen den Wert von 6-10 t überschreitet (2006, S. 180-181).

### Bodenabträge

Eine erste umfassende Übersicht gaben BOTSCHEK et al. (1994), nachdem vorher in einer Literaturrecherche die Aktivitäten der Universität Bonn zur Bodenerosionsforschung dokumentiert waren (s. BOTSCHEK et al. 1991). Es wurde erkannt, dass die differenzierten regionalen Verhältnisse „Grundlage für die Empfehlung von auf den jeweils wirksamen Erosi-

onsprozeß abgestimmten Schutzmaßnahmen“ sein müssen (BOTSCHKE et al. 1994, S. 51). Da die US-amerikanische „Universal Soil Loss Equation“ (USLE) in Bayern schon angepasst war, sah man diese auch in NRW als ein geeignetes Instrument der Bodenerosionsprognose an (HOEGEN et al. 1995).



Abb. 2. Lage der Standorte zur Untersuchung von Schadverdichtungen auf Ackerböden (aus Cramer, 2006, Abb. 15, unverändert)

Die Erosivität der Niederschläge (R-Faktor der USLE) haben SAUERBORN & ERDMANN (1993) an 15 Meßstationen ermittelt, das kartographische Ergebnis war eine Isoerodentkarte für NRW (s. hier Abb. 3).

Vor diesem Hintergrund entstand kurze Zeit später eine Darstellung der Regenerosivität für ganz Deutschland (SAUERBORN 1994). Auch die zunehmend wichtiger werdende Frage nach den Auswirkungen eines möglichen Klimawandels auf die Landwirtschaft haben wir hinsichtlich der Regenerosivität mittels „downscaling“ versucht zu beantworten (SAUERBORN et al. 1998). Danach muß für acht Stationen in NRW mit einer Zunahme der Regenerosivität gerechnet werden (vgl. a. HAYE & SKOWRONEK 1993, 1993a).

Nach vorausgegangener regionaler und grundlegender Forschungsarbeit durch BOTSCHKE (1991) und POTRATZ (1993) wurden die boden- und reliefeigenen Verhältnisse (K-, L- u. S-Faktor) experimentell (Feld u. Labor) an 28 Standorten in NRW gekennzeichnet (EVERDING 1998, KEHL 1997). Es gelang eine realistische

Einschätzung der potentiellen Bodenerosionsgefährdung in drei Texturgruppen. Die Ergebnisse gehen auch in Auswertungskarten zu Bodenkarten ein.

Unter den acker- und pflanzenbaulichen Arbeiten zur Verminderung des Bodenabtrags muß die Dissertation von WOLFGARTEN (1990) hervorgehoben werden, weil der Vergleich von konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung um Mulch- und Direktsaat in Zwischenfrüchte ergänzt wurde. Letztere führte nach dem ersten Regenlauf zu einer Verminderung der Bodenerosion auf 2-3 % der konventionellen Bodenbearbeitung, nach dem 3. Regenlauf auf ca. 25 %. Da gleichzeitig Nitrat-N fast vollständig durch Phacelia und Gelbsenf aufgenommen wurde, kann dieses Verfahren auch als ein bedeutender Erkenntnisfortschritt in der Bodenerosionsforschung angesehen werden.

Die in vielfältiger Weise mit Fragen der Bodenerosion befasste Landtechnik hat ein Einzelkornsäegerät mit hoher Erosionsminderung (30 % gegenüber Furchensaat) entwickelt (EIKEL 1991). Aus der Bonner Landtechnik stammt auch eine Nacherntetechnologie, die den Erdanhang an Zuckerrüben minimiert (HIEN 1995). Dieser übersteigt in Deutschland mit insgesamt ca. 4 Mio. t die Menge des gewonnenen Zuckers.

Um bodenerosiv bedingte Gewässerbelastungen (offsite-Schäden) zu vermeiden, wurden Grasfilterstreifen auf ihre Retentionswirkung gegenüber Feststoffen und Herbizidwirkstoffen überprüft (KLEIN 2005, SCHMELMER 2003). Im gleichen Projekt wurde die Wirkung konservierender Bodenbearbeitung untersucht (ERLACH et al. 2005). Es zeigte sich, dass beide Maßnahmen auf erosionsgefährdeten Hängen ein relativ hohes Retentionspotential besitzen.

Die im BBodSchG nicht bekannte Bodenerosion durch Zwischenabfluß (Tunnelerosion, Soil Piping u. a.) verursacht in NRW teilweise schwere Schäden. SCHRÖDER (1973) schlug zur Verhütung aufgeschotterte, quer zum Hang verlaufende Fangdränen vor. BOTSCHKE (1999) charakterisierte diesen – in Deutschland kaum untersuchten – Bodenerosionsprozeß genauer und kam zu dem Ergebnis, dass er nicht nur für die Flächennutzung, sondern auch für die Wasserqualität der Vorflut eine Gefahr darstellt. Bodenschutz ist dabei sehr schwierig.

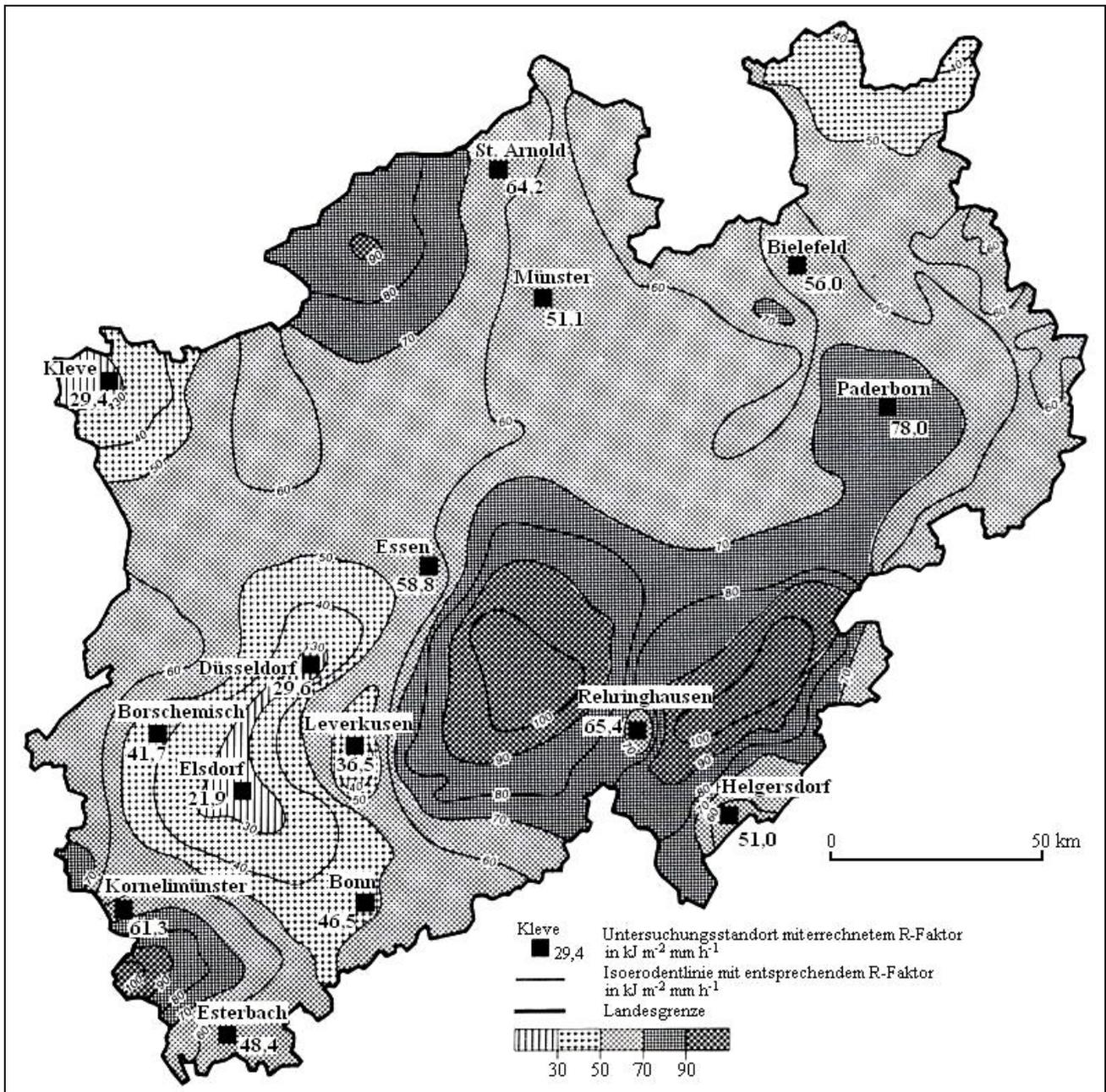


Abb. 3. Die Isoerodentkarte von Nordrhein-Westfalen nach SAUERBORN & ERDMANN (1993).

Die Bodenerosion durch Wind, welche nach GIEBÜBEL (1987) in der Zülpicher und Jülicher Börde die Bodenerosion durch Wasser quantitativ überwiegt, bedarf noch weiterer Untersuchungen.

#### Standorttypischer Humusgehalt

Der Humuszustand, definiert durch den analytischen Zersetzungsgrad und durch die analytische Bindungsfestigkeit des Humus, ist nach BARGON (1955) bei landwirtschaftlicher Nutzung vor allem eine Funktion der Korngrößenzusammensetzung des Bodens (S. 126). Entsprechende Untersuchungsergebnisse an 62 landesweit verteilten Bodentypen (Rendzina,

Braunerde, Podsol, Staunässegley, Plaggenboden, Kalkhaltiger Auenboden, Niedermoor, Hochmoor) bestätigten die große Bedeutung der texturgesteuerten Bodenreaktion für die Humusbildung.

Die Karte „Humuszustand der Böden Nordrhein-Westfalens“ machte den Zusammenhang von Körnung des Ausgangssubstrats und Humusqualität deutlich (BARGON 1955, Karte 2). Diese Darstellung fand dann auch Eingang in die Erläuterungen zur Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen (MÜCKENHAUSEN & WORTMANN 1958, S. 114-116 u. Tafel 7). Der Bodentyp als phänomenologischer Ausdruck eines bestimmten Bodenentwicklungszustandes

(s. BÜLOW 1939) scheint in naturbelassenen bzw. in naturnahen Waldböden eine größere Rolle bei der Humusbildung zu spielen als in landwirtschaftlich genutzten Böden.

Eine umfassende Literaturschau zum Humusgehalt ( $\% C_{org} \times 1,72$ ) in nordrhein-westfälischen Ackerböden von PREGER et al. (2006) bezog auch echte Zeitreihen und Dauerversuchsflächen ein. Danach liegen die Jahresmittelwerte des  $C_{org}$ -Gehaltes weit oberhalb der Cross Compliance-Grenzwerte, der Optimalbereich von 1,2 bis 1,5  $\% C_{org}$  wird teilweise überschritten (s. hier Abb. 4).

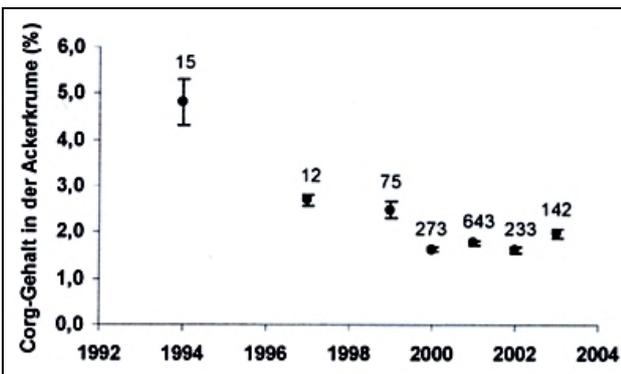


Abb. 4.  $C_{org}$ -Zeitreihe in Ackerböden NRW; Mittelwerte, Standardfehler u. Anzahl der Datenpunkte (aus PREGER et al., 2006, Abb. 28, unverändert)

Eine andere Zeitreihe (1979-2003) zeigt regional und chronologisch z. T. erhebliche Unterschiede im  $C_{org}$ -Gehalt, auch Unterschreitung kritischer Grenzwerte (PREGER et al. 2006, Tab.10). Der deutliche Anstieg in den 1980er Jahren (z. B. Eifel, Bergisches Land) könne auf Grünlandumbruch zurückgehen oder auf Krümmenvertiefung Ende der 70er bis Anfang der 80er Jahre. Das fast gleich bleibend hohe Niveau in der Münsterländer Tieflandsbucht dagegen spiegelt den ebenfalls hohen Einsatz von organischen Düngern wider.

Insgesamt gesehen entsprechen die nordrhein-westfälischen Ackerböden im Landesdurchschnitt den Anforderungen der europäischen Agrarreform, sie sind ausreichend mit Humus versorgt. Aber: „Zu den vom BBodSchG geforderten standorttypischen Humusgehalten lassen sich bislang keine Aussagen treffen“ (PREGER et al. 2006, Kurzzusammenfassung).

Aus Platzmangel kann hier nicht auf „schädliche Bodenveränderungen“ eingegangen werden, die möglicherweise bei landwirtschaftlicher Bodennutzung durch stoffliche Belastungen (anorganische u. organische Schadstoffe)

entstehen: die in der BBodSchV aufgestellten „Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte“ sowie die dahinter stehende Stoffdynamik waren und sind Untersuchungsgegenstand zahlreicher universitärer und staatlicher Institutionen (vgl. z. B. LUA NRW 2000, S. 202-230).

Der 1985 an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn eingerichtete Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ (USL) bearbeitet seit Bestehen auch Fragen des Boden- und Geässerschutzes (s. WERNER et al. 1995; später: [www.usl.uni-bonn.de](http://www.usl.uni-bonn.de)).

### Forstwirtschaftliche Bodennutzung

Der zweitgrößte Flächennutzer hat weniger mit forstwirtschaftlich bedingten Bodenproblemen zu kämpfen, die schädlichen Bodenveränderungen sind atmo gener Natur und bewirken die un natürlich hohe **Bodenversauerung**.

Im Rahmen des seit 1984 greifenden „Waldhilfsprogrammes“ wurden von ca. 915 000 ha Gesamtwaldfläche (Privat-, Körperschafts- u. Staatswald) bis 2002 landesweit erst ca. 428 000 ha (47 %) gekalkt (3 t/ha). Diese sog. „Bodenschutzkalkung“ (früher: Kompensationskalkung) ist aber lediglich eine (notwendige) „Überbrückungshilfe“, weil in absehbarer Zeit die Säure- und Schadstoffeinträge größer sein werden als die Pufferkapazität der Waldböden (LÖBF 2005, S. 236-238).

Absenkungen des Oberboden-pH um durchschnittlich 0,4 bis 0,6 (max. 2,1) in den letzten Jahrzehnten führten nach VEERHOFF (1992) zu erheblichen chemischen und strukturellen Veränderungen: neben der Verarmung an Alkali- und Erdalkalimetallen (bes. Ca u. Mg) kam es bei der starken Silikatverwitterung und -zerstörung auch zu einer starken Freisetzung von Mn, Fe und Al sowie zur (relativen) Anreicherung von Si. Die dabei entstandenen Al-Chlorite stellen eine charakteristische und bedeutende Veränderung des Tonmineralbestandes dar, welche mit einer Abnahme der KAK verbunden ist. Die Dechloritisierung unterhalb von pH 3,5 beginnt in den feineren Tonfraktionen und greift auf immer größere über, sie wird von einer Tonmineralzerstörung d. h. einer irreversiblen Boden-degradierung begleitet, so die alarmierenden Ergebnisse von VEERHOFF (1992).

Die Frage, welche Materialien (Naturkalke, Gesteinsmehle, Industriekalke) bei der „Bodenschutzkalkung“ eingesetzt werden können oder sollen, hat WEYER (1993) untersucht. Von sieben, an zwei Standorten experimentell getesteten Kalkdüngern, erwiesen sich feinvermahlene Dolomite hinsichtlich ihres Neutralisationsverhaltens am meisten erfolgversprechend. Die Besserungsmaßnahme einer „Bodenschutzkalkung“ von funktionell (schwer) geschädigten Waldböden sollte aber auch mit den Diversifizierungszielen eines Waldökosystemkonzeptes in Einklang gebracht werden, damit die bodenbedingte Biodiversität nicht durch Düngungseingriffe nivelliert wird (SKOWRONEK & WEYER 1991).

Unterschiedliche Dolomitgaben z. T. kombiniert mit P und K bewirkten einen Anstieg der Lumbricidenpopulation und der Streuabbaurate (GEIBEN et al. 1999), die große Abhängigkeit dieser Wirkungen von den chemischen Bodeneigenschaften stellten GEIBEN (2000) und SCHÖNING (2000) im Einzelnen heraus.

Daß die Protonenpufferung und ihre Kinetik stark von der Struktur, der chemischen Zusammensetzung und der spezifischen Oberfläche der Boden- und Gesteinsminerale abhängen, hat HAMER (2000) herausgearbeitet. Damit wurde auch eine wichtige Grundlage für die Bewertung der Säureneutralisationskapazität in nordrhein-westfälischen Waldböden geschaffen.

### *Siedlung und Verkehr*

Täglich werden rund 15 ha für den Siedlungs- und Verkehrswegebau beansprucht, 1995 waren es 21,1 ha, 2003 13,3 ha. Im Durchschnitt ergeben sich zwischen 1994 und 2004 aber keine Änderungen. Damit beträgt der jährliche Flächenverbrauch in NRW ca. 5 000 ha, dies entspricht etwa der Fläche des Naturparks Siebengebirge. Der „Rat für Nachhaltige Entwicklung“ (bei der Bundesregierung) hat bis 2020 eine Reduzierung des Flächenverbrauchs von derzeit etwa 110 ha auf 30 ha täglich gefordert (bezogen auf das Bundesgebiet). Für NRW würde dies einen Rückgang auf ca. 5-7 ha/Tag bedeuten.

Die Ursachen liegen im Wesentlichen darin, dass sich die Bevölkerungszahl im suburbanen Raum und in ländlichen Gebieten stetig erhöht hat – größtenteils wegen des Wunsches nach ei-

nem eigenen Heim („Haus im Grünen“). Gleichzeitig entstehen – im Wettbewerb um Ansiedlung von Betrieben und Schaffung von Arbeitsplätzen – großflächige Gewerbegebiete an den Rändern der Städte und in ihrem Umland. Auch die Ansprüche an die Wohnqualität haben sich verändert: 1950 reichten noch 15 m<sup>2</sup> Wohnraum pro Einwohner aus, heute sind es 40 m<sup>2</sup>. Schließlich haben weltpolitische Veränderungen, nämlich die Grenzöffnungen im Osten und Südosten Europas, einen Zuzug von ca. 1,5 Millionen Menschen nach NRW (mit vormaligem Einwohnerrückgang) bewirkt (Gesamtkomplex s. MUNLV NRW 2008, S. 12-13).

Dem Flächenverbrauch tritt das MUNLV NRW seit 2006 mit der sog. „Allianz für die Fläche“ entgegen, sie setzt dabei auf Dialog und Kooperation. Die wichtigsten Handlungsfelder sind (MUNLV NRW 2008, S. 14-15, wörtlich):

- ein strategisches, effizientes Flächenmanagement
- der Vorrang der Innen- vor der Außenentwicklung
- die Wiedernutzung von Brachflächen
- die qualitative Aufwertung der Wohnstandorte im Innenbereich
- der Schutz wertvoller oder empfindlicher Freiräume und Böden
- die Stärkung des öffentlichen Bewusstseins für den Wert unzersiedelter Landschaften und unversiegelter Böden.

Man erkennt, wie schwierig sich eine bodenschonende Flächenutzung in einem Industrieland wie NRW und in einer pluralistischen Gesellschaft mit ihren unterschiedlichen Nutzungsansprüchen und Interessen gestaltet.

### *Abbauland*

Diese Flächen nehmen in NRW 19 400 ha ein, den größten Teil davon beansprucht der Braunkohlentagebau. Nach dessen Flächenbilanz werden im Jahr 2020 dann 34 050 ha Land in Anspruch genommen, davon aber 26 000 ha wieder der land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzung zugeführt sein (SCHMIDT & SKOWRONEK 1994, Tab. 1). Dank der reichlich vorhandenen pleistozänen Lössen kann der temporäre Totalverlust der Böden durch Rekultivierung qualitativ weitestgehend kompensiert wer-

den, dabei entstehen aber auch spezifische Probleme (SCHRÖDER & SCHNEIDER 2007).

### *Bodenbelastung im Ruhrgebiet*

„Schädliche Bodenveränderungen“ i. S. BBodSchG und BBodSchV existieren natürlich in Altablagerungen und auf Altstandorten im größten geschlossenen Industriegebiet Europas, dem Ruhrgebiet. Eine erste Darstellung der Bodenbelastung außerhalb der Altlasten (s. o.), außerhalb bestimmter Nutzungen und außerhalb der Überschwemmungsgebiete präsentiert die Oberboden-Gehalte für acht Schwermetalle (As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn) und für Benzo(a)pyren. Verglichen mit den Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten nach BBodSchV überschreiten mehrere Gebiete die Vorsorgewerte z. T. für bis zu sechs Parameter gleichzeitig, auch Prüfwerte werden überschritten (LANUV NRW 2008).

Die Altlastenstatistik NRW (Stand 31.1.2008) weist landesweit 27 199 Altablagerungen und 36 114 Altstandorte aus. 17 614 Gefährdungsabschätzungen sind abgeschlossen bzw. laufend, Sanierungen 6 070 (KÖNIG 2008).

### *Aktuelle Fragen des Bodenschutzes*

Am 25. November 2008 sprach der Leiter des Referats IV-4 „Bodenschutz, Altlasten, Deponien“ beim MUNLV, Prof. Dr. Wilhelm König, mit dem Vortrag „Aktuelle Fragen des Bodenschutzes aus Sicht des Landes NRW“ in Wuppertal neben klassischen (s. o.) auch aktuelle Themen an, welche hier kurz wiedergegeben werden sollen (KÖNIG 2008).

### *EU-Bodenrahmenrichtlinie*

Schwerpunkte des Entwurfes sind (wörtlich):

- Benennung der Bodengefahren
- Risikogebietsansatz für landwirtschaftliche Themen
- Konkrete Anforderungen zum Umgang mit stofflichen Belastungen
- Sensibilisierung des Bodenbewusstseins und Öffentlichkeitsbeteiligung
- Berichtspflichten.

Nachdem die EU-Kommission im September 2006 ein Strategiepapier, einen Richtlinienvorschlag und eine Folgenabschätzung vorgelegt

hatte, beriet das EU-Parlament 2007 intensiv – mit umfangreichen Änderungsvorschlägen. Die Sperrminorität im Ministerrat (D, F, GB, NL, AU) verhinderte zunächst eine Verabschiedung. Ob die Wiederaufnahme der Beratung (Sept. 2008) fortgesetzt wird, war noch nicht klar, die Neuwahl des EU-Parlaments im Mai 2009 muss wohl abgewartet werden.

### *Bodenbelastungen mit PFT*

Perfluorierte Tenside (PFT) gelangten durch illegale Aufbringung von Bioabfallgemisch über den Grundwasserpfad in die Möhne-Talsperre und in die Ruhr. Zwei Hochbelastungsflächen (ca. 10 000 µg PFOA/PFOS pro kg) bedürfen der Bodensanierung durch Fangdrainage, durch Aktivkohlefilter bzw. durch Bodenaustausch – mit einem Kostenaufwand in Millionenhöhe.

### *Bleibelastungen an Hochspannungsstrommasten*

Die vormalige Verwendung von Thomasstahl, Bleimennige und Zinkchromat ist die Ursache für erhöhte Pb-, Zn- (u. Cd-)Belastung der Böden (200 mg/kg), wobei die hohen Gehalte des mobilen bzw. pflanzenverfügbaren Bleis eine Gefahrenabwehr nötig machen. Besonders wenig gekalkte Grünlandböden mit pH bis 4 erfordern Kalkung, ggf. Austausch und evtl. P-Düngung. Es ist von 200 000 RWE-Strommasten die Rede.

### *Schutzwürdige Böden in NRW*

Noch vor Inkrafttreten des BBodSchG am 17.3.1998 wurde vom damaligen Geologischen Landesamt NRW (jetzt Geologischer Dienst NRW) ein Konzept entwickelt, wie der Boden auf Basis vorliegender Bodenkarten flächendeckend als Schutzgut (und Umweltmedium) dargestellt werden kann (SCHRAPS & SCHREY 1997).

Ziel ist die Sicherung von Böden, deren Gesamtcharakteristik (a. Funktionsbündelung) eine bevorzugte Nutzung nahelegt, d. h. eine Sicherung, die bestimmte Böden praktisch als Vorrangflächen ausweist (SCHRAPS & SCHREY 1997, S. 408).

Drei Nutzungsgruppen mit dominierenden Bodenfunktionen wurden unterschieden (wörtlich):

1. natürlicher Lebensraum mit hohem Biotopentwicklungspotential
2. landwirtschaftliche Produktionsfläche mit (regional) hoher Bodenfruchtbarkeit
3. regionale Besonderheiten, der Boden als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte.

Die Erstellung der „Karte der schutzwürdigen Böden in Nordrhein-Westfalen 1:50 000“ erfolgt auf Basis der digitalen (mit 72 Blättern flächendeckend vorliegenden) Bodenkarte 1:50 000. Das Blatt L 5308 Bonn (1997) enthält:

1. Böden mit extremen Wasser- und Nährstoffangeboten als natürlicher Lebensraum (Grundwasser- u. Staunässeböden; trockene, meist tiefgründige Sand- u. Schuttböden; extrem trockene, flachgründige Felsböden)
2. Böden mit hoher natürlicher Ertragsfähigkeit als Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft (meist Parabraunerden u. Braunerden)
3. Regionaltypische und/oder besonders seltene Böden als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte (Böden aus Vulkaniten u. Böden aus tertiärem Lockergestein).

#### Ausblick

Die wenigen Ausführungen zum Bodenschutz in NRW zeigen, dass die Bodenkunde eine „Querschnittsdisziplin“ ist, weil ihr Untersuchungsobjekt, der Boden, mit allen Teilen der natürlichen und technischen Umwelt verbunden ist. Ihre Aufgabenstellungen werden daher zunehmend auch interdisziplinärer Natur sein (MAKESCHIN et al. 2008, S. 38).

#### Literatur

BARGON, E. (1955): Der Einfluß der wichtigsten Bodenbildungen auf den Humuszustand in Nordrhein-Westfalen. – Diss. Landw. Fak. Univ. Bonn., 156 S.

BOTSCHKE, J. (1991): Bodenkundliche Detailkartierung erosionsgefährdeter Standorte in Nordrhein-Westfalen und Überprüfung der Bodenerodierbarkeit (K-Faktor). – Hamburger Bodenkundl. Arb. 16: 1-131 [= Dissertation].

BOTSCHKE, J. (1999): Zum Bodenerosionspotential von Oberflächen- und Zwischenabfluß. – Bonner Bodenkundl. Abh. 29: 1-174 [= Habilitationsschrift].

BOTSCHKE, J., J. GRUNERT & A. SKOWRONEK (1991): Bodenerosionsforschung an der Landwirtschaftlichen Fakultät und am Geographischen Institut der Universität Bonn – eine kommentierte Bibliographie. – Arb. z. Rhein. Landeskunde 60: 55-69.

BOTSCHKE, J., J. GRUNERT & A. SKOWRONEK (1994): Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen – Voraussetzungen, Prozesse und Schutzmaßnahmen – . Ber. z. dt. Landeskunde 68: 33-56.

BÜLOW, K. VON (1939): Bodenart und Bodentyp in geologischer Betrachtung. – Z. dt. geol. Ges. 91: 575-580 u. 642.

CRAMER, B. (2006): Überprüfung von Bewertungsmodellen zur Identifikation und Prognose von Schadverdichtungen auf Ackerböden in Nordrhein-Westfalen. – Bonner Bodenkundl. Abh. 44: 1-198 [= Dissertation].

EIKEL, G. (1991): Bodenschonung und pflanzenbauliche Eignung des Bonner Spaten-Einzelkornsägerätes am Beispiel des Maisanbaus. – Forschungsbericht Agrartechnik 208: 1-213 [= Dissertation].

ERLACH, F., N. LÜTKE ENTRUP & F.-F. GRÖBLINGHOFF (2005): Konservierende Bodenbearbeitung als ackerbauliche Maßnahme zur Verringerung des diffusen Eintrages von Pflanzenschutzmitteln (PSM) und Nährstoffen in Oberflächengewässer. – Forschungsber. FB Agrarwirtschaft Soest 17: 1-193.

EVERDING, C. (1998): Kennzeichnung des Erosionsverhaltens und der Erosionsanfälligkeit verschieden texturierter Ackerböden Nordrhein-Westfalens mit Hilfe von Feldeberegnungen. – Bonner Bodenkundl. Abh. 24: 1-195 [= Dissertation].

FIEDLER, H. J. (Hrsg.) (1990): Bodennutzung und Bodenschutz. – Basel usw. (Birkhäuser), 268 S.

GEIßEN, V. (2000): Reaktionen ausgewählter Tiergruppen (Lumbricidae, Annelida; Collembola, Arthropoda) auf Veränderungen der Nähr- und Schadstoffgehalte von Waldböden nach Kalkung und Düngung. – Bonner Bodenkundl. Abh. 31: 1-382 [= Habilitationsschrift].

GEIßEN, V., A. SCHÖNING & G. W. BRÜMMER (1999): Entwicklung eines Sanierungskonzeptes für stark versauerte Waldböden – dargestellt am Beispiel des Kottenforstes bei Bonn. – Bonner Bodenkundl. Abh. 25: 1-135.

GIEßÜBEL, J. (1987): Zum Problem aktueller Bodenauswehung in der Köln-Bonner-Bucht und deren quantitativer Erfassung. – Göttinger Geogr. Abh. 84: 45-53.

HAMER, M. (2000): Säureneutralisationskapazität und Mechanismen der Protonenpufferung definierter Minerale sowie ausgewählter Gesteine und Bö-

- den Nordrhein-Westfalens. – Bonner Bodenkundl. Abh. 35: 1-282 [= Dissertation].
- HAYE, U. DE LA & A. SKOWRONEK (1993): Verstärkte Bodenerosion als Folge anthropogener Klimaveränderungen? – Berliner Geogr. Arb. 79: 59-81.
- HAYE, U. DE LA & A. SKOWRONEK (1993a): Zur Abschätzung der Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden infolge möglicher Klimaänderungen. – Mitt. DBG 69: 285-288.
- HIEN, S. (1995): Nacherntetechnologie von Zuckerrüben – Untersuchungen zur Verringerung der Rübenerde mit Reinigungsladern. – Forschungsbericht Agrartechnik 276: 1-225 [= Dissertation].
- HOEGEN, B., C. BRENK, J. BOTSCHKEK & W. WERNER (1995): Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen – Gefährdung und Schutzmaßnahmen – . – USL-Forschungsbericht 30: 1-79.
- HÜBLER, K.-H. (Hrsg.) (1985): Bodenschutz als Gegenstand der Umweltpolitik. Beiträge des Fachbereichstages 1984. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 27: 1-232.
- KEHL, M. (1997): Experimentelle Laboruntersuchungen zur Dynamik der Wassererosion verschieden texturierter Ackerböden Nordrhein-Westfalens. – Bonner Bodenkundl. Abh. 21: 1-120 [= Dissertation].
- KLEIN, C. (2005): Einfluß von Vegetationsfilterstreifen auf den Austrag ausgewählter Herbizidwirkstoffe mit dem Oberflächen- und Zwischenafluß in ackerbaulich genutzten Böden einer Mittelgebirgslandschaft. – Bonner Bodenkundl. Abh. 40: 1-224 [= Dissertation].
- KÖNIG, W. (2008): Aktuelle Fragen des Bodenschutzes aus Sicht des Landes Nordrhein-Westfalen. – Fachvortrag am 25. November 2008 im Rahmen der Bodenschutzvorlesung der Universität Wuppertal.
- LANUV NRW – LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (2008): Bodenbelastungskarte Ruhrgebiet. – LANUV-Fachbericht 7: 1-28.
- LÖBF – LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, BODENORDNUNG UND FORSTEN NRW (Hrsg.) (2005): Natur und Landschaft in Nordrhein-Westfalen 2005. Grundlagen – Zustand – Entwicklung. – Recklinghausen, 283 S. (= LÖBF-Mitteilungen Nr. 4/2005).
- LUA NRW – LANDESUMWELTAMT NRW (Hrsg.) (2000): Umwelt NRW – Daten und Fakten. – Essen, 431 S.
- MAKESCHIN, F. et al. (2008): Orientierungsrahmen Bodenkunde. Anforderungen an die Entwicklung und interdisziplinäre Vernetzung der Bodenkunde aus der Sicht eines nachhaltigen Flächenmanagements. – Remagen-Oberwinter, 51 S.
- MUNLV NRW – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2008): Fläche schützen statt verbrauchen. Nachhaltige Flächenpolitik in Nordrhein-Westfalen. – Düsseldorf, 18 S.
- MÜCKENHAUSEN, E. & H. WORTMANN (1958): Erläuterungen zur Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen 1:300 000. – Krefeld, 144 S.
- POTRATZ, K.-U. (1993): Bedeutung von Feuchte und Struktur der Bodenoberfläche für die Bodenerosion. – Bonner Bodenkundl. Abh. 11: 1-72 [= Dissertation].
- PREGER, A. C., G. WELP, U. MARQUARDT, B. KOLECZEK & W. AMELUNG (2006): Humusgehalte in nordrhein-westfälischen Ackerböden: Aktueller Status und zeitliche Entwicklung. – Bonner Bodenkundl. Abh. 45: 1-100.
- SAUERBORN, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. – Bonner Bodenkundl. Abh. 13: 1-189 [= Dissertation].
- SAUERBORN, P. & K.-H. ERDMANN (1993): Erosivität der Niederschläge und Isoerodentkarte von Nordrhein-Westfalen. – Wasser & Boden 1/1993: 22-24 u. 37-38.
- SAUERBORN, P., A. KLEIN, J. BOTSCHKEK & A. SKOWRONEK (1998): Future rainfall erosivity derived from large-scale climate models – methods and scenarios for a humid region. – Geoderma 93: 269-276.
- SCHMELMER, K. (2003): Bodenerosionsprozesse, Oberflächenabfluss und Feststoffretention von Grasfilterstreifen – Experimentelle Untersuchungen und Anwendung von Prognosemodellen. – Bonner Bodenkundl. Abh. 39: 1-267 [= Dissertation].
- SCHMIDT, R. & A. SKOWRONEK (1994): Weichselzeitlicher Löß als Rohstoff für die landwirtschaftliche Rekultivierung im Rheinischen Braunkohlentagebau. – Eiszeitalter u. Gegenwart 44: 20-27.
- SCHÖNING, A. (2000): Einfluß chemischer Eigenschaften von Waldböden auf deren Besiedlung mit Lumbriciden – Konsequenzen für die Bodenschutzkalkung. – Bonner Bodenkundl. Abh. 34: 1-343 [= Dissertation].
- SCHRAPS, W. G. & H. P. SCHREY (1997): Schutzwürdige Böden in Nordrhein-Westfalen – Bodenkundliche Kriterien für eine flächendeckende Karte

zum Bodenschutz. – Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 160: 407-412.

SCHRÖDER, D. (1973): Tunnelerosionen in schluffreichen Böden des Bergischen Landes. – Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 14: 21-31.

SCHRÖDER, D. & R. SCHNEIDER (2007): Bodenrekultivierung im Rheinischen Braunkohlenrevier. – Bonner Bodenkundl. Abh. 46: 59-82.

SKOWRONEK, A. & T. WEYER (1991): Experimentelle Bodenschutzkalkungen im Kottenforst bei Bonn – Ein Beitrag zur Angewandten Landschaftsökologie. – Arb. z. Rhein. Landes. 60: 119-133.

VEERHOFF, M. (1992): Silicatverwitterung und Veränderungen des Tonmineralbestandes in Waldböden als Folge von Versauerungsvorgängen. –

Bonner Bodenkundl. Abh. 8: 1-249 [= Dissertation].

WERNER, W., E. PFEFFER & B. HOEGEN (1995): Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Publikationsverzeichnis. – Bonn, 112 S.

WEYER, T. (1993): Kalkungsversuche mit carbonatisch und silicatisch gebundenen Kalk- und Magnesiumdüngern – Initialeffekte auf versauerte Waldböden Nordrhein-Westfalens. – Bonner Bodenkundl. Abh. 12: 1-299 [= Dissertation].

WOLFGARTEN, H.-J. (1990): Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verminderung der Bodenerosion und der Nitratverlagerung im Zuckerrübenanbau. – Diss. Landw. Fak. Univ. Bonn, 196 S.

## **Bodenverhältnisse der Bundesstadt Bonn**

Matthias Scholz und Armin Skowronek

### Einleitung

Jede Stadt hat Böden und muß diese bei Planungen berücksichtigen. Das hatte der spätere erste Ordinarius für Bodenkunde und Gründer des Instituts für Bodenkunde der Universität Bonn, Eduard MÜCKENHAUSEN, zusammen mit Ernst H. MÜLLER für den Stadtkreis Bottrop i. W. schon 1951 beispielhaft demonstriert.

Auf Initiative des 1987 neu geschaffenen Lehrstuhls für Angewandte Bodenkunde der Universität-GH Essen entstand der Arbeitskreis Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Im Jahr 2000 fand in Essen auch die „First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas“ statt (BURGHARDT & KNEIB 2001).

Stadtböden sind nur aus ihrer jeweiligen Umwelt heraus zu verstehen, Bodenentwicklung und -qualität hängen davon ab (BURGHARDT 1994). Ein großes Problem stellt die Bodenversiegelung dar, weil sie verschiedene Bodenfunktionen beeinträchtigt und vor allem den natürlichen Wasserkreislauf stark verändert (WESOLEK 2001).

Die Dissertation „Anthropogene Stadtböden und Bodenfunktionen in Bonn – mit besonderer Berücksichtigung von Flächenversiegelung und Wasserhaushalt“ (SCHOLZ, in Vorber.) – soll u. a. das Entsigelungspotential von Stadtbereichen kennzeichnen.

### Der Baugrund

Der schematische Schnitt HEUSERS (1998, S. 5) durch die geologischen Einheiten Bonns weist drei, nach Tragfähigkeit geordnete, ingenieurgeologische Einheiten aus (s. hier Abb. 1).

Die Innenstadt ist im Wesentlichen auf den Sanden und Kiesen der Niederterrasse (NT 1 u. 2; s. Beitrag SKOWRONEK) gegründet. Das Stadtgebiet reicht aber auch links- wie rechtsrheinisch auf das devonische Grundgebirge und auf Tertiärschichten hinauf, stellenweise bilden Siebengebirgs-Vulkanite den Baugrund. Die

genannten Festgesteine sind primär sehr tragfest (ingenieurgeologische Einheit 3), infolge Tiefenersatz bzw. toniger Lagen aber oft auch rutschgefährdet (GRUNERT & HARDENBICKER 1991). Die Hauptterrasse (jHT) hat ähnliche bodenmechanische Eigenschaften wie die anderen Rheinterrassen.

Baugrundgutachten wurden früher auch vom Institut für Bodenkunde der Universität Bonn erstellt (z. B. MÜCKENHAUSEN & KOPP 1963 od. 1963a, unveröff.).

### Zur Siedlungs- und Stadtgeschichte

Naturräumliche Ausstattung und verkehrsgünstige Lage des Bonner Raumes haben und hatten ein hohes Entwicklungspotential (LAUX & ZEPP 1997, S. 18).

### *Vor- und frühgeschichtliche Zeit*

Der einzige jungpaläolithische (Boden)-Fund Deutschlands wurde 1914 im rechtsrheinischen Bonn-Oberkassel getätigt (Magdalénien IV, ca. 16 000 Jahre). Die beiden Skelette befinden sich im Rheinischen Landesmuseum Bonn. Die differenzierte (boden)stratigraphische Fundsituation konnte 1994 rekonstruiert werden (GERLACH et al. 1995).

Im Neolithikum war der Bonner Raum ein Übergangs- und Durchdringungsraum, hier verzahnte sich die südliche Urnenfelder- mit der niederrheinischen Grabhügel- und Hunsrück-Eifelkultur. In der jüngeren Latènezeit (180-18 v. Chr.) ist ein merklicher Anstieg der Bevölkerung und des Zivilisationsstandes erkennbar, eine Siedlung namens „Bonna“ – der Name ist möglicherweise keltischen Ursprungs – existierte bereits, als die Römer kamen (ENNEN & HÖROLDT 1985, S. 13-14).

### *Römische Zeit*

Die Römer behielten den Namen Bonna bei und blieben fast ein halbes Jahrtausend (11 v. Chr. bis Mitte 5. Jh.). Entscheidend für die weitere Siedlungsentwicklung war die Errichtung des 528 x 524 m (27 ha) großen Legionslagers (*castra bonnensia*), dessen Grundriß in Bonn-Castell noch gut zwischen Augustusring, Rheinpromenade, Rosental und Graurheindorferstraße zu erkennen ist (Abb. 2).

Römisches Lager, Legionsvorstadt (*canabae le-*

---

Dipl.-Landschaftsökol. M. Scholz u. Prof. Dr. A. Skowronek, INRES – Bodenwissenschaften, Universität Bonn, Nußallee 13, 53115 Bonn  
e-mail: Matze-Scholz@gmx.net

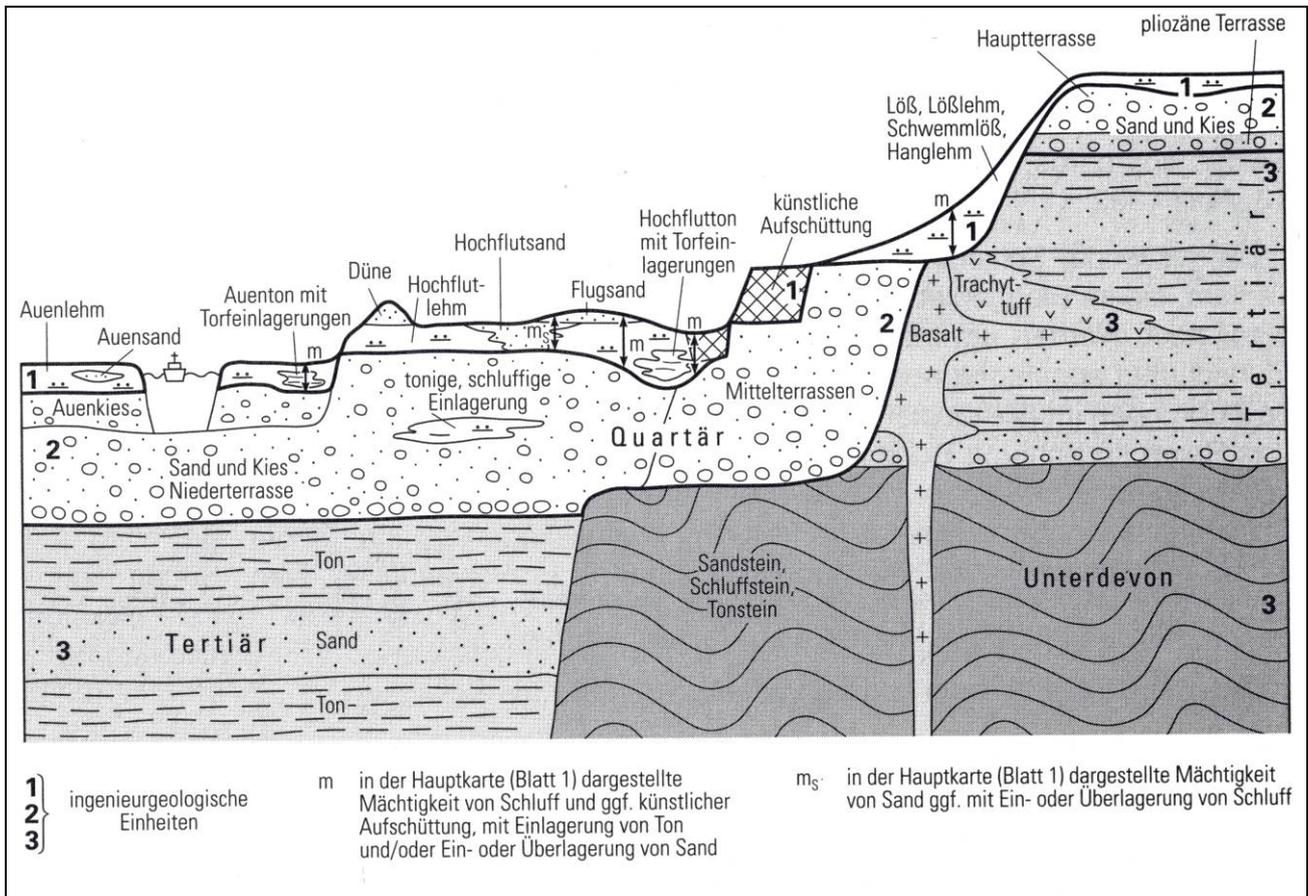


Abb. 1. Baugrundschemata des Bonner Stadtgebietes (aus HEUSER 1998, S. 5)

gionis) und Zivilstadt (*vicus bonnensis*) wurden auf rheinwärtigen, höheren Teilen der Niederterrasse errichtet, welche westlich von einem ca. 5 m tiefen Altarm des Rheins, der Gumme, durchzogen wird (ENNEN & HÖRDLT 1985, Abb. 3 u. Karte 2). Diese Vertiefung ist schön zu sehen an der Bahnüberführung ESE des Hauptbahnhofs, wenn man vom Hauptgebäude der Universität (= DBG-Tagungsstätte) nach SW auf das Poppelsdorfer Schloß blickt (Abb. 2). Bei Rhein-Hochwasser können Grundwässer in solche Flußrinnen drücken (ZEPP 1984, S. 7).

Damals lebten hier schon 10 000 Menschen. Nach archäologischen Bodenfunden zu schließen, muß die römische Bebauung (Baustoffe: Holz, Erde, Ziegel, Stein) auch erhebliche geomorphologisch-sedimentologische Veränderungen der spätglazialen Hochflut-Ablagerungen (Abb. 1) nach sich gezogen haben. So zeigten die großen Aufschlüsse für den Bau des UN-Campus im ehemaligen Regierungsviertel mehr als 5 m mächtige römische und poströmische Substrate verschiedenster Zusammensetzung innerhalb der natürlichen Sedimente. Ein römisches Thermalbad des *vicus bonnensis* musste

„transloziert“ werden (LULEY 2007), sonst wäre es auch in den Baugrund des World Congress Center Bonn einbezogen worden.

Baugrundgeologisch (und damit auch stadtbodenkundlich) interessant sind derartige anthropogene Veränderungen in jedem Fall (vgl. z. B. GRUPE & JAWECKI 2004).

### Mittelalter

Ab dem 7. Jahrhundert und dann vollends im 9./10. Jahrhundert verlagerte sich der Siedlungsschwerpunkt Bonns in das Gebiet der heutigen Innenstadt (Stadtbezirk Bonn-Zentrum). Als eigentlicher Ursprung des mittelalterlichen und neuzeitlichen Bonn wird die frühchristliche *cella memoriae* unter dem jetzigen Münster angesehen.

Im 13. Jahrhundert verlieh der Kölner Erzbischof das Stadtrecht, Bonn avancierte zum bevorzugten Wohnsitz der Kölner Kurfürsten.

Die Stadtmauer umfasste etwa den heutigen Bezirk Bonn-Zentrum (GROTZ 1997, Abb. 1). Das wieder errichtete Sterntor legt Zeugnis davon ab.

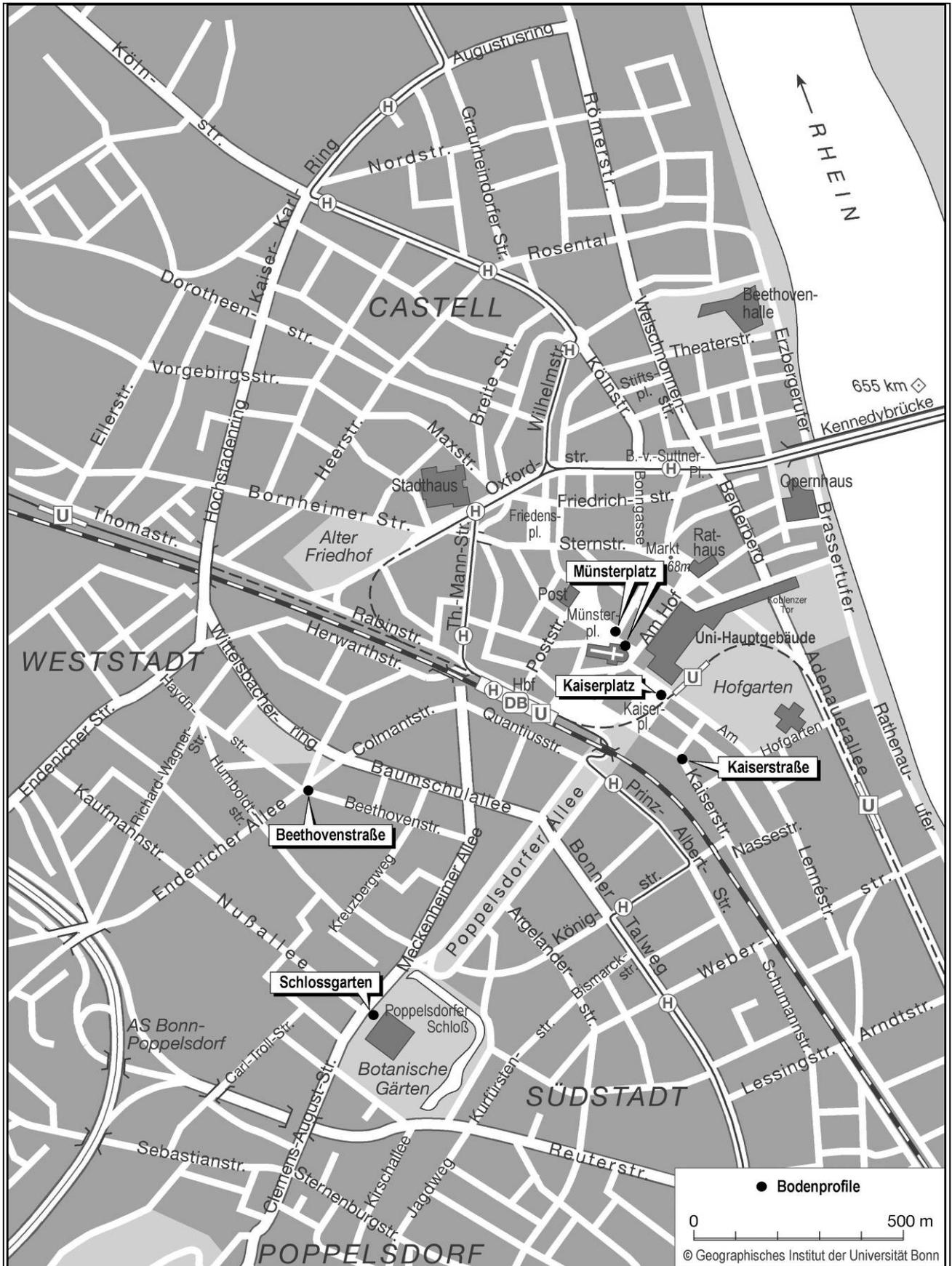


Abb. 2. Bonn mit Lage der untersuchten Bodenprofile (Anthropogene Stadtböden)

## *Neuzeit*

Nach der spätmittelalterlichen Verlegung ihres Sitzes bauten die Kölner Kurfürsten Bonn zur Residenzstadt aus. Im 30-jährigen Krieg erhielt Bonn mit dem Vaubanschen Bastionswall eine Neubefestigung, welche jetzt aber völlig überbaut ist (ENNAN & HÖROLDT 1985, Plan 2).

Der regen Bautätigkeit des glanzvollsten und beliebtesten Kurfürsten Clemens August (Reg. 1723-1761) verdankt Bonn u. a. die Vollendung der Kurfürstlichen Residenz (= DBG-Tagungsstätte) und des Poppelsdorfer Schlosses, welche eine großzügige Allee, die heutige Poppelsdorfer Allee, miteinander verbindet (Abb. 2). Die barocke Gesamtanlage macht viel von der städtebaulichen Attraktion Bonns aus.

Nach den napoleonischen Kriegen wurde das Rheinland preußische Rheinprovinz. 1818 im Geiste Wilhelm von Humboldts gegründet, stieg die Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität bald zu einer der führenden Universitäten auf. Sie ist mit zahlreichen berühmten Namen verbunden. 1989 waren rund 40 000 Studierende eingeschrieben, 2007 aber nur ca. 25 000 (Studiengebühr).

Preußische Herrschaft und beginnende Industrialisierung im Ruhrgebiet führten auch in Bonn zu Veränderungen. Die Stadt wuchs in der Mitte des 19. Jahrhunderts rasch über den mittelalterlichen Mauerring hinaus, mit sozial bedingten, verschiedenen Ausbreitungsrichtungen. So finden sich im Süden und Südwesten des alten Stadtkerns (Abb. 2) die Wohngebiete der wohlhabenden Mittel- und Oberschicht, Norden und Nordwesten dagegen sind gewerblich geprägte Wohngebiete für weniger begüterte Bevölkerungsteile (LAUX & ZEPP 1997, S. 21). Bonn ist auch Alterssitz für wohlhabende Industrielle geworden.

Die Auswirkungen des Zweiten Weltkrieges auf die Bausubstanz Bonns waren vergleichsweise gering (ohne Bad Godesberg u. Beuel): 7 800 beschädigte Wohngebäude (= 70,3 %), 2 107 zerstörte Wohngebäude (= 18,9 %) und 595 000 m<sup>3</sup> angefallener Trümmerschutt (ENNAN & HÖROLDT 1985, S. 330).

Nach Abstimmung des Parlamentarischen Rates am 10. Mai 1949 wurde Bonn mit knapper Mehrheit vor Frankfurt am Main (33:29 Stimmen) Hauptstadt der neuen Bundesrepublik Deutschland. Das hatte einen erheblichen wirt-

schafflichen und sozialen Strukturwandel zur Folge, der sich auch flächenmäßig in der Dominanz der Verwaltungseinrichtungen des Bundes gegenüber anderen Nutzungen ausdrückt (Industrie und Gewerbe nur 8 %).

Die Entscheidung des ersten gesamtdeutschen Bundestages am 20. Juni 1991 für Berlin als Hauptstadt und das am 26. April 1994 verabschiedete Berlin/Bonn-Gesetz wurden die Grundlage für eine neue Stadtplanung. Diese will möglichst viele Bundesfunktionen in Bonn halten („Bundesstadt“), vor allem aber Zentren für internationale Zusammenarbeit, eine Region für Wissenschaft, Forschung und zukunftsorientierte Wirtschaftsstruktur sowie ein Modell einer umweltgerechten Städtelandschaft und Kulturregion schaffen (LAUX & ZEPP 1997, S. 27).

## Schädliche Bodenveränderungen

In der Regel wird die Problematik von Stadtböden – besonders in Industriegebieten – mit stofflicher Belastung gleichgesetzt (HILLER & MEUSER 1998). Der „Boden- und Gewässerschutzbericht 1997 – 2007“ der Stadt Bonn spricht Versiegelung, chemische Belastungen (Altlasten), physikalische Belastungen (Erosion) und sonstige schädliche Bodenveränderungen an (BONN – DIE STADT 2007, S. 5-21).

## *Versiegelung*

Sie wird als generelles Problem verstanden, aber nicht weiterverfolgt, weil trotz voranschreitender städtebaulicher Entwicklung und kontinuierlicher Vergrößerung der versiegelten Fläche eine Entsiegelung von Flächen, außer im Rahmen von Regenwasserversickerungen, faktisch nicht stattfindet (BONN – DIE STADT 2007, S. 6).

Im Stadtgebiet (14 130 ha) sind 3 082 ha (22 %) versiegelt, davon fallen 1 428 ha auf den öffentlichen Straßenraum. Die höchsten Versiegelungsgrade treten in Blockbaugebieten auf. Der innenstädtische Versiegelungsgrad beträgt 80-100 %, auf einigen wenigen Flächen 0-20 % (z. B. Friedhöfe, Hofgarten). Nahezu unversiegelte Flächen wie diejenigen um die Beethovenhalle sollen in Zukunft weiter bebaut werden.

Die befahrenen Bereiche sind mit Asphaltdecken bzw. mit engverlegten, unverfugten Plattenbelägen fast wasserundurchlässig gemacht.

Innenstädtische Flächen und Plätze sind mit wasserundurchlässigen Bodenbelägen wie verlegtem Kopfsteinpflaster versehen.

In Wohngebieten des äußeren Stadtgebietes treten vermehrt Versiegelungsgrade zwischen 20 und 60 % auf. Industrie- und Gewerbeflächen weisen zumeist 80-100 % auf, so z. B. die Stadtwerke in der Weststadt.

### *Altlasten*

Im Jahre 2007 waren 471 *Altablagerungen* und 1333 *Altstandorte* im Altlastenkataster der Stadt Bonn erfasst.

Die *Altablagerungen* entstanden überwiegend durch ungeordnete Vermüllung von Sand- und Kiesgruben in den 60er und 70er Jahren. Da oft in städtischem Besitz, wurden diese nach der Verfüllung meist zum Baugrund für städtische Einrichtungen, z. B. für Schulen und Sportplätze. Der spektakulärste Fall im Berichtszeitraum war die 1,5 Mio. € teure „Arsensanierung“ einer Schule im Jahr 2003, nachdem bei einer Baugrunduntersuchung für einen Erweiterungsbau erhöhte Arsengehalte von bis zu 205 000 mg/kg festgestellt worden waren (BONN – DIE STADT 2007, S. 10-11).

Die Branchenzugehörigkeit der *Altstandorte* ist sehr vielfältig, die Mineralölverarbeitung etc. hält mit 37,8 % die Spitze, gefolgt von der chemischen und pharmazeutischen Industrie (einschl. Handel) mit 13,3 % und der Holz- und -verarbeitung/Papierherstellung mit 8,2 % (BONN – DIE STADT 2007, Abb. 19). Alle stillgelegten Gewerbe- und Industriebetriebe werden als Altstandortverdachtsflächen angesehen, sofern mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wurde. Sehr aufwendig gestalteten sich 2002 der Abbruch und die Sanierung einer Firma, die seit 1933 Farben und Lacke produzierte und verarbeitete: wegen der Bodenkontamination (bes. BTEX, PCB u. PAK) und einer Gefährdung des Schutzgutes Grundwasser entstanden beim Abbruch etwa 14 800 m<sup>3</sup> Bauschutt, im Rahmen der anschließenden Bodensanierung wurden ca. 27 000 m<sup>3</sup> Bodenmaterial umgelagert (BONN – DIE STADT 2007, S. 17-18).

### Sonstige schädliche Bodenveränderungen

Der Bericht führt hier „Schadstoffbelastungen auf Kinderspiel-, Bolz- und Sportplätzen“, „Oberbodenbelastung mit Cadmium“ und „Bo-

denerosion auf landwirtschaftlichen Flächen“ an (BONN – DIE STADT 2007, S. 19-21).

*Bodenerosion* durch Wasser macht sich in stärker reliefierten Stadtgebieten mit Ackernutzung wie Bonn (Höhe ü. NN: zw. 180 u. 68 m) auch durch sog. off-site Schäden bemerkbar, d. h. außerhalb des eigentlichen Erosionsgebietes, was dann erhebliche technische Maßnahmen erfordern kann.

Wir möchten noch *Hang- und Bodenrutschungen* als schädliche Bodenveränderungen hinzufügen, weil der Bonner Raum wegen seiner geologisch-petrographischen Ausstattung rutschgefährdet ist, und weil der Mensch die Ursache oder zumindest der Auslöser für diese Massenbewegungen ist (HARDENBICKER 1994). Hangrutschungen verändern die räumliche und funktionale Situation der holozänen Oberflächenböden, auch setzt sehr oft Bodenerosion durch Wasser an diesen Dislokationen an (HARDENBICKER et al. 1992). Die Bewegungstypen: Translationsrutschung, Rotationsrutschung und Fließbewegungen haben jedoch unterschiedliche Wirkung auf die Pedosphäre (SCHMANKE et al. 1996, Tab. 1).

### Anthropogene Stadtböden

Das Flächenmanagement einer Stadt muß auch die Funktionalität ihrer anthropogenen Böden berücksichtigen (LEHMANN & STAHR 2007). Für Böden städtisch-industrieller Räume in Deutschland wurde ein Bewertungskatalog erarbeitet (BLUME & SCHLEUSS 1997).

Im Bereich der Bonner Innenstadt sind die holozänen Braunerden (B72) und Parabraunerden (L4) aus den spätglazialen Hochflutsedimenten des Rheins völlig deformiert oder zerstört (vgl. Abb. 1 u. BK 50 NRW L 5308 Bonn, 1983). Die an verschiedenen Stellen (Abb. 2), vorwiegend bei Kanalarbeiten 2008 spontan aufgenommen Bodenprofile belegen dies. Die Benennung erfolgte nach der KA 5 (AD-HOC-AG Boden 2005).

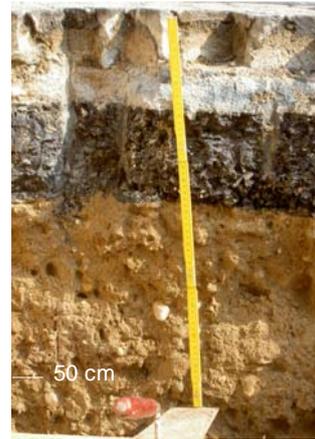
Ein Großteil der Substrate ist technogener Natur, wobei Bauschutt am häufigsten vorkommt (Abb. 3). Er stammt sowohl aus dem Siedlungs- und Gewerbebau (Profil 2, 3, 4 u. 6) als auch aus dem Straßenbau (Profil 2 u. 6). Ziegel- und Betonreste mit 10 cm Durchmesser traten in Profil 3 und 4 auf. Andere, manchmal häufige Materialien wie Schlacken, Aschen, Müll, Schlämme etc. wurden nicht gefunden. Die na-



Profil 1

Regosol aus lehmigem bis tonigem Sand

Kaiserplatz, Zierrasen (18.3.2008)



Profil 4

Vollversiegelung unter aufgeschüttetem, carbonathaltigem Sand mit Bauschutt und Ziegeln

Münsterplatz (10.4.2008)



Profil 2

Gekappter Boden (Hochflutsand) unter Versiegelung

Beethovenstraße, Fahrbahn (26.3.2008)



Profil 5

Regosol aus schluffigem Sand bis sandigem Lehm mit Beimengungen von Bauschutt

Schlossgarten, Rasenfläche (29.4.2008)



Profil 3

Vollversiegelung über aufgeschüttetem, carbonathaltigem Sand mit Bauschutt und Ziegeln

Münsterplatz (7.4.2008)



Profil 6

Vollversiegelung über aufgeschüttetem Sand mit Kies

Kaiserstraße, Gehweg (18.6.2008)

Abb. 3: Anthropogene Stadtböden in Bonn

Tab. 1. Analytische Parameter von Anthropogenen Stadtböden in Bonn

Profil	Horizont	Bodenklassifizierung	Tiefe cm	Feinboden Masse %	Skelett nat./techn. Masse %	gS Masse %	mS	fS	gU	mU	fU	T	nFK Feinboden (KA 5)	CaCO <sub>3</sub> Masse %	C <sub>org</sub> Masse %
1	jAh	Regosol	-10	98,9	1,1	1,8	21,7	31,1	19,4	8,5	4,8	12,6	16,5	0	4,4
	ilC	aus lehm.	-54	95,2	4,8	1,7	30,4	30,4	14,1	8	4,3	11	14	0	1,4
	ilC	bis tonig. Sand	-100	44	56	20,4	30,3	19,6	8,1	7	2,9	11,7	n.b.	3,4	1
2	yemC	Gekappter	-7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	yemC	Boden	-14	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	ymC	(Auensand)	-25	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	j1C	unter Ver-	-60	26	74	42,5	31,5	8,5	5,2	3,6	2,3	6,5	n.b.	0	0
	e1C	siegelung	-200	96,9	7,1	0,6	12	38,3	32	7,8	3,1	6,4	15,4	15,8	0,6
3	yemC	Vollver-	-5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	yemC	siegelung	-10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	yemC	über auf-	-20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	ymC	geschüttetem,	-43	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	jylC	carbonat-	-57	47,6	52,4	24,6	49,9	12,4	8,7	1,6	1,1	1,6	n.b.	4,5	0,8
	jylC	haltigem	-140	25,8	74,2	18,4	40,2	16,8	13,2	4,4	2,2	4,8	n.b.	4,1	2
	jylC	Bauschutt und Ziegeln	-175	24,6	75,4	15,8	40,7	12,9	14,9	4,9	3,2	8,2	n.b.	5,3	1,4
4	jmC	Vollver-	-10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	yemC	siegelung	-18	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	ymC	über auf-	-30	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	jylC	geschüttetem,	-80	60,7	59,3	20,3	56,2	10,9	8,8	1,6	0,4	1,7	n.b.	3,3	0,6
	jylC	carbonat-	-120	21,7	78,3	4,8	25,6	23,2	24,3	8,2	5	8,1	n.b.	5,6	0,8
	jylC	haltigem Bauschutt und Ziegeln	-240	19,5	80,5	6,7	21,9	19,2	25,4	9,4	6,1	11,4	n.b.	8,8	1,2
5	jAh	Regosol aus	-20	51,9	48,1	12	20,5	12,8	19,1	12,5	4,2	19	16	0	2,8
	ilC	schluffigem Sand- sandigem Lehm	-100	47	53	22,5	50,5	12,5	12,8	0,4	0,4	1	n.b.	0	0,28
6	yemC	Vollver-	-11	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	j1C	siegelung	-25	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,67	n.b.
	jylC	über auf- geschüttetem Sand mit Kies	-100	39,7	60,3	23,3	47,8	13,5	6,5	1,1	0,4	7,6	n.b.	0,65	n.b.

türlichen Substrate (Sande, Kiese) kommen aus der wärmzeitlichen Niederterrasse.

Einige erste Laboranalysen betreffen die Textur sowie die aus dem Feinboden abgeleitete nFK, Angaben zum Gehalt an  $\text{CaCO}_3$  und  $C_{\text{org}}$  treten hinzu (Tab. 1).

Der Anteil des *Skeletts* am Gesamtboden schwankt zwischen 1,1 und 80,5 %. Wie man von anderen Stadtböden weiß, kann es ein hohes – materialabhängiges – Wasserspeichervermögen besitzen. Unsere Untersuchungen dazu sind noch nicht abgeschlossen.

Im *Feinboden* dominiert die Sandfraktion, über 50 % davon sind anthropogenen Ursprungs. Hohe Gesamtschluff-Gehalte in einigen Horizonten (2 eIC: 42,9 %) erbringen entsprechende nFK.

Die gemessenen Gehalte an  $\text{CaCO}_3$  entstammen überwiegend technogenen Substraten (max. 8,8 % in 4 yJIC), wobei die 15,8 % in 2eIC natürlich sind. Letzteres würde bedeuten, dass durch die bisherige Siedlungstätigkeit die holozäne Braunerde bzw. Parabraunerde ausgeräumt und carbonathaltige, spätglaziale Hochflutsedimente des Rheins angeschnitten wurden.

$C_{\text{org}}$  geht auf gärtnerische Aktivität bzw. auf Grünabfall zurück.

#### Ausblick

Die Bundesstadt Bonn, von 1949 bis 1991 Bundeshauptstadt, entwickelt sich zu einem internationalen Zentrum für verschiedene Funktionen und zu einem regionalen Schwerpunkt von Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft. Deshalb ist der Bevölkerungssaldo positiv. Wie nur wenige Städte in der BRD verzeichnet Bonn eine (nachhaltige) Zuwanderung.

Pedologisch bedeutet dies weitere Bodenverluste einschließlich Bodenversiegelung. Flächenrecycling ist praktisch nicht möglich. Daher sollte ein „vorsorgender Bodenschutz“ auch in Bonn Platz greifen, die neue (alte) Hauptstadt Berlin macht es gerade beispielhaft vor (s. Internet).

#### Literatur

AD-HOC-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – Hannover, 438 S. (5. Aufl. = KA 5).

BLUME, H.-P. & SCHLEUSS, U. (Hrsg.) (1997): Bewertung anthropogener Stadtböden. – Schriftenr. Inst. Pflanzenernähr. Bodenk., Univ. Kiel, Nr. 38: 1-346.

BONN – DIE STADT (2007): Boden- und Gewässerschutzbericht 1997-2007. – Bonn, 60 S.

BURGHARDT, W. (1994): Soils in urban and industrial environments. – Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 157: 205-214.

BURGHARDT, W. & W. KNEIB (2001): Arbeitskreis Stadtböden (AKS) – die Stadt hat Böden! – Mitt. DBG 97: 253-257.

ENNEN, E. & D. HÖROLDT (1985): Vom Römerkastell zu Bundeshauptstadt. Kleine Geschichte der Stadt Bonn. – Bonn (Stollfuß), 447 S. (4. Aufl.).

GERLACH, R., R.-W. SCHMITZ & J. THISSEN (1995): Magdalénien-Fundplatz Oberkassel – Nach 80 Jahren eine unverhoffte Chance. – In: Archäologie im Rheinland 1994, S. 17-19.

GROTZ, R. (1997): Die Bonner Innenstadt (City). – In: STIEHL, S. 47-58.

GRUNERT, J. & U. HARDENBICKER (1991): Hangrutschungen im Bonner Raum – ihre Genese und Kartierungen für Planungszwecke. – Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. 89: 35-48.

GRUPE, S. & C. JAWECKI (2004): Geomorphodynamik der Wiener Innenstadt. – Fundort Wien 7: 14-30.

HARDENBICKER, U. (1994): Hangrutschungen im Bonner Raum. Naturräumliche Einordnung und ihre anthropogenen Ursachen. – Arb. z. Rhein. Landesk. 64: 1-105 [= Dissertation].

HARDENBICKER, U., J. GRUNERT & A. SKOWRONEK (1992): Bodenumlagerungen infolge von Hangrutschungen im Bonner Raum. – Mitt. DBG 68: 165-168.

HEUSER, H. (1998): Ingenieurgeologische Karte 1:25 000, 5208 Bonn. Erläuterungen. – Krefeld (GLA), 23 S.

HILLER, D.A. & H. MEUSER (1998): Urbane Böden. – Berlin usw. (Springer), 161 S.

LAUX, H. D. & H. ZEPP (1997): Bonn und seine Region – Geoökologische Grundlagen, historische Entwicklung und Zukunftsperspektiven. – In: STIEHL, S. 9-31.

LEHMANN, A. & K. STAHR (2007): Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. – J. Soils Sediments 7: 247-260.

LULEY, H. (2007): Römische Badeanlage auf Reisen – ein gewichtiger Umzug Bonner Stadtge-

schichte. – In: Archäologie im Rheinland 2006, S. 94-95.

MÜCKENHAUSEN, E. & E. KOPP (1963): Gutachten über die geologischen, bodenkundlichen und bodentechnologischen Verhältnisse der Straßen-Trasse „Goldbergweg-Metzental“. – Inst. f. Bodenk. Univ. Bonn, 19 S. u. Anh. (unveröff.).

MÜCKENHAUSEN, E. & E. KOPP (1963a): Gutachten über die Baugrundverhältnisse des Bauplatzes der geplanten Müllverbrennungsanlage in Mehlem. – Inst. f. Bodenk. Univ. Bonn, 6 S. u. 4 Anl. (unveröff.).

MÜCKENHAUSEN, E. & E. H. MÜLLER (1951): Geologisch-bodenkundliche Kartierung des Stadtkreises Bottrop i. W. für Zwecke der Stadtplanung. – Geol. Jb. 66: 179-202.

SCHMANKE, V., D. KIRCHHAUSEN & J. GRUNERT (1996): Bodengefährdung durch Hangrutschungen. – Mitt. DBG 79: 427-430.

SCHOLZ, M. (in Vorber.): Anthropogene Stadtböden und Bodenfunktionen in Bonn – mit besonderer Berücksichtigung von Flächenversiegelung und Wasserhaushalt. – Diss. Math.-Nat. Fak. Univ. Bonn.

STIEHL, E. (Hrsg.) (1997): Die Stadt Bonn und ihr Umland. Ein geographischer Exkursionsführer. – Arb. z. Rhein Landesk. 66: 1-289.

WESSOLEK, G. (2001): Bodenüberformung und –versiegelung. – Hb. d. Bodenk. 11. Erg. Lfg. 04/01, 27 S.

ZEPP, H. (1984): Die Hochwasserkatastrophe 1983 im Bonner Raum. Aktuelles Naturgeschehen in einer städtisch geprägten Flußlandschaft. – Rhein. Heimatpfl. 21: 1-7.

#### Karten

Ingenieurgeologische Karte 1:25 000, 5208 Bonn, Blatt 1 und 2 (GLA NRW 1998)

Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:50 000 Blatt L 5308 Bonn (GLA NRW 1983)

#### Internet

[www.bonn.de](http://www.bonn.de)

[www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/)

[www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/fis-broker](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/fis-broker)

## **Exkursion Z1 (Belgien)**

### **Understanding soil diversity and ecosystem evolution**

#### *Exkursionsroute*

Tag 0: Anreise Bonn - (Aachen) - Leuven

Tag 2 (Flandern): Leuven - Meerdaal Forest - Zonien Forest – Namur

Tag 3 (Wallonie): Namur – Transinne – Paliseul (Haute Lesse/Ardennen) – Hohes Venn – Bonn

#### *Beiträge zu den einzelnen Stationen*

### **Understanding soil diversity and ecosystem evolution in Meerdaal forest**

Jozef Deckers, Jean Poesen

### **The Zonian Forest, a unique ecosystem for Earth Sciences**

Roger Langohr

### **Valuable soils and some geo-morpho-pedological landscapes in Wallonia**

Patrick Engels (coordinator) and François Barbier, Laurent Bock, Jean Chapelle, Marie Etienne, Vincent Hallet, Martin Laloux, Etienne Juvigné, Xavier Legrain, Roger Langohr, Samantha Rekk, Maurice Strel, Frans Weissen, Claude Willam, Johan Yans (contributors)

### **The highlight of geo-ped sites, pathways for the analysis of some landscapes in Namur Province**

Vincent Hallet

### **Kaolin quarry in Transinne**

Johan Yans

### **Cross section near the kaolin quarry in Transinne: old weathering profiles, peri-glacial soils, present-day soils**

Roger Langohr, Patrick Engels

### **About the site (Paliseul) on forest soils in the Ardenne and the research on forest soils**

Laurent Bock, Frans Weissen

### **Geological history of the Hautes Fagnes & two generations of lithalses**

Etienne Juvigné, Maurice Strel

# Understanding soil diversity and ecosystem evolution in Meerdaal forest

Jozef Deckers<sup>(1)</sup>, Jean Poesen<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, K.U.Leuven

## 1. Introduction

Meerdaal forest is one of the oldest forest complexes of Flanders. In Belgium, forest land is considered old if it has been continuously under forest cover since the time when the first comprehensive map of the Austrian Netherlands was made in 1775, the so-called Ferraris map. The majority of Meerdaal forest has most likely been under continuous forest since the fifteenth century. We also know that already in the 12<sup>th</sup> century a forest called the ‘silva de Miradal’ existed. The Meerdaal forest is one of the few forest complexes which did not suffer major deforestation waves between the second half of the 12<sup>th</sup> and the beginning of the 13<sup>th</sup> century. The larger part of Meerdaal Forest has never been deforested since the elaboration of the Ferraris map around 1771. Based on older documents it is possible to infer that Meerdaal Forest has never been deforested at large scale since 1367. The name “Miradal”, its oldest name refers to a forest in this very location and dates back to 1146. It is commonly stated that Meerdaal Forest and Zonien Forest are the last remains of a major forest, called ‘Silva Carbonara’ or Coal forest, which at the time of the Roman invasion, still covered large areas of Belgium. The general perception of Meerdaal forest being a pristine forest sanctuary, where humans had only a minimal if any influence has been challenged in recent studies of its soilscape and geomorphology. Indeed, despite the pristine overall situation in Meerdaal Forest, a number of ‘human-induced’ landscape features have been discovered recently such as: tumuli, gullies, closed depressions and elevated roads in valley bottoms (Dutch: “agger”). These morphological features indicate a myriad of very early to more recent human influence. These human impacts are also reflected in the soils, which can be considered as an on-line

archive of what happened with the land in Meerdaal forest.

This excursion guide draws up the broader picture of what will be offered during the two-day excursion through Belgium which is tailor-cut prepared for the German Soil Science Society. During the excursion a comprehensive excursion guidebook will be made available for the participants. It will contain recently published papers on the areas visited, providing a more comprehensive account of what will be explained during the planned terrain visits.

## 2. Geographical location of Meerdaal forest

Meerdaal forest is located some 10 km south of Leuven mostly in the Vlaams Brabant province (**Figure 1 and Figure 2**). It is located on an undulating plateau which is slightly inclined to the northwest, which is limited by river valleys on all sides. The highest point is the ‘Tomberg’ at 102.5 m a.s.l. and the lowest place is 35 m a.s.l..

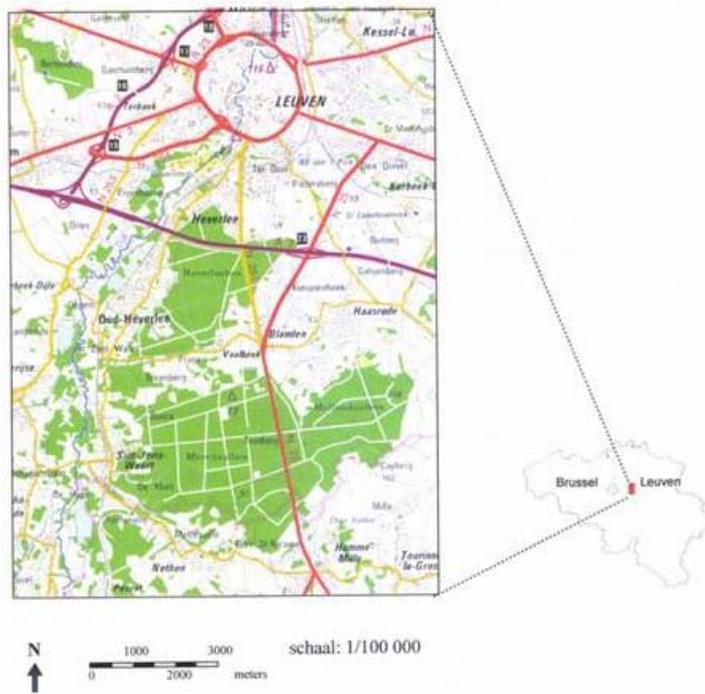
## 3. The soilscape of Meerdaal Forest

The soil map of Meerdaal Forest is shown in **Figure 3**.

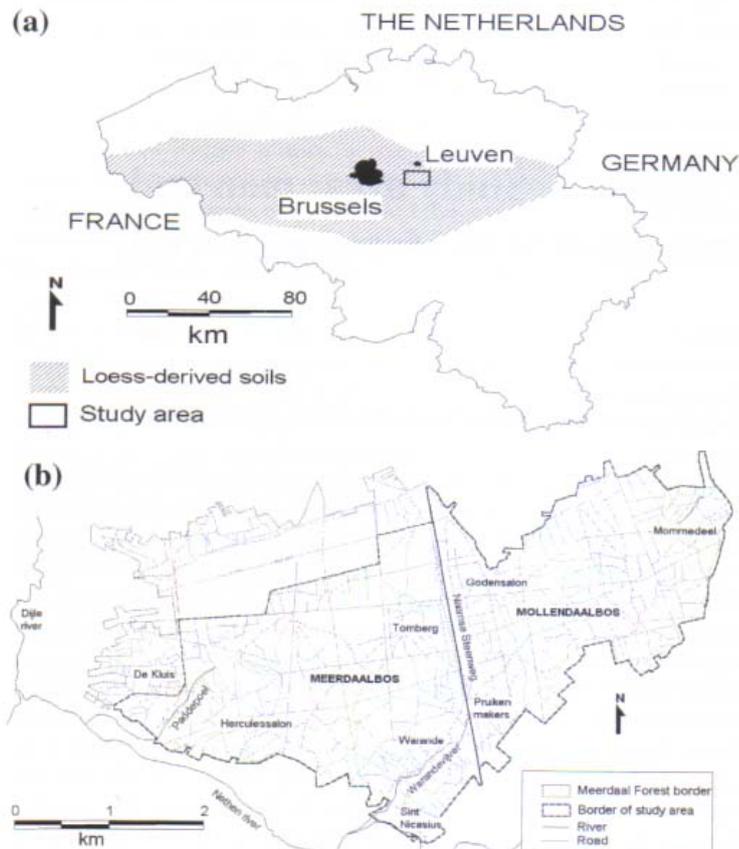
According to the Soil Map of Belgium, 2 major soil associations occur in Meerdaal Forest: the Luvisol/Albeluvisol system and the Podzol system which is associated to locations where the Cenozoic Tertiary sands come near the surface.

### *Focus on the Luvisol/Albeluvisol system*

The Luvisols and Albeluvisols have developed in the thick calcareous Brabantian loess cover on the plateau. Their occurrence is determined by previous land use. The Luvisols are characterized by an argic Horizon which in Meerdaal Forest typically occurs at a depth of 40 to 60 cm. Above the argic horizon normally a pale eluvial E horizon occurs which is less compact than the argic horizons. As the porosity in this horizon is very high, root density usually is so high that some authors call it the ‘biological active layer’, or a new cambic horizon (Langohr, personal Communication).



**Figure 1. Location of Meerdaal forest in Belgium and road map from Leuven**



*Figure 2.1: (a) Location of the Meerdaal Forest within Belgium. The extent of the loess-derived soils is based on the European soil database, version 2 (European Commission Joint Research Centre, 2003). (b) Overview map of Meerdaal Forest, with indication of important locations*

**Figure 2. Location of Meerdaal Forest in the Belgian Loess belt**

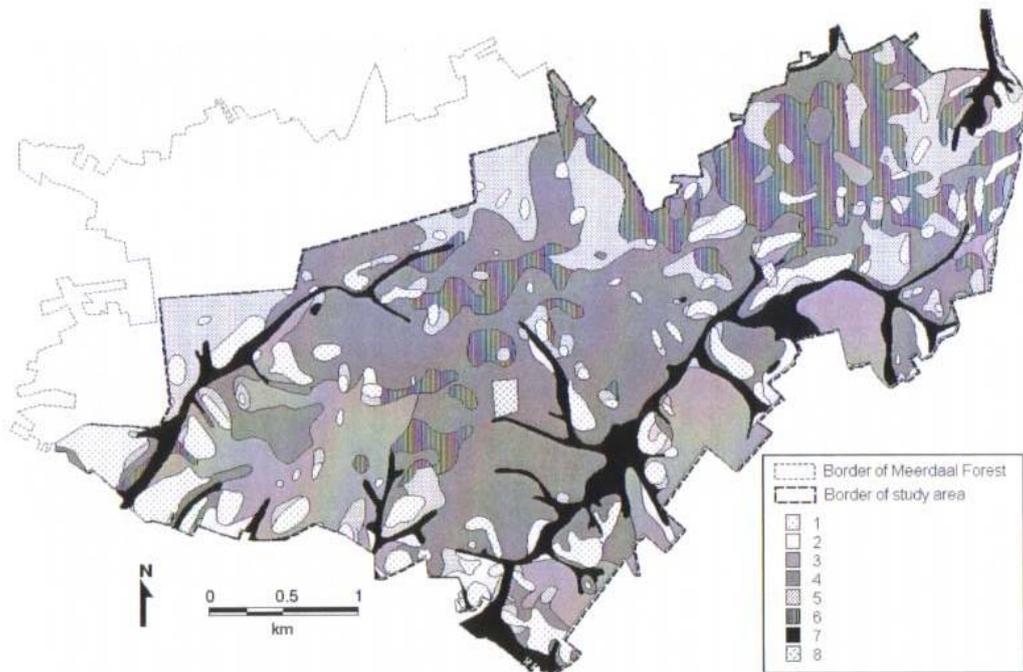


Figure 2.5: Soil map of the study area (adapted from Baeyens et al., 1957). See text for detailed legend.

### Figure 3. Soil map of Meerdaal Forest (after Baeyens et al., 1957)

Legend of Figure 3: 1 = well-drained (loamy) sandy soils with a spodic horizon (Podzols, Dystric Cambisol or Arenosols); 2 = well-drained (sandy) loam soils with an argic horizon (Haplic Luvisol); 3 = well-drained silt (loam) soils with a mottled argic horizon (Haplic Luvisol); 4 = well-drained silt (loam) soils with a strongly mottled argic horizon and albeluvic tonguing (Haplic Albeluvisols); 5 = soils with sandy or clayey substrate at shallow depth (any soil type); 6 = poorly drained soils (Gleysols or Gleyic Luvisols); 7 = alluvial or colluvial soils (Fluvisols or Regosols); 8 = artificial soils (Technosols)

The best conserved Albeluvisols occur in plateau depressions or are buried under one meter of old colluvium on the typically flat-bottomed first order valley floors. They are characterized by a very compact, hard argic horizon in which prominent albeluvic tongues occur in a polygonal pattern. In a horizontal cross section of the argic horizon, typical polygons with a cross section of 20 – 30 can be discerned. Roots penetrating in the argic horizon concentrate in the albeluvic tongues. The inner part of the argic horizon is so compact that it is almost impenetrable for roots.

On slope positions of Meerdaal Forest, Luvisols dominate the soilscape. They have no polygonal tongues in the argic horizon. A layered argic horizon transits at less than 120 cm into an either non-calcareous or calcareous loess. Land on the loess-derived soils is typically covered with a deciduous forest that belongs to the *Quercus-fagetum* group.

The Podzol systems occur in the more sandy parts of Meerdaal forest usually on convexities of the landscape, where Eocene Brusseliaan sands outcrop. Land cover in these parts of the forest is pine trees (*Pinus Corcicana* and *Pinus Silvestris*) with *Calluna Vulgaris* and *Vaccinium Myrtilles* as undergrowth. As the Busselian parent material is relatively rich in clay (glaucanite), Podzols in Meerdaal Forest are not very well developed. However in certain places, under anthropogenic influence a strong podzolisation has been triggered. One example is in the neighbourhood of a Roman settlement, where a fully-fledged Podzol was found in a deposit of shifting sands, clearly linked to wind erosion during human occupation. The sands started to erode after the human settlers cut the forest. The white-washed sands originated from a large area of commonly occurring micro-podzols, of which the micro-albic horizon has been eroded by wind. These sands were deposited on the

leeside of a hill, where a fully-fledged Podzol developed. Most Podzol systems in Meerdaal Forest, especially the ones with a flat topography were strongly disturbed (till 0.5 meter depth) by cultivation and manuring for planting crops such as *Avena* and other cereals. This type of extensive agriculture was common in our forests in the period between final forest cut and replanting. Also a system of beds and furrows was commonly used which lead to a thorough mixing of the topsoil in many locations.

#### **4. Witnesses of human influence in the soilscapes of Meerdaal Forest**

During recent geomorphological, archaeological and pedological investigations, numerous witnesses of human activities have been established dating back to prehistoric and Gallo-Roman times. Meerdaal forest can therefore be considered as a unique archive for soils, landscape and land use reconstruction, as opposed to the nearby agricultural land, where soil erosion by water, tillage, harvest of root and tuber crops has been rampant. In many places, Meerdaal Forest shows geomorphic features which are 'witnesses' of past human-environment interactions. By unraveling the history of land use through geomorphological, archeological and soil investigations a reconstruction of the original soilcape has been made along with the impact of humans on the forest environment. During the excursion we will focus on a major gully system and nearby closed depressions in Meerdaal Forest.

##### **Gullies in Meerdaal Forest**

The linear incisions of Meerdaal Forest can be subdivided into two types on the basis of their spatial distribution and their characteristics.

The first type comprises incisions which most likely came into existence as roads. Passing traffic by people, horse carts has led to soil compaction. During heavy rains the roads served as conduits for surface runoff which caused unchecked soil erosion and incision of gully channels. This type of gullies (road gullies or sunken lanes) is usually located in clusters which are more or less linked to major ancient transport North-South and East-West axes cross-cutting the forest.

A second type of incisions are gullies which seem to be randomly distributed within the forest. Several hypotheses may be put forward to explain their origin. A first hypothesis is that these incisions started as gullies when the area was still under cropland. Another hypothesis is that these gullies were triggered during an extreme rainfall event under forest. A third possible cause is that they were dug out for mining of valuable raw materials, e.g. clay, underlying rock or calcareous loess for liming the cropland. A last possible explanation is that these gullies are natural relict features from late glacial origin. An analysis of factors controlling the development of present-day gullies in cropland provides several arguments supporting the first hypothesis.

##### **Closed depressions**

A second geomorphic feature in Meerdaal Forest which may be linked to human presence and the surrounding cultivated land are the closed depressions (CD). Most of them are located in the vicinity of old road infrastructure. Not less than 71 CD were spotted in Meerdaal Forest, the largest with a depth of 3.6 m and a diameter of more than 70 m (Vanwalleghem et al., 2007).

Several natural processes may be called in to explain the genesis of these closed depressions: e.g. subsidence of the land following ice melt at the end of the last glaciations (thermokarst), dissolution of  $\text{CaCO}_3$  in the calcareous subsoil by local infiltration of acidic rain water (dolines), pipe erosion (subsurface erosion caused by running water through macro-pores), irregular deposition of the loess and bomb craters.

Detailed soil investigations in closed depressions Meerdaal Forest and its surroundings suggests that many of them are old quarries from which people have been mining calcareous loess (at a depth > 2.20 – 2.50 m) for liming the surrounding cropland.

Within Meerdaal forest ca. 5 CD/km<sup>2</sup> are observed whereas under nearby cropland only 1 CD/km<sup>2</sup> is found. This points to the very important role old forests play in conserving old natural and human-induced geomorphic and soil features having a significant geo-value for understanding past human-environment interactions.

## Literature

- Gillijns, K., Poesen, J. and J. Deckers, 2005. On the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe – a case study from central Belgium. *Catena* 60: 43-58.
- Vanwalleghem, T., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Deckers, J., Nachtergaele, J., Van Oost, K. and C. Slenters, 2003. Characteristics and controlling factors of old gullies under forest in a temperate humid climate: a case study from the Meerdaal Forest (Central Belgium). *Geomorphology* 56 (1-2): 15-29.
- Vanwalleghem, T., Verheyen, K., Hermy, M., Poesen, J. and J. Deckers, 2004. Legacies of Roman land-use in the present-day vegetation in Meerdaal Forest (Belgium)? *Belgian Journal of Botany* 137 (2): 181-187.
- Vanwalleghem, T., Poesen, J., Van Den Eeckhaut, M., Nachtergaele, J. and J. Deckers, 2005. Reconstructing rainfall and land-use conditions leading to the development of old gullies. *The Holocene* 15(3): 378-386.
- Vanwalleghem, T., Bork, H.R., Poesen, J., Dotterweich, M., Schmidtchen, G., Deckers, J., Scheers, S. and M. Martens, 2006. Prehistoric and Roman gullying in the European loess belt: a case study from central Belgium. *The Holocene* 16(3): 393-401.
- Vanwalleghem, T., Poesen, J., Vitse, I., Bork, H. R., Dotterweich, M., Schmidtchen, G., Deckers, J., Lang, A. and B. Mauz, 2007. Origin and evolution of closed depressions in central Belgium, European loess belt. *Earth Surface Processes and Landforms* 32: 574-586.
- Vanwalleghem, T., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Govers, G. and J. Deckers, 2008. Spatial analysis of factors controlling the presence of closed depressions and gullies under forest: Application of rare event logistic regression. *Geomorphology* 95: 504-517.
- Vanwalleghem, T., 2004. Environmental Change and Geomorphic Response in Old Forests of the Loess Belt. Doctoral Thesis. Department of Geography, Faculty of Sciences, K.U.Leuven.

## The Zonian Forest, a unique ecosystem for Earth Sciences

Roger Langohr<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratory of Soil Science, Ghent University & Assoc. for the Diffusion of Sciences (ASDIS)

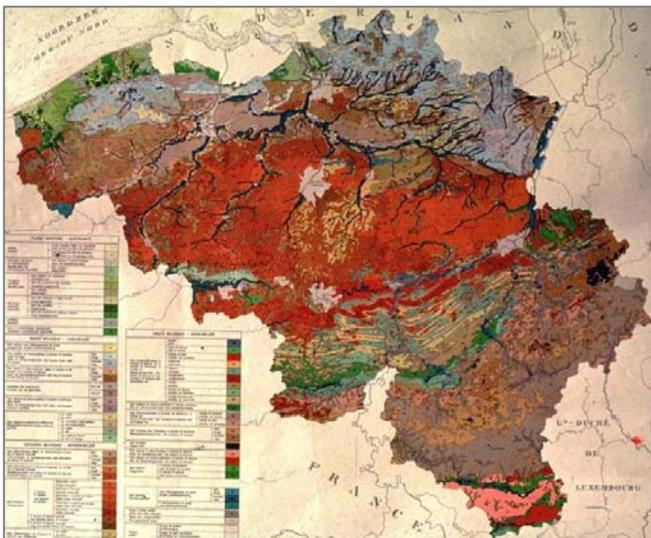
In Western Europe, the Zonian Forest is a unique site for Earth Sciences. Several items stand out for this remarkable forest stand. 1. A very large surface (43 km<sup>2</sup>). 2. A position in the centre of the loess belt of Middle Belgium, an area otherwise characterised by intensive and ancient agriculture. 3 A rather diverse relief, starting from the water divide between Senne and Dyle rivers, with plateau areas and smooth slopes becoming steeper towards the valley bottoms that display a succession of three morphological types. 4. This area has never been cleared for agricultural purposes and hence soils have undergone very little human influence. 5. Since the XIII<sup>th</sup> century a royal forest that has been exceptionally preserved from the ancient practice of cattle grazing under forest cover. Thanks to all these characteristics, relief and soils have been preserved from the erosion and sedimentation processes that have been and are still very active on the agricultural land. Consequently, the present day soil surface is still largely the same as the one that the reindeer ran some 15,000 year ago, during the Last Ice Age. The absence of grazing activities kept the process of bioturbation by soil fauna to a minimum and from a few decimetres depth, the soils show characteristics that originated in environmental conditions of the Last Ice Age. Archaeopedological research on Early Neolithic sites in Belgium showed also that soils of this forest stand, with a very low fertility status for crop growth, are very close to those that the first farmers, some 7,000 years ago, started to clear and cultivate in the loess belt of Belgium. The absence of natural erosion under forest cover comes into evidence by the presence at the soil surface of well preserved human traces that date back to centuries and even several millennia ago. So, nevertheless a limited human occupation, the Zonian Forest conceals exceptionally well preserved archaeological traces.

Today the soils undergo here a degradation mainly related to the passage of forest exploitation engines in various recreation activities. The compression of the soils can be so strong that the growth of the herbaceous vegetation and even the forest regeneration become difficult.

To conclude, the Zonian Forest represents today a unique heritage that deserves to be protected as a nature reserve for earth sciences and archaeology.

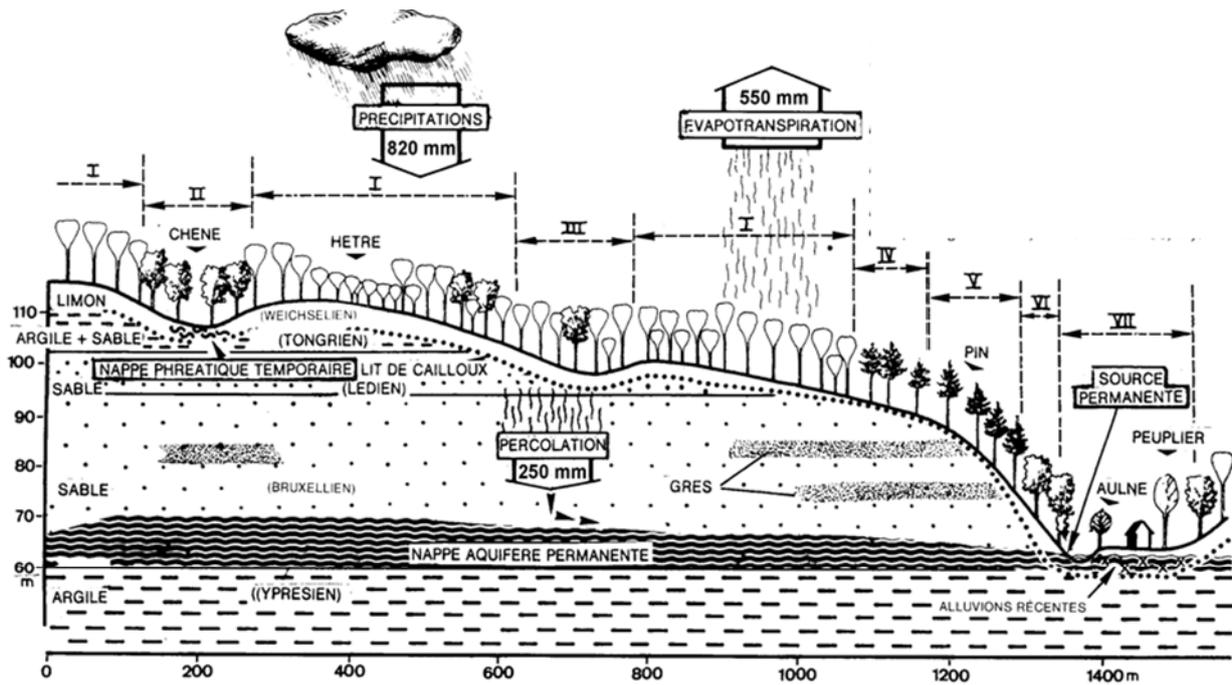
In order to come to a better characterization of this soilscape a series of projects and M.Sc and PhD research programmes were launched since the end of the 1970ies. The data discussed and the features exposed during the excursion give an overview of these research results.

### The loess belt of Belgium



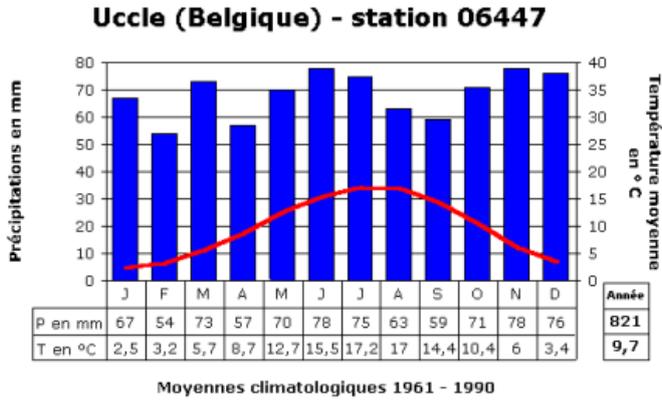
Soil map of Belgium (© Atlas of Belgium). The reddish brown area in the middle of the country corresponds to the silty soils developed in loess. The Zonian Forest is situated just at the south-eastern limit of the town of Brussels (dark brown area) (© Atlas de Belgique, Planche 11B, Institut Géographique Militaire, 1971)

The continuous loess belt of Middle Belgium covers an area of 40 to 80 km large and 250 km long, crossing the French border in the south-west and reaching the Netherlands and Germany in the north-east. Further to the south and the southeast, scattered loess deposits are still encountered over an area of about 50 km. The surface soils are developed in the “**Brabantian loess**”, deposited in the earlier part of the Upper Weichselian, in a period situated between 22.000 and 15.000 y. BP. **The loess thickness** varies according to the geomorphic position. It is thinnest and can be absent on the south, southwest and west facing slopes and also on top of some hills. In these positions soils are often developed directly in the Tertiary substratum (mainly marine sands and/or clays). Once on the plateau positions, the loess can reach several meters thickness within less than hundred meters distance. The thickest deposits are encountered on the smooth northeast, east and southeast facing slopes. In the valley bottoms thickness mostly is again less, probably due to water transport during the periods of deposition. **Originally the loess contained** some 10 % CaCO<sub>3</sub>, 15 % clay minerals, the remaining part is mainly composed of quartz and few feldspars, chlorite and amphibole. The clay fraction is mainly composed of interstratified minerals, but also some smectites, kaolin and micas. Today the depth of loess decarbonation in the area of Brussels is situated between 3 and 3,5 m on plateau and smooth slope positions. It can be considered that the **genesis of the present-day loess soils started** at the beginning of the Late Glacial, some 15.000 y. B.P. Afterwards erosion processes only occurred in the Dryas cold spells, and remained limited to some valley bottom positions and associated steep slopes. The rest of the soilscape remained stable, as long as there was no human interference.



Zonian Forest. Reconstructed geological transect through the loess and Tertiary substratum and main types of tree plantations in function of the soilscape positions

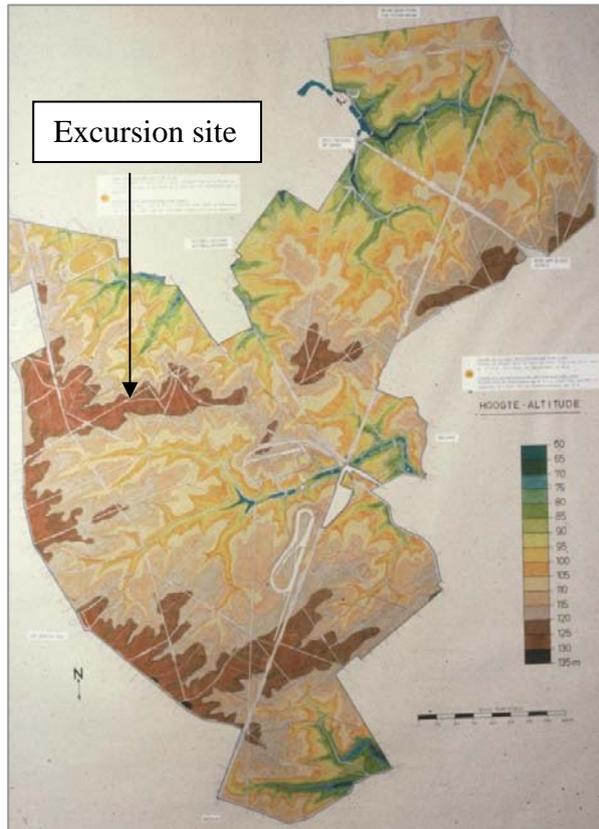
**Climate of the region of Brussels**



The climatogram is indicative of a moist temperate climate. (© <http://www.meteo.be/meteo/view/fr/139844-Climatogrammes.html>)

Under forest canopy it can be considered that there is about 250 mm of excess precipitation over evapotranspiration. So even in the drier years there will be, mainly in winter, some excess water percolation through the soils.

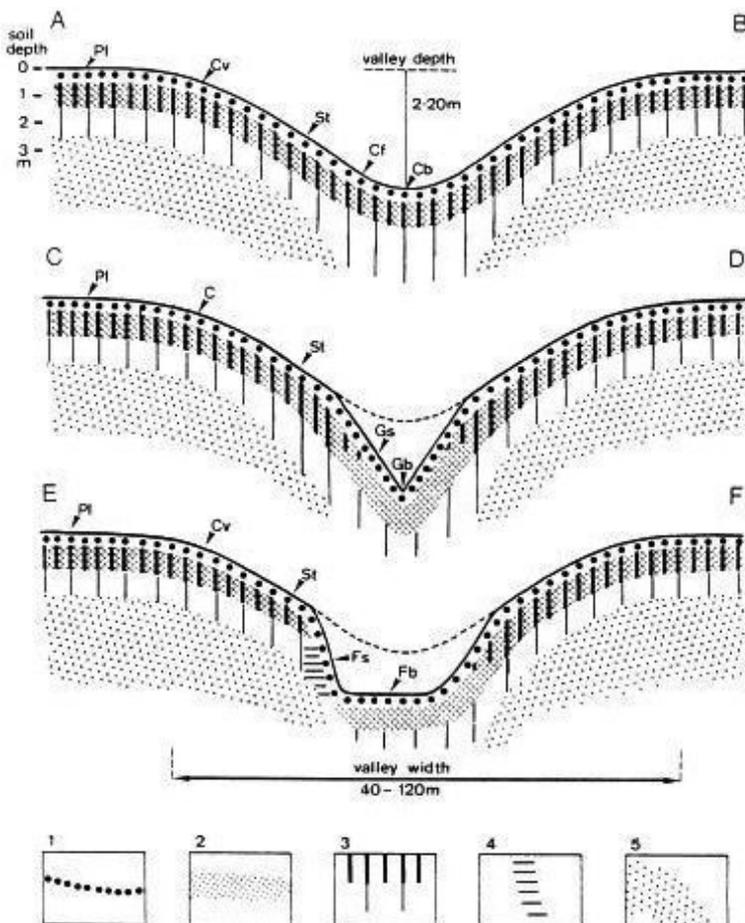
# Geomorphology of the area



Oro-hydrography of the Zonian Forest. Scale units: 250 m. Lowest/highest positions: 60/135 m



Succession of the 3 valley bottom types. I: concave. II: V-shaped gully incision in concave bottom. III: flat-bottom with traces of meander incisions.



Soil-geomorphological associations (schematic) along the three valley bottom types.  
 AB: concave valley, CD: V-shaped incision, EF: flat valley bottom.  
 1: biologically active B horizon; 2: consolidated horizon(s); 3: clay-illuvial horizons; 4: clay migration in bands; 5: calcareous loess (© 1985 John Wiley & Sons Ltd).

**The visited area has been selected for detailed soil studies** because:

- the presence of an E-W oriented dry valley head, allowing the study of a N-Z oriented soil topotranssect.;
- the loess cover is sufficiently thick in this part of the forest to be able to reach in depth the still calcareous loess, even on the slope positions;
- the cartography of the human traces has shown that this area presents a relative low number of human disturbances, allowing the study of soils with a minimum human impact;
- the whole area of the topotranssect and surrounding profiles are within the same forest parcel completely planted with beech and oak in 1865. As the beech grows faster, the oak trees have gradually vanished and only few of them are still observable. The present day forest composition shows that in 135 years, there has been nearly no forest regeneration.
- at the beginning of the investigations, in 1979, the area was devoid of ground vegetation, allowing an easy prospection of special features such as the microtopography, a frequent neglected topic in soil survey;
- parcels for the study of the forest productivity in function of the management type are situated at a few hundreds of meters distance on the same plateau; The wood production is about 10-12 m<sup>3</sup>/ha/year, which is among the highest figures in the world for beech.

The site is close to the most “ideal” conditions for studying the impact of one single factor of soil understanding, i.e. the topographic position, by keeping all the other factors largely identical. Indeed, type of parent material, duration of evolution, geological time record, global climatic conditions, soil moisture regime (all well drained, except for the depression position which is moderately well drained), vegetation, fauna and human interference are largely identical for the four landscape positions studied along the N-S topotranssect (profiles on the plateau, S facing slope, concave depression position and N facing slope).

In addition to the “ideal” toposequence topic, **the following subjects will be shown about soil genesis.**

- Presence/absence and origin of microtopographic features some of which date back to the end of the loess deposition and the start of the genesis of the present day soil.
- Soil variability and the problem of the “modal” soil profile.
- Activity status of soil processes (clay migration, oxido-reduction, soil structure).
- Related distribution of soil morphological features.
- Origin and expression of soil redoximorphic features related to microtopography, traffic, tree trunc and tree root decay, fluctuating groundwater table (stagnogley, pseudogley, gley).
- Micropodzol, or micro-gley?
- Clay migration features: i) the “standard” E/Bt horizons, ii) siltans or skeletans and the short distance migration, iii) E/Bt sequences in bands.
- Depth of decarbonation.
- The variability closed-box structure, a major threat to plant growth (partly considered fragipan).
- Presence/absence of faunal soil bioturbation.
- The 3D approach in soil survey.
- The absence of soil erosion/sedimentation since 15.000 years.
- The tree windthrow structures, the major bioturbation of the loess soilscape without human interference.
- Impact of tree trunc on soil morphology.
- Traces of an iron industry with low furnaces dating back to the 9<sup>th</sup> century.
- Traces of the charcoal production.
- The link between soil geomorphology and soilscape.
- The problem of an adequate soil classification.

About the forest ecosystem dynamics, the following subjects can be observed.

- The contrast in soil chemical fertility between the surface soil and the deep subsoil.
  - What is the limiting factor for the growth of the herbaceous vegetation (the “naked” Beech forest)?
  - Why is there nearly no forest regeneration?
  - The importance of the “biologically active B horizon”.
- Tree root distribution down to the calcareous loess.
  - Is the beech monoculture responsible for the acidity and the Bt “degradation” of the soils?
  - The impact of the traffic pan on trees and herbaceous vegetation.
  - The potential for development of “heath lands” on the loess soils.
  - The construction of an adequate soil map legend oriented towards forest ecosystem management.



A final question : why are the loess soils under agriculture (left) different from those in the forest (middle and right) and what is the cause for the differences among the forest soils?



The Zonian Forest is worldwide known for its « Cathedral » beech stands (left). The valley of the study site (above) as it was when comprehensive soil studies started in 1979: a typical “naked” beech stand.

## Valuable soils and some geo-morpho-pedological landscapes in Wallonia

**Patrick Engels<sup>(1)</sup> (coordinator) and François Barbier<sup>(2)</sup>, Laurent Bock<sup>(3)</sup>, Jean Chapelle<sup>(4)</sup>, Marie Etienne<sup>(5)</sup>, Vincent Hallet<sup>(2)</sup>, Martin Laloux<sup>(6)</sup>, Etienne Juvigné<sup>(7)</sup>, Xavier Legrain<sup>(3)</sup>, Roger Langohr<sup>(8)</sup>, Samantha Rekk<sup>(2)</sup>, Maurice Streel<sup>(9)</sup>, Frans Weissen<sup>(3)</sup>, Claude Willam<sup>(10)</sup>, Johan Yans<sup>(2)</sup> (contributors)**

<sup>(1)</sup> Laboratory of Geopedology – Gembloux Agricultural Faculty & Faculty of Sciences – University of Liège ( [patrick.engels@ulg.ac.be](mailto:patrick.engels@ulg.ac.be) ) & General Directorate for Agriculture, Natural Resources and Environment – Walloon Region ( [patrick.engels@spw.wallonie.be](mailto:patrick.engels@spw.wallonie.be) )

<sup>(2)</sup> Department of Geology – University of Namur ( [francois.barbier@fundp.ac.be](mailto:francois.barbier@fundp.ac.be), [vincent.hallet@fundp.ac.be](mailto:vincent.hallet@fundp.ac.be), [samantha.rekk@fundp.ac.be](mailto:samantha.rekk@fundp.ac.be), [johan.yans@fundp.ac.be](mailto:johan.yans@fundp.ac.be) )

<sup>(3)</sup> Laboratory of Geopedology – Gembloux Agricultural Faculty – University of Liège ( [geopedologie@fsagx.ac.be](mailto:geopedologie@fsagx.ac.be), [bock.l@fsagx.ac.be](mailto:bock.l@fsagx.ac.be), [legrain.x@fsagx.ac.be](mailto:legrain.x@fsagx.ac.be) )

<sup>(4)</sup> Charlemagne Polytechnics – Liège ( [jean.chapelle@hech.be](mailto:jean.chapelle@hech.be) )

<sup>(5)</sup> presently NATAGORA ( [marie.etienne@natagora.be](mailto:marie.etienne@natagora.be) )

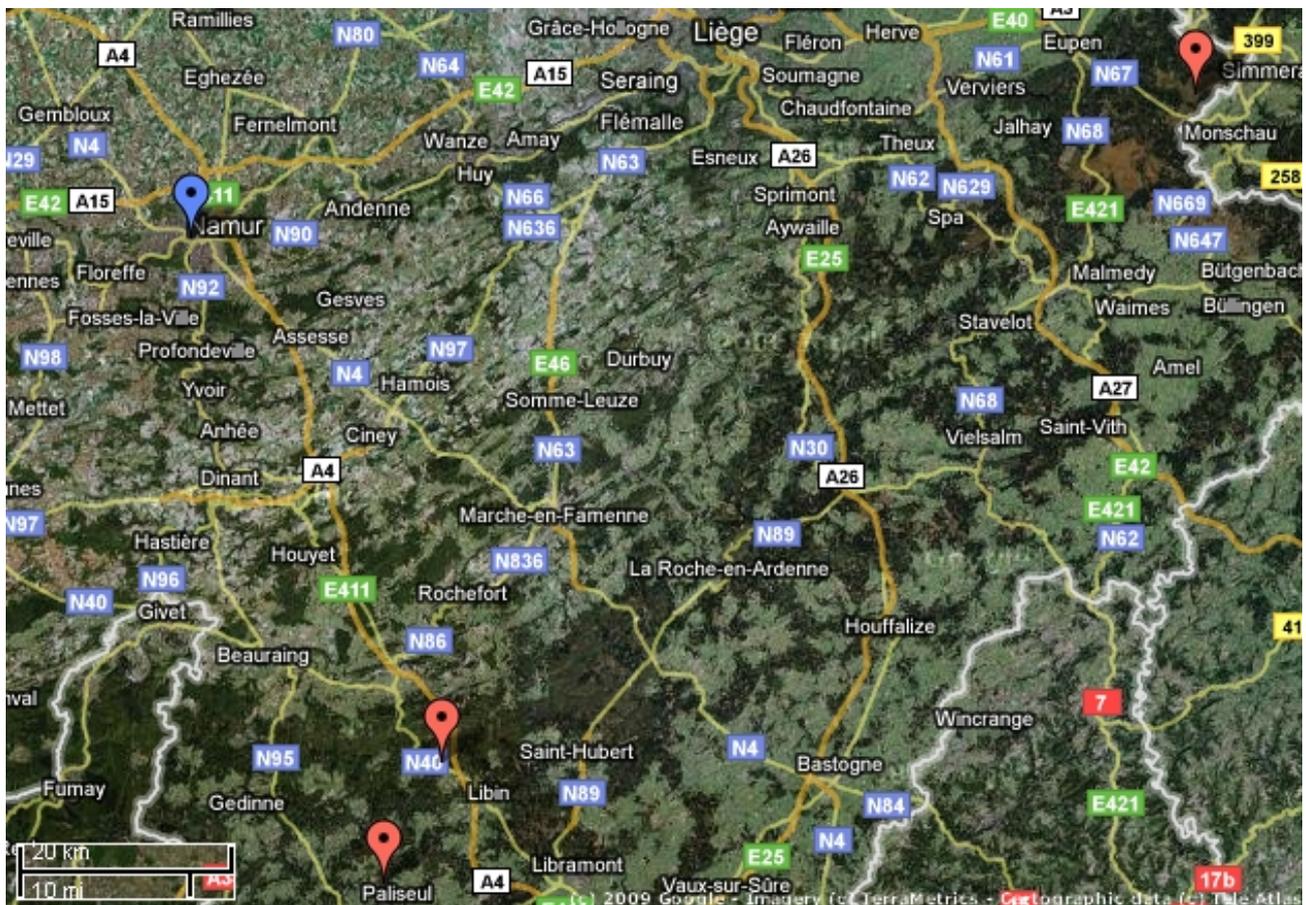
<sup>(6)</sup> Faculty of Sciences – University of Louvain-la-Neuve & General Directorate for Agriculture, Natural Resources and Environment – Walloon Region ( [martin.laloux.ext@spw.wallonie.be](mailto:martin.laloux.ext@spw.wallonie.be) )

<sup>(7)</sup> Laboratory of Geomorphology and Quaternary Geology – Department of Geography – Faculty of Sciences – Liege University ( [ejuvigne@skynet.be](mailto:ejuvigne@skynet.be) )

<sup>(8)</sup> Association for Diffusion of Sciences – Brussels & Laboratory of Soil Science – University of Ghent ( [roger.langohr@skynet.be](mailto:roger.langohr@skynet.be) )

<sup>(9)</sup> Laboratory of Palaeontology – Department of Geology – Faculty of Sciences – University of Liège ( [maurice.streel@ulg.ac.be](mailto:maurice.streel@ulg.ac.be) )

<sup>(10)</sup> Fondation Gouverneur René Close – Province of Namur ( [claudewillam@skynet.be](mailto:claudewillam@skynet.be) )



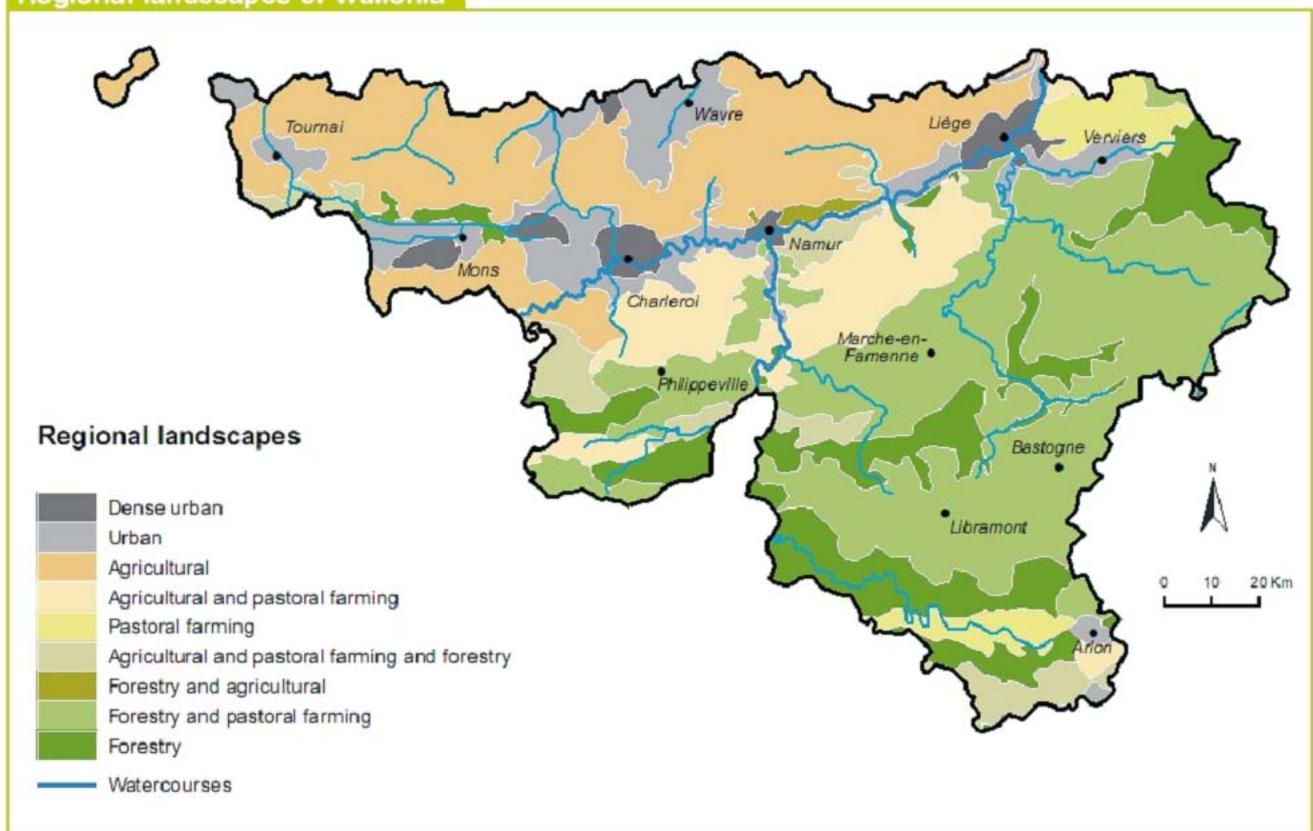
Preliminary remark: The text below is based mainly on geo-morpho-pedological aspects. Analytical data, profiles description and interpretation will be given during the excursion.

## Background information about Wallonia<sup>1</sup>

**The subsoil** in Wallonia is made up of sedimentary and metamorphic rocks (sandstone, quartzite, shale, slate, limestone, etc.) which show on mainly in the south of the Sambre-and-Meuse river line. In the north, more recent marine sediments frequently appear in the form of loose rocks. Most of these are covered with a layer of quaternary loam (loess), which gets thinner as one moves from north to south; this loam, whether or not combined with the underlying substrate, constitutes the parent material from which most soils are formed.

**The climate** is typically maritime and temperate (average annual temperature of 9.7°C and average annual rainfall of 805 mm) with a continental gradient when moving from west to east. Climatic conditions vary according to altitude, and the Ardenne region is characterised by a rather colder, more humid climate (over 1 meter). Rainfall is generally distributed fairly consistently throughout the year.

### Regional landscapes of Wallonia



EOW 2008 – Source : CPDT (produced by CEEW)

**The landscape** of Wallonia is inherited from its rural society. There are agricultural regions in Hesbaye, Condroz and on the Brabant and Hainaut plateaus. Forestry and pastoral farming are more common in the regions of Famenne and Ardenne.

**Human activities** and the development of industry in particular (metal, steel, chemicals, etc.), combined with an increasing demand for coal and transport infrastructures for goods, have resulted in a concentration of industrial activities and population in areas where the density of waterway networks and the richness of the subsoil have permitted it (the Sambre-

<sup>1</sup> Adapted from : *Environmental outlook of Wallonia – 2008 – “Cellule Etat de l’Environnement Wallon”* General Directorate for Agriculture, Natural Resources and Environment – Walloon Region

See also : <http://environnement.wallonie.be/eew/>

and-Meuse river line). With the dawn of the post-industrial society, and the development of mobility, came a rise in the urbanisation of the region, including traditionally rural regions.

***From Brussels crossing the Anticline of Brabant and the loamy region to Namur (63 km)***

From the Zonien/Soignes Forest to Namur, the motorway crosses the southern part of the Cambro-silurian Brabant massif where slates and quartzites outcrop in the deep valleys. These formations are covered by cenozoic deposits, Eocene and Oligocene sands which are observed in the break of slope, and the quaternary loam deposits of periglacial aeolian origin or loess (up to 18 m thick in places) on low plateaus.

That area belongs to (i) the so-called mid-Belgium due to its relief (dissected plateaus by numerous little parallel valleys) and its altitude (120 – 150 m), (ii) the Belgian loess belt due to its loess cover which stretches more or less in the middle of the country, (iii) the agricultural loamy region due to loamy soils developed in the decarbonated layer of loess. Approaching Namur, the agricultural sub-region is also named “Hesbaye”.

According to the World Reference Base (WRB) soils of the loamy plateau are mainly LUVISOLS/ALBELUVISOLS and are intensively cultivated (sugar beet, wheat, barley, rape-seed, potato, maize, flax, peas, etc.). Large square farms are representative of the area in the middle of which Gembloux agro-bio-pole (university centre, research centre and technical school) is located.

The old roman road Bavay (France) – Tongeren – Köln crossed this region in its length following the interfluvium between the two main watersheds of Belgium, the Schelde river watershed in the north and the Meuse river watershed in the south.

**The highlight of geo-pedology, pathways for the analysis of some landscapes in Namur Province**  
(presentation: V. Hallet)

The Namur Province territory covers an area of 3700 km<sup>2</sup>. The bedrock lithologies are characterized by more than 30 different geological formations ranging from the Ordovician to the Silesian systems with almost no discontinuity in deposit sequences. They consist of clastic detritic sediments ranging in size from boulders to clays and of stratified or built-up carbonates. Cenozoic clayey or sandy formations locally cover these Palaeozoic deposits.

Due to the Caledonian and the Variscan orogenies, the Paleozoic formations are faulted and folded. This leads, after various erosion phases, to a particular geomorphology that can be subdivided into 7 geomorphologic units called, from the south to the north: the Ardenne, the Calestienne, the Fagne – Famenne depression, the Condroz, the Ardenian Condroz, the Sambre and Meuse depression and the Hesbaye plateau.



*Tournaisian limestone cliffs of Freyr*  
(photo: V. Hallet)

The high variability of the geological and geomorphologic contexts of the Namur Province has led to the observation of a wide variety of soils. To discover such a rich natural heritage, a project of 10 itineraries has been proposed for funding to the “Fondation Gouverneur René Close”.

The objective of the project is to sensitize a non scientific public to the geological evolution of

our continent, to introduce them to landscape observation and to establish links between ground lithology, pedology and land-uses. For each path, observation spots will be described in an explanation booklet available from the province or tourism offices, etc. Additional detailed information can be downloaded under pdf form from their office websites.

### ***In the Syncline of Namur (a night along the Meuse river)***

Namur in itself is located in the Devonian-carboniferian bent Syncline of Namur which stretches south-west – north-west from the French border to the German border.

As the Sambre river, which flows into the Meuse river in Namur (the confluence is dominated by the “citadelle de Namur”), and the Meuse river between Namur and Maastricht are following its depression, the Syncline is geomorphologically identified as the Sambromosan strip.

With the silesian coalmine areas (Mons-Charleroi and Liège) at both its extremities, the main towns of Wallonia are located along that also called industrial axis.

Old houses made with bricks and limestone are typical of the “Hesbignon-mosan style” and Namur is considered by tourists as the door of the Ardennes... which does not fit with the geological delimitation of the Ardenne (without s) Anticlinorium.

### ***On the way to Transinne (66 km)***

Leaving the Syncline of Namur, our route will cross the so-called “Faille du Midi” or Eifelian fault.

Entering the Synclinorium of Dinant, all the geological formations are oriented SW – NE and will successively correspond to the following geomorphological units:

- an afforested Ordovico-silurian area; that last high elevated area (about 275 m) is called the Ardenian Condroz.
- the pseudo-appalachian relief of Condroz resulting from a succession of upper

Devonian micaceous sandstone<sup>2</sup> (psammite, as Belgian denomination) anticlines (250 m to 375 m) and of Tournaisian and Visean limestone<sup>3</sup> synclines (200 m) giving a parallel succession of ridges and depressions,

- the upper Devonian shale Depression of Famenne<sup>4</sup> (elevation about 150 m),
- the mid and upper Devonian limestone<sup>5</sup> responsible of the southern relief of Calestienne (elevation 150 m to 200 m).

The Condroz is a region of more familial and mixed farming (crops and animal breeding) ploughed land, grassland and forests represent one third of the surface each. Apart from psammitic or lime stony soils, large discontinuous loess deposits have been trapped in karstic positions and gave relatively deep loamy soils (LUVISOLS).

The Famenne is a region of relatively shallow soils on shale and devoted to meadows and maize fields for animal breeding.

The Calestienne is mainly afforested but is also famous for its caves, not only the “grottes de Han-sur-Lesse” but also the caves of Couvin, Nismes, Rochefort, Hotton, and Remouchamps (all along the same formation from close to France to close to Germany), etc. It is typically a karstic region. Its name (in local dialect) should mean the lime mount (cal for calcaire = lime) or the bare mount (cal for chauve = bare) because one century ago it was sheep grazed. Some research programmes are now studying the vegetation of inherited calcareous prairie from past human action and the way to maintain some of them.

It is only after the Calestienne that we face the steep northern slope of the Cambro-devonian Anticlinorium of the Ardenne. Then to Transinne, we will successively cross formations of the Middle (Eifelian in depression) and Lower Devonian (Emsian,

---

<sup>2</sup> mainly Skeletic CAMBISOLS and LUVISOLS

<sup>3</sup> mainly Skeletic CAMBISOLS and Chromic LUVISOLS on decalcification clay (terra fusca)

<sup>4</sup> mainly Clayic or Skeletic CAMBISOLS

<sup>5</sup> mainly Skeletic CAMBISOLS

Praguian and Lockovian) of Low-Ardenne. Main rocks are shale, slate, sandstone, quartzite and conglomerate. Elevations vary from 155m along the Lesse river to 450 m in Transinne

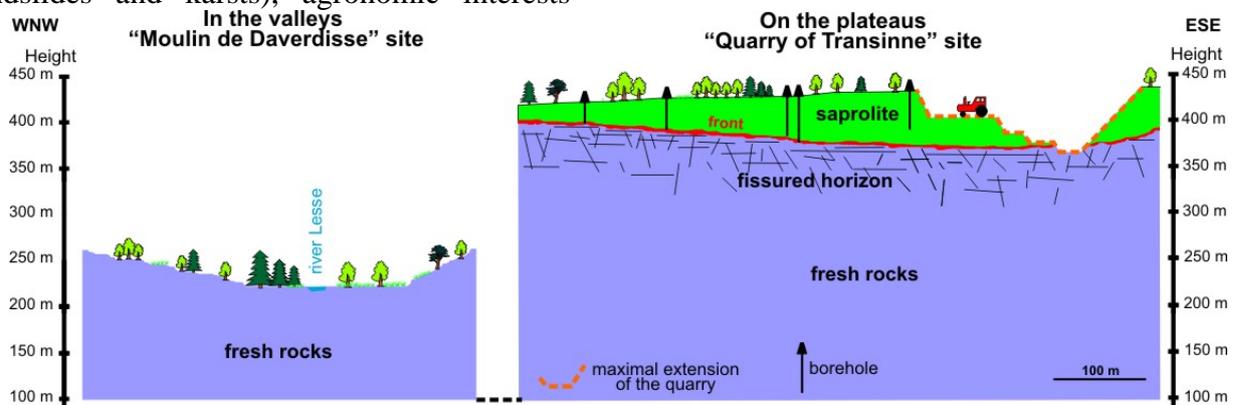
### Kaolin quarry in Transinne (presentation: J. Yans)



(photo: F. Barbier)

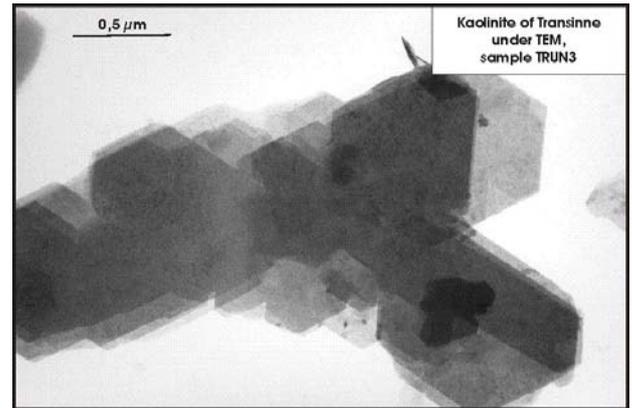
Two kinds of maps currently deal with the rocks of the substratum: (i) the pedological maps, compiling the information from the upper 120 centimeters, and (ii) the geological maps, that summarize the data of the fresh (= unweathered) rocks. The weathered rocks, located below 120 centimeters, are not mentioned in those two maps.

They are however essential for a better sustained management of the (sub)soils. The weathered rocks contain ore deposits (e.g. iron, aluminium). The knowledge of weathered rocks is useful for aquifers, risk zones (landslides and karsts), agronomic interests



Cross-sections (east – west) showing the differences between valleys and plateaus

(cation supplies) and particular engineering techniques (due to the soft material).



The quarry of kaolin of Transinne (Haute-Lesse area) cuts a 65m-thick saprolite covered by a soil. The mineralogy of the kaolin consists in quartz, kaolinite and illite with small amounts of Fe-Mn oxy-hydroxides.

The topographic control of the weathered rocks is essential: in the Haute-Lesse area the saprolites are located on the plateaus although the valleys reached the fresh rocks.

For a decade now, numerous techniques have been used to date the weathering phases able to generate such thick saprolites : Ar-Ar dating on K-Mn oxides (cryptomelanes), paleomagnetism on Fe-oxides and stable O-H on kaolinite allow to constraint the geological story of the weathering.

**Cross section near the kaolin quarry in Transinne: old weathering profiles, peri-glacial soils, present-day soils**  
(presentation: R. Langohr & P. Engels)

On the plateaus of the Ardenne and, especially, in afforested areas, peri-glacial features can be observed in the soils: tongues of albic horizon (called “argile blanche” in the common language), fragipan, etc.



*Profile in Transinne with tongues and stone line (photo: R. Langohr)*

Unfortunately, during the survey (1950-1991) for the setting up of the Soil Map of Belgium, those features were not taken into account because (i) the research on peri-glacial soil characteristics has largely started after the establishment of the legend (*Belgian classification*), (ii) the survey in afforested areas was conducted less intensely than in the agricultural areas, even if the same grid sampling schema was used. In fact the Soil Map of Belgium has been elaborated for the revival of the agriculture after World War 2 than for forestry purposes.

According to *Belgian classification*, the majority of the profile developments of the Ardenne were classified in the legend as having

a structural B (CAMBISOLS) or “undefined” with profile development. For the latter, we can consider that these are PLANOSOLS. Other soils show pseudo-gley and gley features (Endo/Epigleyic Skeletic CAMBISOLS, GLEYSOLS and STAGNOSOLS). Some soils on coarse sandstones or quartzites show attenuated podzolisation (Entic PODZOLS). Finally, Siltic CAMBISOLS with good natural drainage are not rare in certain areas of the plateaus.

***On the way to Paliseul and Paliseul***

Paliseul site is located in the same lockovian geological context with reddish and greenish shale (soil profile 1, altitude 425 m) or blue grey shale (soil profile 2, altitude 435 m), locally sandston, slightly micaceous and with quartz veins.

Foresters classically subdivide the Ardenne in three altitudinal levels, the Lower (350-450 m), Middle (450-550 m) and Upper Arden (550 until 694 m at Botrange signal in the Hautes Fagnes), the highest point of Belgium). But by combining altitude, aspect and west – east weather differences, this natural region is also subdivided into different ecological territories. Taking into account that ecological subdivision and interpreting the Soil Map of Belgium in terms of hydric and trophic criteria, an ecological file of forest tree species and a guide of afforestation have been established for Wallonia.

**About the site (Paliseul) on forest soils in the Ardenne and the research on forest soils** (presentation: L. Bock & F. Weissen)

For over 40 years and until 2000, a well established Gembloux Agricultural Faculty research group was involved in forest soil investigations in southern Belgium and has published intensively under the names of F. Delecour (humus, organic matter fractionation, data base, etc), H. van Praag (nitrogen dynamic, soil solution, soil – root relations, sap element transfer, etc.) and F. Weissen (nutrient cycles, fertilization, element balance sheet at

catchment level, forest decline, soil-based advice guide for afforestation, etc.).



*A tree climber collecting top leaves and top branches of an oak tree (photo: L. Bock)*

Between 2000-2003, a project was conducted by M. Etienne, L. Bock and F. Weissen on “Identification of edaphic risks for indigenous oak sanitary state and research of stabilization means in oligotrophic conditions”. On the basis of the Soil Map of Belgium and its interpretation using the hydric and trophic keys of the soil-based advice guide for afforestation, 12 sites were studied for different possible risks in Wallonia and mainly in the Ardenne. Soil profile description and extensive analysis, topsoil composite sample analysis, humus characterization, tree top leaf analysis and tree crown state monitoring were performed.

The two sites we visit are located near Paliseul in the western Ardenne ecological territory on Hyperdystric Endoskeletal (shaly/sandstone) Cambisols (Chromic, Densic and with features of solifluxion in some cases) with Eumoder to Hemimoder humus. One site corresponds to seed planting. Even if different edaphic stresses have been confirmed, the main conclusion by F. Weissen focuses on silvicultural problems.

More recently, the project sites have been used to train technicians of the permanent forest inventory and build a base of a reference system on forest soils.



*Hyperdystric Endoskeletal (shaly/sandstone) Cambisols (Chromic, Densic with Eumoder to Hemimoder humus (photo: L. Bock)*

Consequently, the visit will also be the opportunity to introduce the Numerical Soil Map of Wallonia and to comment the results obtained by the Laboratory of Geopedology of Gembloux during the 5 last years in its pedological contribution to the permanent forest inventory, namely the database in progress concerning the topsoil fertility state of the forest soils of Wallonia.

### ***On the way to Konnerzvenn (160 km)***

From Paliseul to Aywaille, the road crosses the Ardenne and the same soils as described above cover the bedrock. The landscape is dominated by forest where sandstone outcrops and by grassland and in some cases by cultivated lands, where shale and slate are the parent materials. On the road, some typical villages or small cities are touristic.

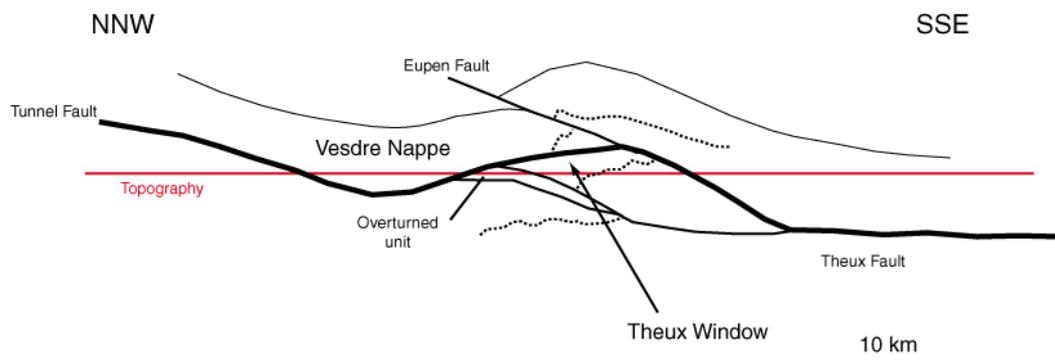
At Remouchamps, well known for its cave with its famous underground river (called the “Rubicon”), the motorway crosses the eastern part of the Calestienne unit. Additional information: some pillars of the viaduct over the Amblève river are built on karstic areas.

Later on, two anticlines and one syncline of the eastern part of the Condroz can be well observed.

From now on, turning to the east, the road crosses a particular geological unit, called the “Theux window”: the topography is unique since the unit is a broad depression, in relation to surrounding higher lands, centred on the Hoëgne valley.

The geological explanation of this structure is rather complicated but could be summarized as

follows: the phenomenon is a fault-bounded tectonic window exposing Silesian (north – west) to Cambrian (in the south – east) sediments with a complex geological structure. It is limited by the Theux fault that separates a sheet, the Vesdre nappe, allochthonous, from its foreland, the Herve unit. That fault has the same kinematics significance as the Midi – Eifelian fault (called also the Aachen fault).



*Schematic cross-section, with the main structural elements along a profile crossing the “Theux Window” (topography and scale are indicative) (figure: M. Laloux)*

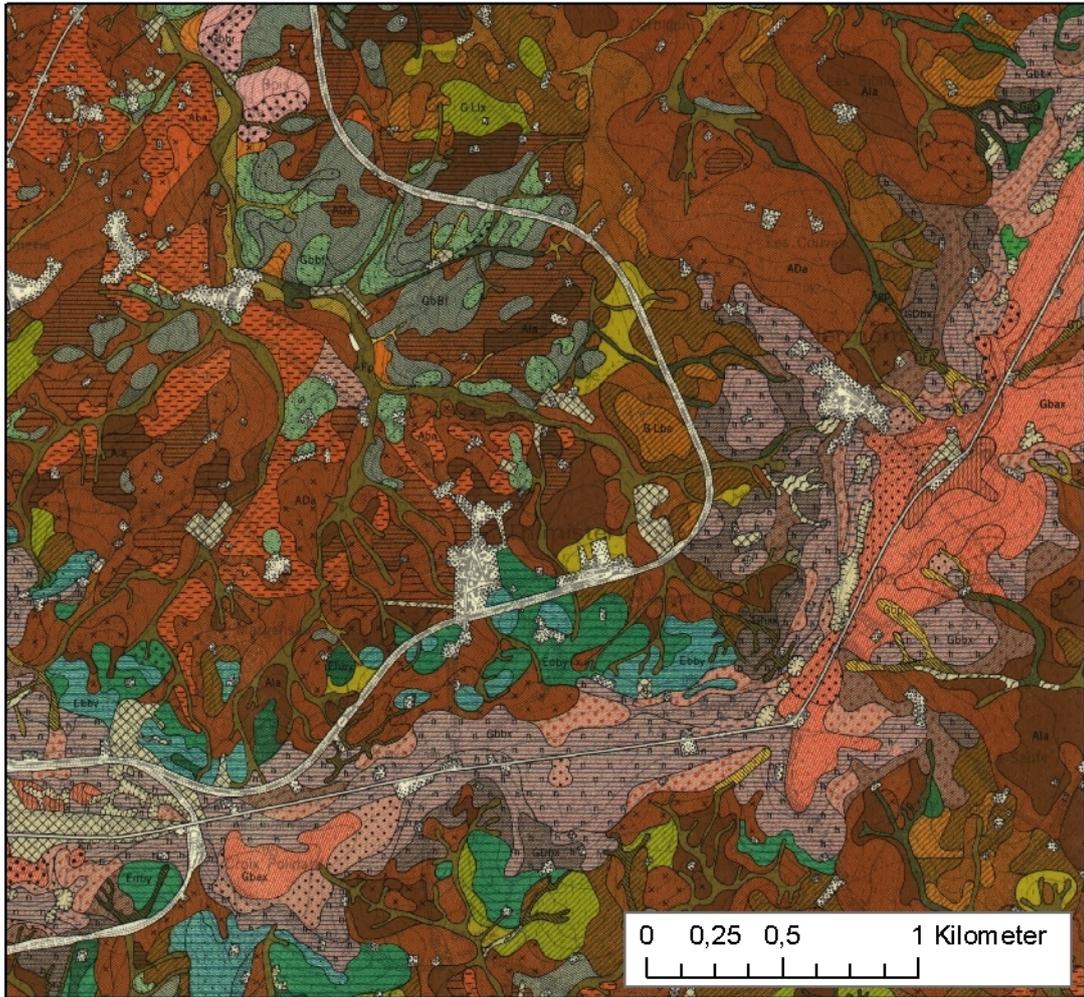
Near Verviers, the motorway comes in the Vesdre nappe which is composed of rocks previously encountered in the Synclinorium of Dinant.

Then, at the intersection of the two motorways Brussels – Köln and Battice – Trier, the landscape is dominated by grassland and orchards (syrup production) surrounded by hedgerows (such a landscape is called “bocage” like in Normandy). That natural region is called the “Pays de Herve” and is devoted to dairy cattle husbandry (production of milk and smelting cheese). The substratum is made of sandstone and shale of the Silesian (folded and faulted massifs) and in discontinuity with upper-Cretaceous (monoclinical structure), respectively from bottom to top : sands of the Aachen formation, clays of the Vaals formation and chalk with silex of the Gulpen formation. The loess deposits are also important on the

plateaus but they are thinner than in Hesbaye. The landslides are frequent at the surface between clays and upper sediments.

Due to the rocks or due to the alteration of the rocks in more or less clayey materials, the soils often present a deficient natural drainage.

The distribution of the main soils (see map on next page) is very specific: Skeletic (Endogleyic) CAMBISOLS where the Silesian rocks outcrop (dark green colour on the map) , Clayic CAMBISOLS (green light and blue colours on the map), Clayic or Skeletic CAMBISOLS/LUVISOLS on decalcification clay (of the chalk) with silex (pink and salmon colours on the map) and Epigleyic/Endogleyic Siltic LUVISOLS on loess deposits (brown colours on the map).



*Soil Map of Belgium (extract of the map sheet of Herve; author P. Pahaut under the direction of R. Tavernier; publication year: 1961)*

The motorway follows the new railway line (TGV) Brussels – Köln and is parallel to the historic Charlemagne road (Laon (France) – Dinant – Liège – Aachen); the “Pays de Herve” ends near Eupen, considered as the door of the Hohes Venn land (Hautes Fagnes in French).

**Geological history of the Hautes Fagnes & two generations of lithalses**  
(Presentation: E. Juvigné & M. Streel)

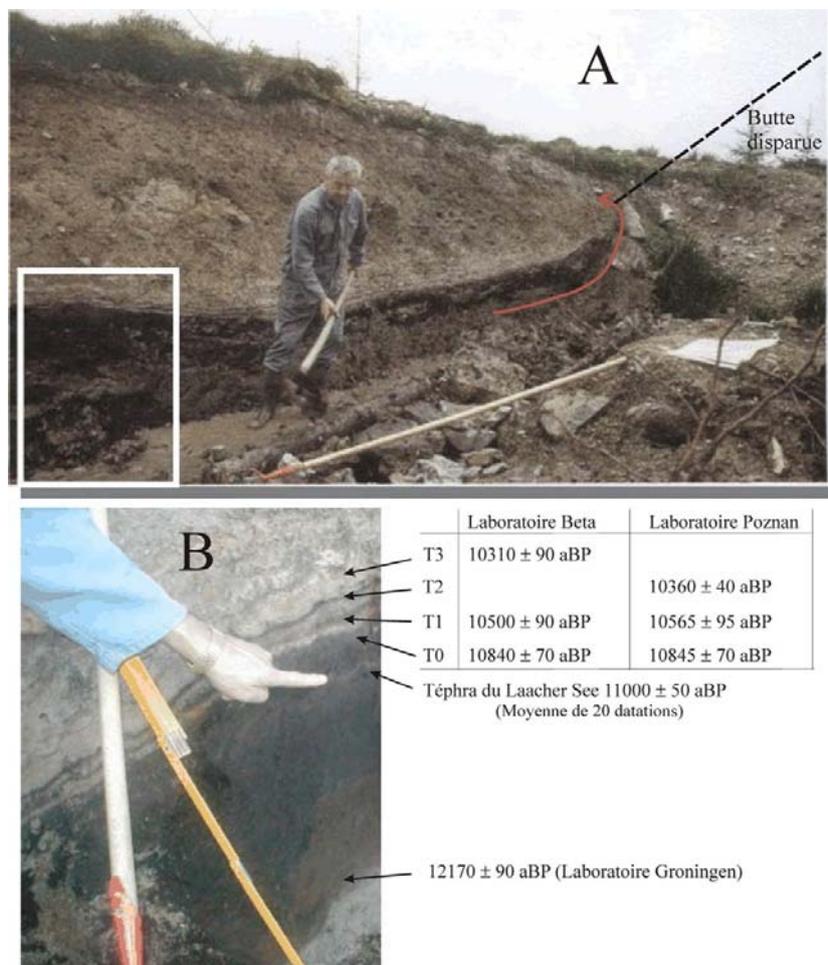
The rocks of higher Belgium formed under the sea during Cambrian and early to middle Ordovician in mid southern latitudes. They were folded during the Caledonian uplift (late Ordovician), giving rise to the Stavelot massif which is part of the Caledonian mountain belt. It was folded again in the late Carboniferous. During a long continental period (150 My from Permian to lower Cretaceous) outcropping

rocks have suffered deep weathering while shifting from Equator to the Cancer Tropic. Later on, the northern part of the Ardenne including the Hautes Fagnes was covered by sea, first during the Cretaceous, then after a continental phase (Eocene), during the Oligocene. In the late Oligocene the uplifting of the Ardenne restarted, first slowly until the transition early/late Pleistocene, then rapidly during the Middle Pleistocene. Such an acceleration of the uplifting has given rise to deep cutting of the main rivers. As a consequence of tropical weathering of rocks during the Trias and Jurassic periods, as well as of deposition of Cretaceous chalk and Oligocene sand, a few meter thick cover of soft rocks is still present in the Hautes Fagnes. Those terrains have hosted the formation of vast lithalsas fields above 550 m in elevation during the Younger Dryas.

On most of the Hautes Fagnes, HISTOSOLS cover all these formations.

After sedimentological investigations through several lithalses ramparts in the north – east Hautes Fagnes between Eupen and Monschau, a stratotype has been saved at the Konnerzvenn. This exhibits several layers of peat which allowed us to conclude the following. A thick peat layer has formed during the Bølling and Allerød oscillations in a basin made of a remnant of an Old Dryas lithalse. A

second generation of lithalses has grown up some 300 years after the drastic cooling phase giving rise to the Youngest Dryas; the growing of the peri-glacial hill has lasted some 300 years. A comparison with a reference curve from the north Sea shows that the growing phase predates immediately the coldest period of the Youngest Dryas.



*Stratotype at the Konnerzvenn*

End note: Geological Map of Wallonia and Numerical Soil Map of Wallonia can be consulted as many other maps (Relief, Erosion, Hydrogeological maps, Flooded areas, Land-uses, etc.) throughout Internet WebGIS applications available on:

- <http://cartographie.wallonie.be> (the geo-portal of the Walloon Region)
- [http://environnement.wallonie.be/cartosig/pg\\_menu/webgis\\_internet.asp](http://environnement.wallonie.be/cartosig/pg_menu/webgis_internet.asp) (the geo-portal of the General Directorate for Agriculture, Natural Resources and Environment of the Walloon Region)

## **Exkursion G1 Rekultivierung landwirtschaftlicher Flächen im rheinischen Braunkohlenrevier im Wandel der Zeit**

G. Dumbeck

### **1. Zielsetzung der Exkursion**

Im rheinischen Braunkohlenrevier werden seit vielen Jahrzehnten großflächige Rekultivierungsmaßnahmen durchgeführt. Bedingt durch den technischen Fortschritt kamen unterschiedliche Rekultivierungsverfahren zum Einsatz, die oftmals auch ganz charakteristische Böden und somit den jeweiligen Rekultivierungsverfahren zuzuordnende Eigenschaften besitzen. Neben dem Kippenpflug- und dem Spülverfahren kamen auch die heute noch praktizierten Groß- und Kleinabsetzer zum Einsatz.

Die Umlagerung der Lössverwitterungsböden stellt hohe Anforderungen an die Verfahrenstechnik. Ziel ist es Böden herzustellen, die über eine ungestörte Durchwurzelbarkeit, eine hohe nutzbare Feldkapazität, eine hohe Ertragsfähigkeit sowie eine leichte Bearbeitbarkeit verfügen.

Im Rahmen der Exkursion werden vier Standorte mit unterschiedlich rekultivierten Böden vorgestellt, die vor 13 bis 52 Jahren mit verschiedenen Verfahrenstechniken rekultiviert wurden. Neben der Rekultivierungstechnik werden die bodenkundlichen Besonderheiten ordnungsgemäß aber auch schadhaft rekultivierter Standorte präsentiert, wobei sich das Augenmerk insbesondere auf die gefügekundlichen Aspekte - auf die Problematik von Verdichtungen - richtet.

Sofern es die Witterungsverhältnisse erlauben, wird im Rahmen der Exkursion eine Befahrung des Tagebaus Garzweiler mit Besichtigung eines Schaufelradbaggers sowie der Erläuterung der abbau- und verkipfungstechnischen Besonderheiten stattfinden. Zudem kann auch das aktuelle Rekultivierungsgeschehen in Augenschein genommen werden.

### **2. Exkursionsroute**

Die Exkursion verläuft über Grevenbroich-Neurath, wo die ältesten rekultivierten Ackerstandorte (zwei Profile) vorgestellt werden. Die Bodenmaterialverbringung erfolgte dort Mitte des letzten Jahrhunderts mittels des **Kippenpflugverfahrens**. Südlich von Neurath liegt der ehemalige Tagebau Fortuna, der in den Jahren 1995 bis 2005 im Sonderbetrieb mittels **Kleinabsetzer** rekultiviert wurde. Westlich des Rekultivierungsgebietes liegt die Ortschaft Bedburg, östlich befindet sich der Umsiedlungsstandort Bedburg-Rath.

---

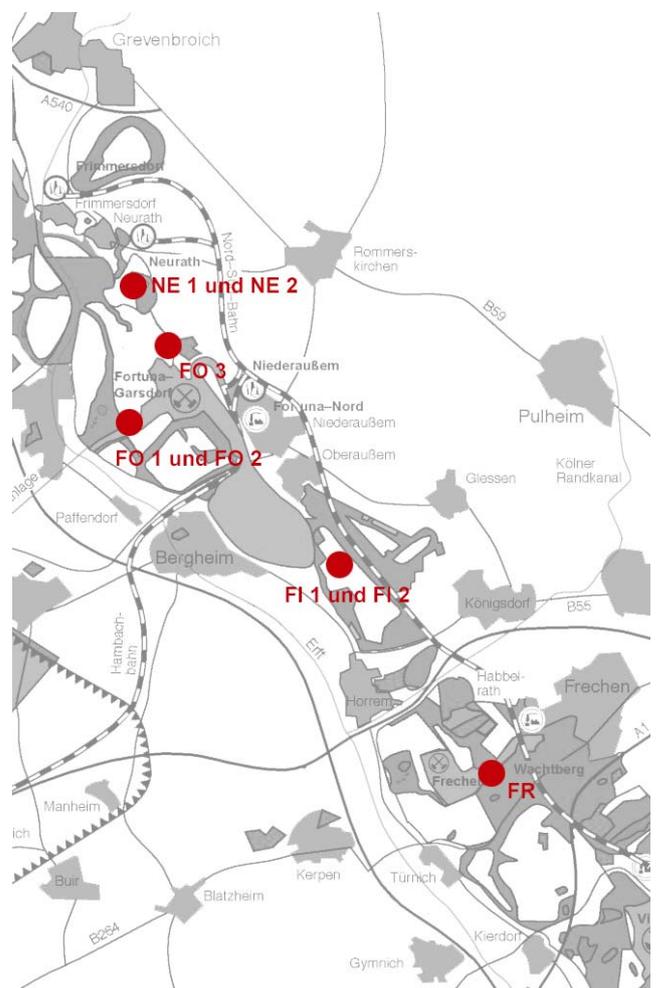
Dr. G. Dumbeck  
RWE Power AG  
Rekultivierung Land- und Forstwirtschaft  
Friedrich-Ebert-Straße 104  
50374 Erfstadt

Entsprechende Befahrungsverhältnisse vorausgesetzt, werden anschließend der Tagebau Garzweiler sowie das unmittelbar angrenzende Rekultivierungsgebiet befahren. Dabei können sowohl das aktuelle Abbau- als auch das Rekultivierungsgeschehen in Augenschein genommen werden.

Der Standort Fortuna/Fischbach liegt auf einer überhöhten Innenkippe östlich von Quadrath-Ichendorf. Sie wurde im Zeitraum 1967 bis 1991 mittels **Großabsetzertechnologie** hergestellt.

Südlich der BAB A 4 Köln - Aachen befindet sich im teils mit dem **Spülverfahren** rekultivierten Tagebau Frechen der letzte Standort der Exkursion. Er liegt in der Nähe der Ortschaft Kerpen-Türnich.

Lage der Bodenprofile im Exkursionsgebiet



### **3. Beschreibung des Exkursionsgebietes**

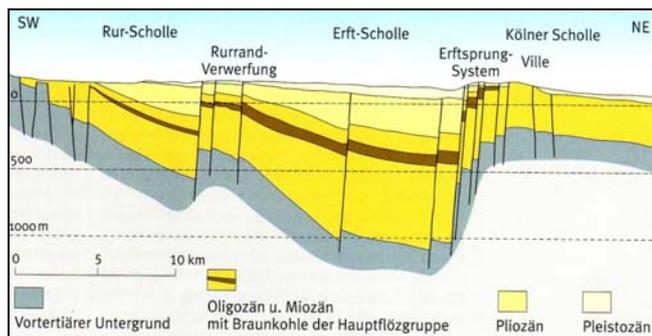
Das Exkursionsgebiet liegt in der Niederrheinischen Bucht. Auf einer Fläche von rd. 2.500 km<sup>2</sup> erstreckt sich das rheinische Braunkohlenrevier. Mit seiner enormen Ausdehnung gilt es als die größte zusammenhängende Lagerstätte Westeuropas (ca. 55 Mrd. t). Mit einer Jahresförderung von ca. 100 Mio. t Rohbraunkohle und deren Verstromung in den nahegelegenen Kraftwerken werden ca. 50 % des gesamten Strombedarfs in NRW gedeckt. Der sich

seit vier Jahrhunderten vollziehende Abbau der Braunkohle hat insbesondere seit dem 20. Jahrhundert den Naturraum der Niederrheinischen Bucht erheblich verändert.

Die Niederrheinische Bucht stellt ein tektonisches Einbruchgebiet dar. Mit Beginn des Tertiärs setzten die Senkungsvorgänge und die dadurch bedingten Schollenbewegungen ein. In der Niederrheinischen Bucht lassen sich drei Hauptschollen unterscheiden, und zwar die Kölner Scholle einschließlich des Villerückens sowie die Erft- und die Rurscholle. Alle Schollen fallen nach Nordosten ein.

Südwestlich wird die Niederrheinische Bucht vom Hohen Venn und der Rureifel begrenzt, östlich von den bergischen Hochflächen. Im Süden reicht sie bis zum unteren Mittelrheintal, wohingegen sie im Norden in das Niederrheinische Tiefland übergeht.

Während des Oligozäns und Miozäns entstand die Braunkohle, die Flözmächtigkeiten bis 100 m aufweist. Meereseinbrüche ließen Sümpfe und Moore entstehen, die durch fluviatile Sedimente und Meeresablagerungen überdeckt wurden. Die quartären Sedimente bestehen aus Terrassenschottern von Rhein und Maas sowie den teils bis zu 20 m mächtigen Lössablagerungen.



Geologisches Profil durch die Niederrheinische Bucht (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 1988, nach Rothe 2006)

Das Klima der Niederrheinischen Bucht ist der gemäßigt feuchten nordwesteuropäischen Klimazone zuzuordnen. Die vorwiegend aus Südwest wehenden Winde bringen atlantische Luftmassen in dieses Gebiet und stellen die Grundlage für günstige klimatische Bedingungen für die landwirtschaftliche Produktion dar. Im 30-jährigen Mittel betragen die Jahresniederschläge 723 mm, die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,8 °C (Station Elsdorf 1961 bis 1990).

Bei dem aus dem weichselzeitlichen Löss entstandenen Böden dominieren die Parabraunerden, die teils Pseudovergleyungsmerkmale aufweisen. Durch Bodenerosion verursacht, finden sich entsprechende Abtrags- und Aufschüttungsprofile. Bei den dadurch entstandenen Profilen handelt es sich um erodierte Parabraunerden bis hin zu Pararendzinen. Gelegentlich hat die Erosion auch das unterlagernde Terrassenmaterial erfasst, so dass sich sandige Braunerden entwickeln konnten. Bei den Aufschüttungsprofilen dominieren die Kolluvisole. Im Bereich der Zülpicher

Börde treten Parabraunerden mit Tschernosem-Relikten auf. Auf dem Villerücken herrschen Pseudo- und Stagnogleye vor, wohingegen in den Flankenbereichen Braunerden vorkommen.

Neben dem Rhein durchziehen Erft, Rur und Inde die Niederrheinische Bucht. Aus den holozänen Ablagerungen entwickelten sich Vegen, Auengleye und Gleye. In Rinnen finden sich auch Niedermoore und anmoorige Böden.

Im eigentlichen Exkursionsgebiet dominieren die aus karbonathaltigem Kipplöss (Spüllöss) aufgeschütteten bzw. verspülten landwirtschaftlichen Nutzflächen. In den Anfangsjahren der Bodennutzung stellen sie Lockersyrose dar, die sich jedoch recht bald zu Pararendzinen entwickeln. Forstwirtschaftlich rekultivierte Standorte bestehen überwiegend aus sogenanntem Forstkies (Mischung aus Löss- bzw. Lösslehmmaterial mit Terrassenschottern). Somit liegen anfangs Regosole und Lockersyrose vor, die sich zu Braunerden und Pararendzinen weiterentwickeln (Geologischer Dienst NRW, 2005).

#### 4. Rekultivierung im rheinischen Braunkohlenrevier

Erste Erwähnung einer Rekultivierungsverpflichtung geht auf das Jahr 1784 zurück. Kurfürst Maximilian Friedrich verpflichtete die damaligen „Bergbautreibenden“, die Gruben „..zuwerfen, ausfüllen und mit denen daneben gelegenen Plätzen aufs neue zu bepflanzen, besäen oder auf eine sonst bäufindliche Art nutzbar zu machen, ..“. Während sich das Abbaugeschehen aufgrund der geologischen Besonderheiten und der Gewinnungstechnik in den Anfängen auf den Villerücken beschränkte, kamen Anfang der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts erstmals Großgeräte (Schaufelradbagger und Absetzer) zum Einsatz. Damit wurden im Tagebau Fortuna Abbautiefen von über 200 m erreicht. Zudem gelangte der Bergbau in Gebiete, in denen mächtige Lössdecken für Rekultivierungszwecke anstanden.

Im Jahr 1961 kam es behördlicherseits (Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr, NRW) zu dem sogenannten Lössabkommen, wonach der Bergbautreibende die landwirtschaftlich zu rekultivierenden Ackerflächen südlich der BAB A 4 Köln - Aachen mit mindestens 1 m Bodenmaterial beaufschlagen musste. In den übrigen Gebieten wurde eine Deckschichtmächtigkeit von mindestens 2 m gefordert.

Bevor im Jahr 1973 das ehemalige Landesoberbergamt die erste Rekultivierungsrichtlinie erließ, erfolgte die Wiedernutzbarmachung im Rahmen der bergrechtlichen Betriebsplanverfahren. Die „Richtlinien für das Aufbringen von kulturfähigem Bodenmaterial bei landwirtschaftlicher Rekultivierung für die im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke“ wurden 1986 und 1992 entsprechend dem Kenntnisfortschritt und den technischen Neuerungen überarbeitet.

Die Zielsetzung lautete: „Ziel der landwirtschaftlichen Wiedernutzbarmachung ist die Herstellung von Kulturböden, die über eine hohe Leistungsfähigkeit zur Pflanzenproduktion verfügen und bei normaler Bewirtschaftung ungeachtet laufender Ernteentnahmen eine anhaltende Ertragsfähigkeit bewahren“. Inhaltlich beschreibt die Richtlinie unter anderem die Beschaffenheit und Eignung der aufzubringenden Bodenmaterialien, die Anforderungen an die Rohkippenherstellung sowie die von den Rekultivierungsverfahren (Absetzer, Spülverfahren) abhängigen Besonderheiten wie Auftragsmächtigkeit, Planiertätigkeit, Meliorationsarbeiten etc.; zudem finden sich Angaben zur Hangneigung der Flächen.

Tab. 1: Flächenbilanz (ha) im rheinischen Braunkohlenrevier (Stand 31.12.2008)

	landwirtschaftliche Nutzflächen	forstwirtschaftliche Nutzflächen	übrige Flächen (Verkehrswege, Siedlungen etc.)
Landanspruchnahme	20151	7961	2217
Wiedernutzbarmachung	11059	7998	1958

Hinsichtlich der Flächenbilanz bleibt festzuhalten, dass die jetzige Betriebsfläche der drei Großtagebaue (Hambach, Garzweiler und Inden) zu Lasten der landwirtschaftlichen Nutzflächen geht. Während die Flächenbilanz im Bereich der Forstwirtschaft in etwa ausgeglichen ist, besteht im Bereich der Landwirtschaft ein erhebliches Flächendefizit zwischen in Anspruch genommener und rekultivierter Fläche.

#### 4.1 Verfahrenstechniken der Rekultivierung landwirtschaftlicher Flächen

Erst Mitte des letzten Jahrhunderts kam es zum großflächigeren Rekultivieren landwirtschaftlicher Nutzflächen, da sich das Betriebsgeschehen bis zu diesem Zeitpunkt überwiegend auf den Villebereich konzentrierte. Ehemals wurden diese Standorte forstwirtschaftlich genutzt, die Ackerstandorte verfügten nur über eine geringe Lössauflage.

Zu Zeiten des Zugbetriebes in den Tagebauen wurde neben Abraum auch kulturfähiges Bodenmaterial auf Schienen transportiert und verkippt. Bei dem sogenannten **Kippenpflugverfahren** erfolgte das Verteilen des Bodenmaterials mittels des ebenfalls auf Schienen laufenden Kippenpflugs. Dieser besaß ein seitlich angeordnetes Planierschild. Er war auch in der Lage, die Gleisanlagen selbständig zu rücken.

Das erstmals in den 1940ern eingesetzte Verfahren war durch Tagesleistungen von 12.000 bis 16.000 m<sup>3</sup> gekennzeichnet. Eine wesentliche Besonderheit des Verfahrens bestand darin, dass alle Rekultivierungsarbeiten von der herzustellenden Bodenoberfläche



Kippenpflug beim Lössverkippen (RWE-Archiv 1955)

ausgingen. Ende der 50er Jahre des letzten Jahrhunderts lief die Oberflächenrekultivierung mittels des Kippenpfluges aus.

Bei dem **Spülverfahren** wurde der kulturfähige Boden hydropneumatisch über ein Rohrleitungssystem in zuvor auf der Rohkippe errichtete Polder eingeleitet. Dem Bodenmaterial wurde Wasser im Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 3 zugesetzt. Während das Bodenmaterial in den ca. 1 ha großen Poldern sedimentierte, erfolgte ein Abziehen des überschüssigen Wassers. Teile des Wassers verdunsteten oder infiltrierten in der Roh-



Einleitung des Löss-Wasser-Gemischs in einen Polder (RWE-Archiv 1977)



Polder bereits am abtrocknen (links) und noch mit Wasser gefüllt (rechts) (RWE-Archiv o. J.)

kippe. Ein Vorteil dieses Rekultivierungsverfahrens bestand darin, dass die Böden zunächst verdichtungsfrei hergestellt werden konnten. Allerdings kam es nach Abtrocknung der Polder doch zum Planierraupeneinsatz, da die Dammkronen der Polderdämme eingeebnet werden mussten. Zudem war es erforder-

lich, das Generalgefälle (ca. 1,5 %) herzustellen. Ein erheblicher Nachteil dieser Verfahrenstechnik bestand in der Kornsortierung während des Sedimentationsprozesses. Diesem Problem konnte nur durch das gleichzeitige Betreiben mehrerer Auslauföffnungen begegnet werden. Mit diesem Verfahren, das von Anfang der 1960er bis 1990 praktiziert wurde, konnten insgesamt 1.200 ha rekultiviert werden.

Mit Etablierung der Großgerätetechnologie im rheinischen Braunkohlenrevier kamen neben den sehr leistungsfähigen Schaufelradbaggern auch die entsprechenden Absetzer zum Einsatz. Das von den Förderbändern kommende Bodenmaterial wird durch die Schwenkbewegung des Absetzers möglichst genau an das später herzustellende Relief abgesetzt. Somit entstehen sogenannte Kippblöcke, die nach einer ca. 3-monatigen Liegezeit planiert werden müssen. Die im landwirtschaftlichen Rekultivierungsbetrieb eingesetzten **Großabsetzer** verfügen über eine Tagesleistung von 110.000 m<sup>3</sup>. Zwecks Optimierung der Verteilgenauigkeit erfolgt der Regelbetrieb mit einer um ca. 40 % verminderten Leistung.

In den zu rekultivierenden Tagebauen, in denen zuvor der Abraum mittels Großgeräten verstürzt wurde, können im sogenannten Sonderbetrieb auch **Kleinabsetzer** zum Einsatz gelangen. Zwischen 1995 und



Kleinabsetzer bei der Herstellung von Kipprippen mit Förderband im Hintergrund

2005 wurde der Tagebau Fortuna mittels des Kleinabsetzerverfahrens rekultiviert. Zurzeit wird der Tagebau Bergheim ebenfalls durch die Kleinabsetzertechnologie rekultiviert (voraussichtlich bis Ende 2010). Der Kleinabsetzer mit einer Stundenleistung von ca. 1.000 m<sup>3</sup> besitzt hinsichtlich der Verteilung des Bodenmaterials die gegenüber dem Großabsetzer deutlich höhere Genauigkeit. Dadurch lässt sich der Planieraufwand deutlich reduzieren.

Beim Planieren kommen verschiedene Planierraupen zum Einsatz, die sich insbesondere in der Gesamtmasse und in der Aufstandsfläche (Laufwerkslänge und Plattenbreite) unterscheiden. In mehreren Versuchen konnte der Nachweis erbracht werden, dass Planierraupen mit maximal 20 t Gesamtmasse und einem spezifischen Bodendruck von maximal 25 kPa

zum Einsatz kommen sollten. Sofern die durch Groß- bzw. Kleinabsetzer verkippten Bodenmassen bereits optimal angepasst an das spätere Relief verstürzt werden und sich der Bodenwassergehalt zum Zeitpunkt des Planierens im Bereich oder unterhalb der Ausrollgrenze befindet, lassen sich Böden herstellen, die ohne Durchführung weiterer Meliorationsmaßnahmen einer bodenschonenden Folgebewirtschaftung zugeführt werden können.

## 5. Eigenschaften landwirtschaftlich rekultivierter Böden

Unabhängig vom Rekultivierungsverfahren handelt es sich bei den jungen Böden um Rohböden, die in der Regel über einen sehr hohen Schluff- und Karbonatgehalt verfügen. Da es im großflächigen Abbau technisch nicht möglich ist, Bodenmaterial horizontspezifisch zu gewinnen und zu verkippen, ist anfangs die nicht vorhandene Horizontierung ein bedeutsames Merkmal der jungen Böden. Aufgrund des Gewinnungsvorganges mit dem Schaufelradbagger entsteht oftmals ein Gemisch aus humosem Oberboden, Lösslehm sowie karbonathaltigem Löss. Treten jedoch größere Lössmächtigkeiten als 5 bis 6 m auf, so sind diese nicht mit einem Schaufelradschnitt zu gewinnen. Somit dominiert in der unterhalb des ersten Schnitts gelegenen Tiefe im Allgemeinen der unverwitterte karbonathaltige Löss. Aufgrund der Verhältnisse in der Lösslagerstätte kann es somit zu gewissen Heterogenitäten der Bodenarten auch im zu bearbeitenden Oberboden kommen. Allerdings variieren die Bodenarten nur innerhalb enger Grenzen. Häufig ist die Bodenart Ut3 und Ut4 anzutreffen.

Das Bodengefüge verspülter und verkippter Böden unterscheidet sich grundlegend. Durch den Gewinnungs-, Transport- und Verkipfungsvorgang entstehen so genannte Rollaggregate, die ein sehr günstiges



Rollaggregate unterschiedlicher Größe

Bodengefüge darstellen. Sie bleiben jedoch nur dann erhalten, wenn der beim Planieren entstehende Druck vergleichsweise gering ist. Bei stärkeren Druckwirkungen kommt es zu Gefügeumformungen, so dass häufig sehr dicht lagerndes Kohärentgefüge

entsteht. Oftmals bleiben die Rollaggregate im Unterboden stabil.

Durch den Spül- und Sedimentationsvorgang entsteht ein sehr locker gelagertes Kohärentgefüge, das über einen hohen Mittelporenanteil verfügt. Typisch sind die zahlreich anzutreffenden nur wenige mm großen Hohlräume, die von den ehemaligen Lufteinschlüssen während des Spülvorganges herrühren. Da diese Poren jedoch getrennt voneinander vorliegen, besitzen sie unter funktionalen Aspekten keine Bedeutung.

Der hohe Schluffgehalt (um 80 M.-%) der Böden führt bei uneingeschränkter Durchwurzelbarkeit des Unterbodens zu sehr hohen Werten der nutzbaren Feldkapazität (nFK). Mit Werten zwischen 200 und 240 l/m<sup>3</sup> liegt die nFK teils über den Werten der Parabraunerden. Erwartungsgemäß liegen die Gehalte an organischer Substanz sowie an Nährstoffen anfangs auf äußerst geringem Niveau. Durch die Einmischung des karbonathaltigen Lösses liegen die pH-Werte im schwach alkalischen Bereich. Bedingt durch die nur geringen Gehalte an organischer Substanz befindet sich auch die mikrobiologische Aktivität auf sehr niedrigem Niveau. Adulte Regenwürmer überleben nicht die Umlagerung und den Transport des Bodenmaterials. Die Wiederbesiedlung der rekultivierten Standorte vollzieht sich offenbar durch das Überleben von Jungtieren z. B. in Grassoden oder aber durch überlebensfähige Kokons.

Das gewinnungsseitig anstehende Bodenmaterial zählt unter ackerbaulichen Gesichtspunkten zu dem wertvollsten weltweit. Es ist jedoch durch den hohen Schluffgehalt besonders verdichtungsgefährdet. Herstellungsbedingt können Dichtlagerungen auftreten, die wichtige Bodenfunktionen nachhaltig negativ beeinflussen. So lagen insbesondere auf altrekultivierten Flächen Bodenverdichtungen vor, die die Wasserinfiltration, den Gasaustausch sowie die Durchwurzelbarkeit stark beeinträchtigten. Mittels umfangreicher Meliorationsmaßnahmen wie der Verlegung von Bedarfsdrainagen sowie der oftmals durchgeführten flächendeckenden Tieflockerung konnten Altrekultivierungen in der landwirtschaftlichen Nutzung verbleiben. Die Befahrbarkeit, die Bearbeitbarkeit sowie die Ertragsfähigkeit der ehemals geschädigten Standorte konnten somit nachhaltig gesichert werden.

Die aus der Melioration gewonnenen Erkenntnisse sowie die Umsetzung bodenschutzrelevanter Aspekte in der heutigen Rekultivierungspraxis führten zu einer deutlichen Qualitätsverbesserung rekultivierter Ackerstandorte.

## 6. Standort- und Gefügemonitoring

Besonderes Augenmerk richtet sich seit jeher auf das Gefügemonitoring rekultivierter Ackerstandorte. Nicht nur während des Rekultivierungsprozesses, auch im Zuge der Erstabwirtschaftung und der sich anschließenden Bewirtschaftung durch die Landwirte

können erhebliche Gefügeschäden verursacht werden. Zielgerichtete Meliorationsmaßnahmen setzen umfassende Bodengefügeuntersuchungen voraus. Seit über zwei Jahrzehnten wird in der Standortbeurteilung erfolgreich ein Monitoring praktiziert, das sowohl die Auswertung von Fernerkundungsdaten als auch terrestrische Begehungen und Untersuchungen beinhaltet. Dazu zählen das Beobachten der Bodenoberfläche sowie der Pflanzenbestände im Frühjahr. Hinweise auf Gefügebeeinträchtigungen ergeben sich beispielsweise durch Verschlammungserscheinungen, Erosionsmerkmale, vernässte Bereiche, chlorotische Blattaufhellungen an den Pflanzenbeständen etc. Möglichst zeitnah aufgenommene Luftbilder, die revierweit vorliegen, ermöglichen einen flächendeckenden Überblick. Weitere Informationen liefert eine zweite Befliegung, die in der Regel dann durchgeführt wird, wenn beim Getreide aufgrund der eingeschränkten Durchwurzelbarkeit erste Blattaufhellungen kurz vor der Abreife auftreten. Auch die Welketracht bei Zuckerrüben liefert wichtige Hinweise. Dieses standortkundliche Monitoring liefert die Grundlage für gezielte Bodenaufgrabungen, die an markanten Stellen durchgeführt werden. Bei der Gefügeansprache richtet sich das Interesse insbesondere auf die Durchwurzelung und die Wurzelverteilung im Boden (Harrach & Sauer, 2002). Als Resultat der Gefügeansprache erfolgt die Bestimmung der Packungsdichte der Böden nach DIN 19682-10 (2007). Etwaige Meliorationsmaßnahmen werden ausschließlich über die beschriebene Vorgehensweise festgelegt.

## 7. Exkursionspunkte

Bei den auf der Exkursionsroute liegenden Bodenprofilen variiert die Bodenart in gewissen Grenzen (siehe Tabelle 2).

Tab. 2: Korngrößenverteilung aller Profile

Standort	Ober- (O) bzw. Unterboden (U)	Ton [M.-%]	Schluff [M.-%]	Sand [M.-%]	Bodenart (nach KA5)
Fi 1	O	19,5	62,4	18,2	Lu
	U	16,0	65,8	18,2	Ut3
Fi 2	O	18,5	61,8	19,7	Lu
	U	18,1	63,0	18,9	Lu
Fo 1	O	18,1	79,5	2,3	Ut4
	U	15,2	82,2	2,7	Ut3
Fo 2	O	17,3	80,5	2,2	Ut4
	U	15,8	81,8	2,4	Ut3
Fo 3	O	15,6	82,0	2,4	Ut3
	U	17,0	80,2	2,9	Ut4
Fr	O	17,5	78,9	3,7	Ut4
	U	14,8	82,0	3,2	Ut3
Ne 1	O	18,3	75,2	6,6	Ut4
	U	n.b	n.b.	n.b.	n.b
Ne 2	O	17,5	77,3	5,3	Ut4
	U	15,6	81,2	3,2	Ut3

Der niedrigste Tongehalt befindet sich im Unterboden des durch das Spülverfahren hergestellten Stand-

orts (Fr). Da der Oberboden höhere Tongehalte aufweist, andererseits das Verspülen oftmals lagenweise erfolgte, handelt es sich bei dem niedrigen Tongehalt im Unterboden offenbar um die Auswirkungen der Kornklassierung. Die beiden Standorte auf der Fischbachkippe (Fi) sind durch die höchsten Sand- und niedrigsten Schluffgehalte gekennzeichnet. Ursachen hierfür liegen in der Beimischung von Terrassenschottern und -sanden zum Lössmaterial. Ansonsten dominieren Ut3 und Ut4.

Bis auf wenige Ausnahmen konzentrieren sich die bodenphysikalischen Untersuchungen auf den krummennahen Unterboden sowie die Tiefen 55 cm und 80 cm.

Tab. 3 Rohdichte aller Profile

Tiefe [cm]	Rohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]							
	Profil							
	Fi 1	Fi 2	Fo 1	Fo 2	Fo 3	Fr	Ne 1	Ne 2
17-18	n.b.	n.b.	1,55	1,60	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
24	n.b.	1,77	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
30	1,64	n.b.						
30-32	n.b.	1,78	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
35	n.b.	n.b.	1,48	1,57	1,58	1,60	1,66	1,51
55	1,63	1,75	1,42	1,51	1,50	1,56	1,82	1,53
80	1,62	1,71	1,35	1,43	1,46	1,60	1,78	1,51

n.b. nicht bestimmt

Betrachtet man die ermittelten Werte, so ist auch unter Berücksichtigung der etwas wechselnden Bodenarten eine enorme Spannweite der Rohdichtewerte der einzelnen Standorte erkennbar. Der höchste Wert befindet sich mit 1,82 g/cm<sup>3</sup> in der Tiefe 55 cm

des Standorts Neurath 1, wohingegen sich der niedrigste Wert mit 1,35 g/cm<sup>3</sup> in der Tiefe 80 cm des

Tab. 5: Porengrößenverteilung, Gesamtporenvolumen und Rohdichte aller Profile

Profil	Tiefe [cm]	Porenbereiche in µm [Vol.-%]									GPV [Vol.-%]	dB [g/cm <sup>3</sup> ]
		>120	120-50	50-30	30-10	10-0,2	<0,2	>50	>30	>10		
Fi1	30	5,49	1,40	1,14	3,57	16,84	9,77	6,89	8,03	11,79	38,21	1,64
	55	6,74	1,35	1,40	3,83	15,80	9,68	8,09	9,49	13,32	38,80	1,63
	80	6,91	1,43	1,51	5,40	14,41	9,61	8,34	9,86	15,26	39,27	1,62
Fi2	24	1,02	0,58	0,62	2,09	19,31	10,06	1,60	2,22	4,31	33,62	1,77
	30 - 32	1,01	0,58	0,46	1,75	19,23	10,15	1,58	2,05	3,80	33,01	1,78
	55	2,21	0,65	0,95	3,97	16,30	9,99	2,86	3,81	7,78	34,08	1,75
	80	1,67	0,92	1,12	3,86	18,41	9,74	2,59	3,71	7,57	35,73	1,71

Profil	Tiefe [cm]	Porenbereiche in µm [Vol.-%]									GPV [Vol.-%]	dB [g/cm <sup>3</sup> ]
		>120	120-50	50-30	30-10	10-0,2	<0,2	>50	>30	>10		
Fo1	17 - 18	5,36	1,55	2,94	7,19	16,71	8,38	6,91	9,85	17,04	42,13	1,55
	35	7,37	2,45	4,11	7,67	14,80	8,13	9,82	13,92	21,60	44,53	1,48
	55	9,46	2,95	4,31	7,95	14,32	7,80	12,42	16,73	24,68	46,80	1,42
	80	11,67	7,18	2,05	6,71	14,57	7,18	18,85	20,90	27,60	49,36	1,35

Standortes Fortuna 1 befindet. Schadstellen im Bereich der Altrekultivierungen besitzen die höheren Bodendichten im Vergleich zu den jüngeren Böden. Bei den jüngeren Flächen (Fo 1 bis Fo 3) liegen die höheren Rohdichtewerte im sogenannten Pflugsohlenbereich (Auswirkungen der Planiertätigkeit!), um dann in größeren Tiefen deutlich abzunehmen. Die Luftkapazitätswerte spiegeln dies erwartungsgemäß wider.

Tab. 4: Luftkapazität (Anteil der Poren > 50 µm) aller Profile

Tiefe [cm]	Luftkapazität [Vol.-%]							
	Profil							
	Fi 1	Fi 2	Fo 1	Fo 2	Fo 3	Fr	Ne 1	Ne 2
17-18	n.b.	n.b.	6,91	6,73	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
24	n.b.	1,60	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
30	6,89	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
30-32	n.b.	1,58	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
35	n.b.	n.b.	9,82	8,50	7,33	3,12	4,43	6,33
55	8,09	2,86	12,42	12,05	13,46	2,25	1,61	7,36
80	8,34	2,59	18,85	16,15	15,44	0,74	1,25	7,57

n.b. nicht bestimmt

Höchste Werte finden sich im Unterboden der Standorte Fo 1 bis Fo 3, wohingegen bei den schadhaft rekultivierten Standorten Grenzwertüberschreitungen vorliegen.

Eine Zusammenstellung der ermittelten bodenphysikalischen Kennwerte zeigt Tabelle 5.

Auf der Exkursion werden auch **Messwerte der Vorbelastung** vorgestellt, die von Jan Rücknagel / Universität Halle an den Exkursionsstandorten ermittelt wurden.

Fo2	17 - 18	5,00	1,74	0,83	4,58	18,55	9,51	6,73	7,57	12,15	40,21	1,60
	35	6,88	1,62	1,92	4,71	16,72	9,34	8,50	10,42	15,13	41,18	1,57
	55	10,48	1,57	1,57	4,19	16,74	8,98	12,05	13,62	17,80	43,52	1,51
	80	13,33	2,81	1,54	3,71	16,41	8,53	16,15	17,69	21,41	46,35	1,43
Fo3	35	5,76	1,57	1,95	4,27	17,44	9,60	7,33	9,28	13,55	40,60	1,58
	55	11,04	2,43	1,38	3,97	15,79	9,10	13,46	14,84	18,81	43,70	1,50
	80	12,26	3,19	1,45	3,93	15,50	8,86	15,44	16,89	20,82	45,18	1,46

Profil	Tiefe [cm]	Porenbereiche in $\mu\text{m}$ [Vol.-%]								GPV [Vol.-%]	dB [g/cm <sup>3</sup> ]	
		>120	120-50	50-30	30-10	10-0,2	<0,2	>50	>30			>10
Fr	35	1,96	1,16	0,48	4,43	22,83	9,22	3,12	2,54	8,03	40,09	1,60
	55	1,74	0,51	0,60	5,02	24,64	9,08	2,25	2,84	7,86	41,54	1,56
	80	0,11	0,63	0,45	2,06	28,57	9,29	0,74	1,19	3,25	40,19	1,60

Profil	Tiefe [cm]	Porenbereiche in $\mu\text{m}$ [Vol.-%]								GPV [Vol.-%]	dB [g/cm <sup>3</sup> ]	
		>120	120-50	50-30	30-10	10-0,2	<0,2	>50	>30			>10
Ne1	35	3,52	0,90	0,65	2,65	20,38	9,62	4,43	5,07	7,72	37,72	1,66
	55	1,13	0,48	0,55	1,29	17,54	10,59	1,61	2,16	3,45	31,42	1,82
	80	1,18	0,10	0,48	2,84	18,40	10,32	1,25	1,73	4,57	33,21	1,78
Ne2	35	5,79	0,58	0,87	5,72	19,57	9,07	6,33	7,21	12,93	41,57	1,51
	55	6,32	1,04	1,01	7,34	18,23	8,83	7,36	8,37	15,71	42,78	1,53
	80	6,75	0,84	0,80	7,70	18,38	8,76	7,57	8,37	16,07	43,21	1,51

In Tabelle 6 sind pH-Werte sowie Nährstoffgehalte der untersuchten Standorte differenziert nach Ober- und Unterboden dargestellt. Aufgrund des Karbonatgehaltes befinden sich die pH-Werte im schwach alkalischen Bereich. Während sich die Nährstoffgehalte auf fast allen Standorten im Oberboden deutlich angereichert haben, spiegeln die Gehalte im Unterboden den Rohbodencharakter wider.

Tab. 6: pH-Wert und Kennwerte der pflanzenverfügbaren Nährstoffe

Profil	Ober-(O) bzw. Unterboden (U)	pH	Mg [mg/100 g Boden]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [mg/100 g Boden]	K <sub>2</sub> O [mg/100 g Boden]
Fi 1	O	7,4	5	21	16
	U	7,6	5	4	5
Fi 2	O	7,4	6	18	16
	U	7,6	8	3	4
Fo 1	O	7,3	6	13	28
	U	7,6	7	2	5
Fo 2	O	7,2	8	20	29
	U	7,6	8	2	5
Fo 3	O	7,4	6	5	6
	U	7,5	8	3	3
Fr	O	7,4	7	13	22
	U	7,6	7	5	5
Ne 1	O	7,3	5	10	16
	U	7,5	n.b.	8	9
Ne 2	O	7,3	5	13	23
	U	7,5	4	7	6

Die C<sub>org</sub>-Gehalte befinden sich entsprechend dem Rektivierungsalter der Böden zwischen 0,6 M.-% und 0,94 M.-%, wobei anzumerken bleibt, dass die Anfangsgehalte bei ca. 0,23 M.-% liegen. Bei den Standorten Fo 1 und Fo 2 handelt es sich um einen Bodenbearbeitungsversuch mit einer Direktsaat- und Grubbervariante. In beiden Fällen wurden nur die wenigen Zentimeter mächtigen humosen Bereiche im Hinblick auf C<sub>org</sub>- und Nährstoffgehalte untersucht. So erklären sich die beiden sehr hohen C<sub>org</sub>-Gehaltswerte auf den noch jungen Ackerflächen.

Tab. 7: Anreicherung von C<sub>org</sub> bzw. Humus bei unterschiedlich alten Flächen

Standort	Verfahren	Jahr/Alter	C <sub>org</sub> M.-%	Humus M.-%	Jährl. Humusanreicherung
Fi1	G.-Abs.	1968/40	0,67	1,2	0,02 %
Fi2	G.-Abs.	1968/40	0,67	1,2	0,02 %
Fo1	Kl.-Abs.	1995/13	1,00*	1,7*	0,10 %*
Fo2	Kl.-Abs.	1995/13	1,04*	1,8*	0,11 %*
Fo3	Kl.-Abs.	1996/12	0,60	1,0	0,05 %
Fr	Spülverf.	1989/19	0,76	1,3	0,05 %
Neu1	Kippenpfl.	1957/51	0,89	1,5	0,02 %
Neu1	Kippenpfl.	1957/51	0,94	1,6	0,02 %

\* Gilt nur bis 5/14 cm Tiefe

## Profilbeschreibungen

### G1.1 Neurath 1 (Ne 1) TK 25: Grevenbroich Kreis: Rhein-Kreis Neuss

Rechtswert: 42499.43, Hochwert: 54605.60, Höhe über NN: 98,72 m

Bodentyp: Pararendzina aus Kiplöss

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
<b>jAp</b>	0 - 35	stark toniger Schluff (Ut4), Farbe: braun, schwach humos, Packungsdichte: gering (Pd 2), Bröckelgefüge mit teils Krümel- und Subpolyedergefüge, halboffene Lagerungsart einige Regenwürmer, Regenwurmröhren mit geringem Anteil, schwache Durchwurzelung karbonathaltig deutlich und wellige Horizontgrenze
<b>jelC1</b>	35 - 45	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 3, Kohärentgefüge teils plattig (Splittergefüge), halboffene Lagerungsart Regenwurmröhren mit geringem Anteil, schwache und unregelmäßige Durchwurzelung (vereinzelt in Regenwurmröhren) karbonathaltig Bemerkung: Lockerung durch Untergründer; vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap, Kohlestückchen, Ziegelbruchstückchen
<b>jelC2</b>	45 - 75	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 5, Kohärentgefüge teils plattig, geschlossene bzw. halboffene Lagerungsart Regenwurmröhren mit geringem Anteil (ganz vereinzelt Regenwurmröhren), sehr schwache Durchwurzelung (Wurzelfilz oder vereinzelt Wurzeln) karbonathaltig
<b>jelC3</b>	75 - 90	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 4-5, Kohärentgefüge karbonathaltig
<b>jelC4</b>	90 - 105	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 3, Rollaggregate (beginnend), offene Lagerungsart karbonathaltig
<b>jelC5</b>	105 +	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 2, Rollaggregate, offene bis sperrige Lagerungsart karbonathaltig

### G1.2 Neurath 2 (Ne 2) TK 25: Grevenbroich Kreis: Rhein-Kreis Neuss

Rechtswert: 42483.14, Rechtswert: 54554.71, Höhe über NN: 99,06 m

Bodentyp: Pararendzina aus Kiplöss

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
<b>jAp</b>	0 - 35	stark toniger Schluff (Ut4), Farbe: braun, schwach humos, Pd 2, Bröckelgefüge mit teils Krümel- und Subpolyedergefüge, halboffene Lagerungsart einige Regenwürmer, Regenwurmröhren mit geringem Anteil, schwache Durchwurzelung karbonathaltig deutliche und wellige Horizontgrenze Bemerkung: unzersetztes Stroh
<b>jelC1</b>	35 - 50	mittel toniger Schluff mit geringem Kiesanteil (Ut3, G2), Farbe: gelblich braun, Pd 3, Kohärentgefüge Regenwurmröhren mit hohem Anteil (teils mit Wurzeln durchzogen), schwache und unregelmäßige Durchwurzelung (vereinzelt in Regenwurmröhren) karbonathaltig Bemerkung: Lockerung durch Untergründer; vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap, Kohlestückchen, Ziegelbruchstückchen

### Fortsetzung G1.2 Neurath 2 (Ne 2)

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
jelC2	50 – 100	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 2-3, Kohärentgefüge mit teils Rollaggregaten, offene Lagerungsart Regenwurmröhren mit hohem Anteil (teils mit Wurzeln durchzogen), schwache und unregelmäßige Durchwurzelung (vereinzelt in Regenwurmröhren) karbonathaltig
jelC3	100 - 125	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 2, Rollaggregate, offene bis sperrige Lagerungsart karbonathaltig

### G1.3 Fortuna 3 (Fo 3) TK 25: Grevenbroich Kreis: Rhein-Erft-Kreis

Rechtswert: 44029.678, Hochwert: 52127.270, Höhe über NN: 89.90 m

Bodentyp: Pararendzina aus Kiplöss

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
jAp	0 - 30	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: braun, schwach humos, Pd 3 (teils 2-3); Bröckelgefüge mit teils Krümel- und Klumpengefüge, halboffene Lagerungsart mittlere bis starke Durchwurzelung, karbonathaltig deutliche und horizontale Horizontgrenze Bemerkung: unzeretzte organische Substanz
jelC1	30 - 45	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 3-4 (tendz. 3), verpresste Rollaggregate, halboffene Lagerungsart Regenwurmröhren mit geringem Anteil, schwache Durchwurzelung karboanthaltig diffuse und horizontale Horizontgrenze Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap
jelC2	45 – 100+	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 2 (nach unten hin abnehmend), Rollaggregate, offene bis sperrige Lagerungsart Regenwurmröhren mit geringem Anteil, schwache Durchwurzelung karbonathaltig Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap

### G1.4 Fortuna 2 (Fo 2) TK 25: Bergheim Kreis: Rhein-Erft-Kreis

Rechtswert: 44068.217, Hochwert: 50638.230, Höhe über NN: 73,89 m

Bodentyp: Pararendzina aus Kiplöss

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
jAp1	0 - 5	stark toniger Schluff (Ut4), Farbe: braun, schwach humos, Pd 3-4; Kohärentgefüge mit teils Krümelgefüge (und Wurmlosungsgefüge) starke Durchwurzelung karboanthaltig scharfe und horizontale Horizontgrenze Bemerkung: an GOF deutliche Strohauflage, Regenwurmlösungen, viele offene Regenwurmgänge, teils Moosauflage
jAp2	5 - 17	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: braun, sehr schwach humos, Pd 3-4 (tendz. 4), Kohärentgefüge mit teils Subpolyeder- und Polyedergefüge, geschlossene Lagerungsart Regenwurmröhren mit geringem Anteil, starke Durchwurzelung karbonathaltig Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap

### Fortsetzung G1.4 Fortuna 2 (Fo 2)

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
<b>jAp3</b>	17 - 30	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: braun, teils gelblich braun, sehr schwach humos, Pd 3, Kohärent-, Subpolyeder-, Polyeder-, Wurmlosungsgefüge mit teils Krümelgefüge, geschlossene Lagerungsart Regenwurmröhren mit hohem Anteil (insbes. in humosen Bereich → Kompostearbeitung), starke Durchwurzelung karbonathaltig Bemerkung: ehemals gepflügter Bereich
<b>jelC</b>	30 – 100+	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 1-2, teils Pd 1 Rollaggregate offene Lagerungsart Regenwurmröhren mit hohem Anteil, mittlere bis starke Durchwurzelung, Wurzeln in mehreren Regenwurmröhren (bis zu 7 Wurzeln in 1 Regenwurmröhre) karbonathaltig Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap

### G1.5 Fortuna 1 (Fo 1) TK 25: Bergheim Kreis: Rhein-Erft-Kreis

Rechtswert: 43752.065, Hochwert: 50534.119, Höhe über NN: 77,79 m

Bodentyp: Pararendzina aus Kiplöss

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
<b>jAp</b>	0 - 14	stark toniger Schluff (Ut4), Farbe: braun, schwach humos, Pd 2; teils Subpolyeder-, Bröckel-, Krümel- und Wurmlosungsgefüge, offene bis halboffene Lagerungsart einzelne Regenwürmer, Regenwurmröhren mit hohem Anteil, starke Durchwurzelung karbonathaltig deutliche und horizontale Horizontgrenze Bemerkung: teils unzersetztes Stroh
<b>jelC1</b>	14 - 35	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 3, Kohärentgefüge Regenwurmröhren mit hohem Anteil, mittlere Durchwurzelung (und viele ehem. Wurzelgänge) karbonathaltig Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap
<b>jelC2</b>	35 - 55	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 2, Kohärentgefüge mit teils Rollaggregaten starke Durchwurzelung karbonathaltig Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap
<b>jelC3</b>	55 – 120+	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: gelblich braun, Pd 2 (nach unten abnehmend), überwiegend Rollaggregate, offene bis sperrige Lagerungsart sehr starke Durchwurzelung karbonathaltig Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap

**G1.6 Fischbach 2 (Fi 2) TK 25: Frechen Kreis: Rhein-Erft-Kreis**

Rechtswert: 2550267.39, Hochwert: 5645416.91, Höhe über NN: 162.30 m

Bodentyp: Pararendzina aus Kiplöss

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
<b>jAp1</b>	0 – 23	schluffiger Lehm mit sehr schwachem Feinkiesanteil (Lu, fG1), Farbe: dunkel braun, schwach humos, Pd 3; Kohärentgefüge, mit teils Bröckel-, Klumpen- und Wurmlosungsgefüge, geschlossene Lagerungsart Regenwurmrohren mit geringem Anteil, mittlere Durchwurzelung karbonathaltig
<b>jAp2</b>	23 – 33	schluffiger Lehm mit sehr schwachem Feinkiesanteil (Lu, fG1), Farbe: dunkel braun, schwach humos, Pd 4-5 (tendz. 5), Kohärentgefüge sehr schwach Durchwurzelung (platt gedrückte Wurzeln) karbonathaltig
<b>jelC1</b>	33 – 50	schluffiger Lehm mit sehr schwachem Feinkiesanteil (Lu, fG1), Farbe: gelblich braun, Pd 4-5, Kohärentgefüge keine bis sehr schwache Durchwurzelung karbonathaltig Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap, Kohlestückchen, Tonbrocken
<b>jelC2</b>	50 – 80	schluffiger Lehm mit sehr schwachem Feinkiesanteil (Lu, fG1), Farbe: gelblich braun, Pd 3-4, Kohärentgefüge karbonathaltig keine Durchwurzelung Bemerkung: vereinzelt Fremdbeimengungen von ehemaligem Bt/Ap, Kohlestückchen, Tonbrocken
<b>jelC3</b>	80 +	schluffiger Lehm mit sehr schwachem Feinkiesanteil (Lu, fG1), Farbe: gelblich braun, Pd 3, Kohärentgefüge keine Durchwurzelung karbonathaltig Bemerkung: vereinzelt Beimengungen von ehemaligem Bt/Ap, Kohlestückchen, Tonbrocken; teilweise freier Wasseraustritt

**G1.7 Fischbach 1 (Fi 1) TK 25: Frechen Kreis: Rhein-Erft-Kreis**

Rechtswert: 2550242.75, Hochwert: 5645442.69; Höhe über NN: 162,22 m

Bodentyp: Pararendzina aus Kiplöss

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
<b>jAp1</b>	0 – 17	schluffiger Lehm mit schwachem Kiesanteil (Lu, G2), Farbe: braun, schwach humos, Pd 2-3; Bröckel- und Subpolyedergefüge mit teils Krümel- und Wurmlosungsgefüge, halboffene bis offene Lagerungsart Regenwurmrohren mit geringem Anteil, mittlere bis starke Durchwurzelung karbonathaltig Bemerkung: teils unzersetzte organische Substanz
<b>jAp2</b>	17 – 34	schluffiger Lehm bzw. mittel toniger Schluff mit schwachem Kiesanteil (Lu/Ut3, G2), Farbe: braun, schwach humos, Pd 4, Kohärentgefüge mit teils Polyeder- und Subpolyedergefüge, geschlossene Lagerungsart Regenwurmrohren mit geringem Anteil, schwache Durchwurzelung (Wurzeln auf Aggregatoberflächen → deformierte Wurzeln) karbonathaltig deutliche und geneigte Horizontgrenze Bemerkung: Spur von Pflug teilweise erkennbar

### Fortsetzung G1.7 Fischbach 1 (Fi 1)

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
jelC1	34 – 70	mittel toniger Schluff mit sehr schwachem bis schwachem Kiesanteil (Ut3, G1-2), Farbe: gelblich braun bis braun, Pd 4, Kohärentgefüge mit teils Subpolyeder- und Polyedergefüge, geschlossene Lagerungsart Regenwurmröhren mit geringem Anteil, sehr schwache bis schwache Durchwurzelung (Wurzeln auf Aggregatoberflächen) karbonathaltig diffuse Horizontgrenze Bemerkung: vereinzelt Kohlestückchen
jelC2	70 +	mittel toniger Schluff mit sehr schwachem bis schwachem Kiesanteil (Ut3, G1-2), Farbe: gelblich braun bis braun, Pd 3 (nach unten hin abnehmend), Kohärentgefüge mit vereinzelt Rollaggregaten Regenwurmröhren mit geringem Anteil, keine bis sehr schwache Durchwurzelung, Wurzeln in Regenwurmröhren karbonathaltig

### G1.8 Frechen (Fr) TK 25: Kerpen Kreis: Rhein-Erft-Kreis

Rechtswert: 25536228.7, Hochwert: 5638386.7, Höhe über NN: 104.10 m

Bodentyp: Pararendzina aus Spülmateriale (Löss)

Horizont	Profiltiefe [cm]	Beschreibung
jAp	0 – 31-32	stark toniger Schluff (Ut4), Farbe: braun, schwach humos, Pd 2-3; Bröckelgefüge mit teils Subpolyeder-, Krümel- und Wurmlosungsgefüge, halboffene Lagerungsart Regenwurmröhren mit geringem Anteil, mittlere bis starke Durchwurzelung karbonathaltig deutliche und horizontale Horizontgrenze Bemerkung: Kompostearbeitung erkennbar
jelC	31-32 – 100 +	mittel toniger Schluff (Ut3), Farbe: braun, Pd 3, Kohärentgefüge Regenwurmröhren mit geringem Anteil, mittlere bis starke Durchwurzelung (Wurzeln u.a. in Regenwurmröhren) karbonathaltig Bemerkung: - Nadelstichporen → ehem. Luftschlüsse bzw. feine Wurzeln - einzelne Spüllagen erkennbar - Wassergehalt >80cm deutlich zunehmend → Porensprung bzw. hängende Menisken - bei 52 cm Spur von Untergründer → kein Lockerungseffekt erkennbar

#### Literatur

- DIN 19682-10 (2007): Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau - Felduntersuchungen – Teil 10: Beschreibung und Beurteilung des Bodengefüges. Berlin.
- Geologischer Dienst NRW (2005): Nordrhein-Westfalen. Böden am Niederrhein. CD-Rom, Krefeld.
- Gerschlaue, F. (2008): Bodengefüge unterschiedlich rekultivierter Ackerstandorte im rheinischen Braunkohlenrevier – die Problematik der Bodenverdichtung. Diplomarbeit Philipps-Universität Marburg.
- Harrach, T. & S.Sauer (2002): Bestimmung der Packungsdichte von Böden zur Identifikation hochwasserrelevanter Flächen, Gießen.
- Rothe, P. (2006): Die Geologie Deutschlands, 48 Landschaften im Portrait. 2. Auflage, Darmstadt.

#### Danksagung

Frau Friederike Gerschlaue gilt besonderer Dank, da sie neben den Untersuchungen und Auswertungen auch umfangreiche Recherchen zur Historie der Rekultivierung durchgeführt hat. Alle tabellarischen Darstellungen sind ihrer Diplomarbeit entnommen.

## Exkursion G2

### Bodenkundliche Untersuchungen für Biotopmanagement und Grundlagenforschung im Nationalpark Eifel

Franz Richter<sup>1</sup>, Thomas Pütz<sup>2</sup>

Die Exkursion führt Sie aus östlicher Richtung durch den Bonner Kottenforst und das Süden der Kölner Bucht in die Voreifel weiter zum Nationalpark Eifel. Dieser ist der jüngste der deutschen Nationalparke und wurde am 01.01.2004 gegründet. Der Nationalpark Eifel ist ein Wald-Nationalpark. Der Schutz und die Entwicklung möglichst naturnaher Wälder ist das wesentliche Ziel des Nationalparks. Lebensräume im Nationalpark sind Wälder, Offenflächen mit Grünland übergehend in Ginstergebüsch, Gewässer, Felsen und Trockenheiden, kleinere Moore und Feuchtheiden.

Als Planungsgrundlage vor allem für den Zeitraum bis zum Eintreten des Prozessschutzes für Teilbereiche oder ab 2034 für über 75% der Fläche des Nationalparks wurde eine digitale Bodenkarte im Maßstab 1 : 5000 erstellt. Dieses Kartenwerk wird ergänzt durch zahlreiche bodenchemische und bodenphysikalische Untersuchungen. Umfangreiche Planungsarbeiten sind erforderlich unter anderem zum Biotopmanagement, forstlichen Maßnahmen, zur Anlage von Wanderwegen, für Einrichtungen zur Besucherlenkung und nicht zuletzt für die Umweltbildung.

Das 107 km<sup>2</sup> große langgestreckte Nationalparkgebiet (siehe Kartenskizze) liegt im Flussgebiet der Rur in der Nordeifel. Sein höchster Punkt liegt im Süden nahe der Grenze zu Belgien (630 m ü. NN), sein tiefster Punkt mit etwa 195 m ü. NN im Rurtal nahe dem Forsthaus Hetzingen. Der Nationalpark reicht somit von der montanen bis hinunter zur kollinen Höhenstufe.

Im Süden liegt eine wellige Hochebene. Diese ist durch teilweise tief eingeschnittene Seitentäler der Rur gegliedert. - im Mittel 550 bis über 600 m ü. NN - hoch. Der südliche Teil der Hochebene (Hochfläche von Wahlerscheid und Dedenborn) wird überwiegend von Fichtenforsten eingenommen, ihr östlicher Teil (Dreiborner Hochfläche) vom Offenland des ehemaligen Truppenübungsplatzes Vogelsang. Dieser Bereich ist von Grasland dominiert und wird zurzeit von Schafen beweidet, teilweise auch der natürlichen Sukzession überlassen.

Nördlich der **Urftalsperre** erheben sich die steilen, teilweise fast schroffen Hänge des Kermeters. Im Westen und Norden fällt seine Hochfläche, stark durch tiefe Bachtäler gegliedert, mit Höhenunterschieden bis über 250 m zum Rurtal ab. Nach Osten neigt sich die Kermeterhochfläche allmählich zur überwiegend landwirtschaftlich genutzten Mechernicher Triasbucht

Dieses Kerngebiet des Nationalparks besitzt große Buchenbestände auf tiefgründigen feinsanden Standorten sowie Traubeneichenwälder mit Übergängen zu Trockenheiden meist auf den feinsanden, flachgründigen und skelettreichen Böden der steilen Talhänge.

Der Nordteil des Nationalparks – der Bereich Hetzingen - wird nach Süden und Osten vom Rur-, nach Nordwesten vom Kalltal begrenzt und erreicht nur noch Höhen zwischen 250 und 400 m ü. NN. Auch hier gibt es größere Laubholzbestände, vor allem mit Eiche.

#### ▪ Geologie

**Geologisch** liegt das Gebiet zwischen dem Vennsattel und den Eifelkalkmulden. Gegliedert durch Sättel und Mulden, treten Gesteine des **Unterdevons** (Siegen und Ems) zu Tage. Die Gesteinsfolgen bestehen aus meist geschieferten Sand-, Schluff- und Tonsteinen deren jeweilige Anteile sehr stark schwanken können. Die Gesteinsfolgen wurden in typische stratigraphische Einheiten untergliedert, die jeweils nach Typlokalitäten benannt sind. Von alt nach jung sind dies die Rurberg-, die Wüstebach-, die Heimbach- und die Schleiden-Schichten.

Im Ostteil des Kermeters werden die Gesteine des Paläozoikums von Sandsteinen und Konglomeraten des **Mittleren Buntsandsteins** überlagert. Zwei Erosionsreste dieser Einheit liegen westlich des Rurtales und zwei im Kermeter nahe dem Kloster Mariawald. Sand- und

---

1. Geologischer Dienst NRW  
De-Greif-Str. 195  
47803 Krefeld  
E-Mail: richter@gd.nrw.de

2. Forschungszentrum Jülich  
ICG-4, Agrosphäre  
52425 Jülich  
E-Mail: t.puetz@fz-juelich.de

Tonsteine des *Oberen Buntsandsteins* nehmen den äußersten Ostzipfel des Nationalparks ein.

Das *Pleistozän* ist im Nationalpark durch Flussterrassen und Fließerden vertreten. Flussterrassen nehmen nur kleine Flächen ein: Oberterrassen – Felsterrassen meist ohne Kies und Schotter - liegen beispielsweise südlich der Urftalsperre und im Nordteil des Kermeters bei Heimbach; Sand, Kies und Steine der Mittel- und Niederterrassen finden sich überwiegend in den Tälern von Urft und Rur.

In den Eiszeiten wurde das Gebiet mit einem geringmächtigen Schleier aus Löss bedeckt, der zu Lösslehm verwitterte. Lösslehm und das Verwitterungsmaterial der Festgesteine wurden durch Solifluktion verlagert und durchmischt (Fließerden).

Heute liegt über den Gesteinen des Unterdevons ein im Mittel 5 - 8 dm mächtiger Solifluktionslehm mit einem mittleren bis hohen Lösslehmanteil (etwa 30 - 70 %) und geringem bis mittlerem Skelettgehalt (10 - 40 %). Darunter liegen, meist periglazial umgelagert, meist nur wenige Dezimeter, seltener bis über 1 m mächtige Schuttdecken, untergeordnet Verwitterungslehme der Grundgebirgsgesteine. Der Skelettanteil in den Schuttdecken beträgt meist über 80 %, in den Verwitterungslehmen 40 - 70 %.

Jüngere, *holozäne* Bildungen sind die Moore, die im Verlauf der letzten 7000 Jahre über einem wenig durchlässigen Untergrund im Bereich Wahlerscheid bei hohen Niederschlagsmengen entstanden. Kleinere Niedermoore finden sich in Bachtälern, vor allem des Wüstebachs und des Püngelbaches.

Holozänen Alters sind auch die Bach- und Auenablagerungen von Urft und Rur und ihrer Zuflüsse.

**Klimatisch** wird das Gebiet durch starken maritimen Einfluss geprägt. Von Wahlerscheid im Südwesten nach Hetzingen im Nordosten nehmen die Jahresniederschlagsmengen von etwa 1200 mm bis auf 600 mm ab, die langjährigen mittleren Jahrestemperaturen von 5 auf 8 °C zu.

#### ▪ **Bodengesellschaften**

Der Nationalpark gliedert sich von Süden nach Norden in mehrere Teilbereiche:

- **Hochfläche von Wahlerscheid und Dedenborn**

- **Dreiborner Hochfläche (Freiflächen des ehemaligen Truppenübungsplatzes Vogelsang)**

- **Kermeter**

- **Bereich Hetzingen**

Auf der **Hochfläche von Wahlerscheid und Dedenborn** beträgt die durchschnittliche Mächtigkeit der Fließerden über den Gesteinen der Rurberg- und der Wüstebach-Schichten etwa 6 - 8 dm, stellenweise auch über 10 dm. Es dominieren Lössfließerden, unterlagernde Fließerden aus Gesteinsschutt (über meist Tonstein) mit lehmig-toniger Matrix sind meist nur geringmächtig. Hier entwickelten sich Braunerden, Pseudogley-Braunerden und Braunerde-Pseudogleye und seltener Pseudogleye mittlerer Staunässe.

Im äußersten Südwestzipfel des Nationalparks entstanden kleinflächig Moorstagnogleye mit Anteilen von Übergangsniedermooren. Kleinere Niedermoore, vergesellschaftet mit Niedermoorgleyen, Nassgleyen und Gleyen finden sich in den Tälern der Nebenflüsse der Rur, wie dem des Wüstebachs.

Große Bereiche der **Dreiborner Hochfläche** sind waldfrei. Über lange Zeit landwirtschaftlich genutzt, wurde dieses Gebiet nach dem 2. Weltkrieg zum Truppenübungsplatz. Schon vorher waren Teile der Hochfläche nahe der NS-Ordensburg Vogelsang militärisch genutzt, z. B. durch einen Feldflugplatz nahe Morsbach. Die Hänge der Bachtäler blieben immer bewaldet. Durch die lang anhaltende landwirtschaftliche Nutzung und die folgende starke Befahrung mit schweren Militärfahrzeugen sind die Böden der Hochfläche stark erodiert.

Hier dominieren flach- bis mittelgründige Braunerden, untergeordnet Pseudogley-Braunerden, und über Resten tonreicher Verwitterungsbildungen, auch Pseudogleye. Große Mengen des erodierten, humusreichen Oberbodenmaterials wurden in den Talanfangsmulden und an den Unterhängen der Täler als Kolluvium abgelagert, hier entstanden Kolluvisole und Pseudogley-Kolluvisole mit allen Übergängen zu Pseudogleyen und Gleyen.

Auf den bewaldeten Hängen der Bäche, entwickelten sich lösslehmreiche tief-, mittel- und flachgründige (Pseudogley-)Braunerden aus Ton-, Schluff- und Sandstein des Unterdevons. Stellenweise treten auch Felsgruppen zu Tage.

Die militärische Nutzung führte zu einer Vielzahl künstlich veränderter Böden. Abtragungs- und Aufschüttungs-(locker)-syroseme entstanden auf den durch schwere Fahrzeuge, meist Panzer, stark befahrenen Flächen. Panzerpisten können bis zu zwei Meter hoch aufgeschüttet sein, stellenweise ist der Feinboden hier aber auch bis zum Fels erodiert.

Regosole entwickelten sich meist auf aufgeschütteten Dämmen und Wällen, aber auch auf abgeschobenen Flächen, wie Sprengplätzen.

Zeugen aus der Bauzeit der Burg Vogelsang sind die Ruinen des "Dorf Vogelsang", in dem beim Bau der Ordensburg beschäftigte Arbeiter wohnten. In der Nähe von Vogelsang liegt auch eine größere Anzahl gesprengter Bunker, einige auch im Bereich Wahlerscheid und im Kermeter. Häuserruinen und Bunker – letztere sind z. T. übererdet - und einige betonierte Parkplätze wurden als „Aufschüttungs-Pararendzinen“ beschrieben.

Bereits der Nordhang der Dreiborner Hochfläche fällt steil zum Urfttal mit Urft- und Obersee ab. Noch ausgeprägter sind die Steilhänge des **Kermeters** zu Urft und Rur. Hier tritt häufig Fels zu Tage. Mosaikartig wechseln kleinräumig Syroseme, Regosole und flachgründige Braunerden – meist mäßig trockene bis sehr trockene Standorte.

Auf der Kermeter-Hochfläche entstanden überwiegend Braunerden, untergeordnet Pseudogley-Braunerden, kleinflächig in meist muldiger Lage auch Braunerde- Pseudogleye und Pseudogleye. In den meist engen Tälern des Kermeters liegen Gleye mit unterschiedlichem Wasserhaushalt. In Bereich der Steilhänge führen sie oft nur temporär Wasser.

Ähnliche Verhältnisse finden sich im Gebiet devonischer Gesteine des Bereichs **Hetzingen**. Dort sind die Hochflächen im Vergleich zum Kermeter - wahrscheinlich durch intensivere Niederwaldnutzung - stärker erodiert, die mittelgründigen Braunerden skelettreicher.

Im Ostteil des **Kermeters** im Alt-Arenberg'schen Wald südöstlich von Gemünd und auf den Erosionsresten bei Mariawald und im Bereich **Hetzingen** entwickelte sich auf den Sandsteinen und Konglomeraten des Mittleren Buntsandsteins eine Vergesellschaftung von Braunerden, Podsol-Braunerden und Podsolen. Die Kiese und Sande unterlagernden dichten Verwitterungslehme führten stellenweise zur Bildung von Pseudogley-Braunerden und -Podsolen bis hin zu

Pseudogleyen. Auf Sand- und Tonsteinen des Oberen Buntsandsteins entstanden überwiegend Braunerden und Pseudogley-Braunerden, stellenweise auch Pseudogleye. In den Tälern finden sich Kolluvisole.

#### Exkursionspunkt 1:

Pseudogley-Braunerde aus Fließerde (Hauptlage) über Fließerde (Basislage) über Schluffstein (Unterdevon)

#### Exkursionspunkt 2:

Podsol-Pseudogley aus Fließerde über älterer Fließerde aus Verwitterungsmaterial über Sandstein und Konglomerat (Mittlerer Buntsandstein)

#### Exkursionspunkt 3:

Gley-Pseudogley aus Fließerde (Hauptlage) über Fließerde (Basislage) über Tonstein (Unterdevon)

#### Exkursionspunkt 4:

Pseudogley-Braunerde aus Fließerde (Hauptlage) über Fließerde (Basislage) über Schluff- und Sandstein (Unterdevon)

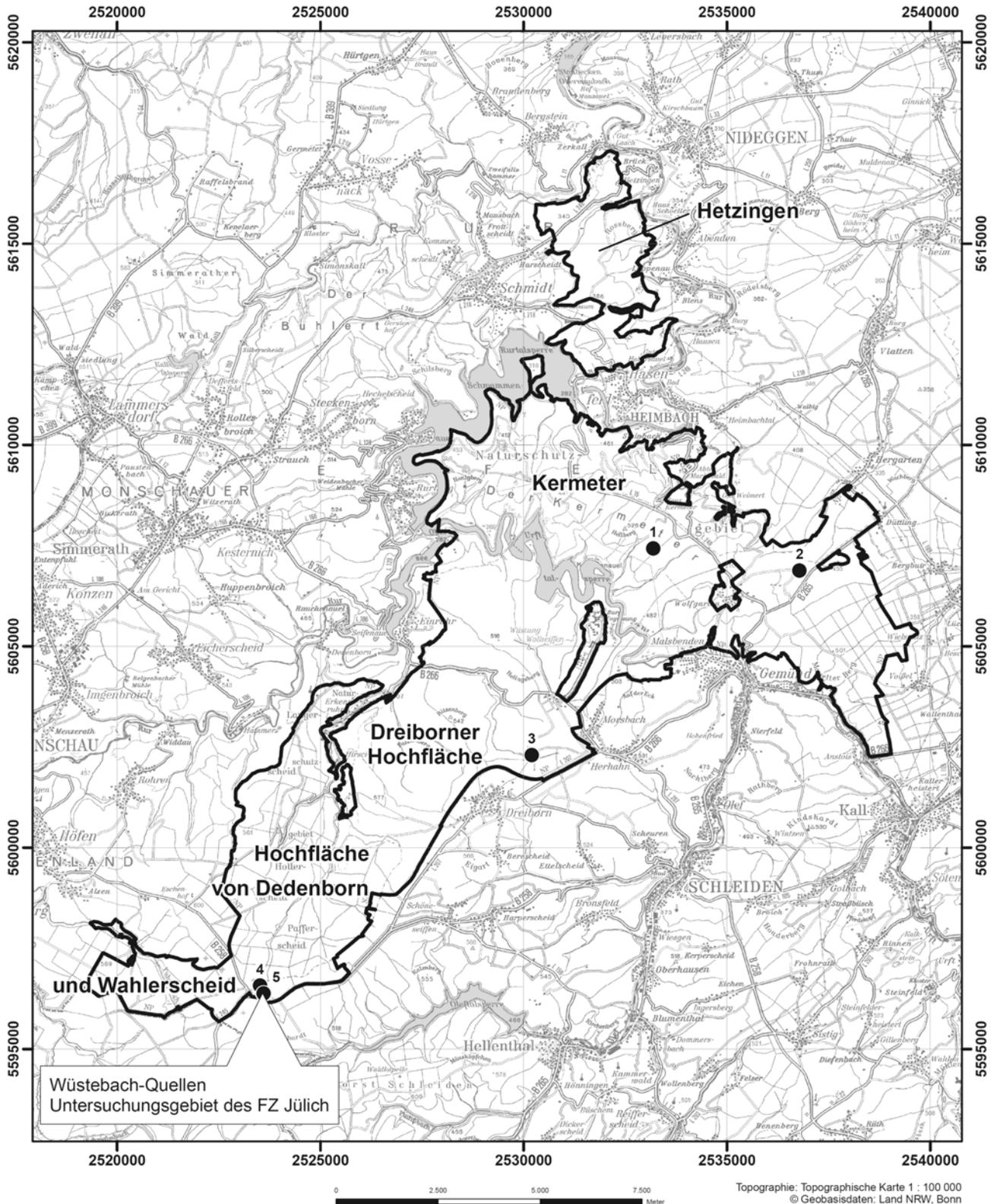
#### Exkursionspunkt 5:

Braunerde-Pseudogley aus Fließerde (Hauptlage) über Fließerde (Basislage) über Schluffstein (Unterdevon)

An den Exkursionspunkten 4 und 5 wird Ihnen im Verlauf der Exkursion ein Intensivmessfeld des Rur-Observatoriums vorgestellt. Dieses Observatorium wird im Rahmen von TERENO betrieben und hier wird ein Langzeitmonitoring zu den Auswirkungen des Klimawandels durchgeführt. Weitere Informationen finden Sie unter [www.tereno.net](http://www.tereno.net)

# Nationalpark Eifel

## Exkursion G2



## Exkursionspunkt G2/1: Lorbachskopf

**Bearbeiter:** Franz Richter **TK25:** 5304 Nideggen **Datum:** 21.04.2006  
**Lage:** RW: 2533190 HW: 5607390 485 m NN **Kreis:** Euskirchen  
**Jahresmitteltemperatur:** 7,7°C **Niederschlag:** 900 mm  
**Relief:** Oberhang **Nutzung:** Laubwald  
**Humusform:** Typischer Moder, **Vegetation:** Buchenaltholz z. T. Naturverjüngung mit feinhumusreich mäßig reicher Krautschicht

### Profilbeschreibung

Hor Nr.	Horizont-symbol	Ober-/Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Aeh	0-3cm	toniger Schluff, stark steinig-grusig; braun (7.5YR 3/1); stark humos; feines Subpolyederggefüge; geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Kryoskelettschluff (Ut3 xgr4)</i>
2	Bhv	-23cm	schluffiger Lehm, stark steinig-grusig; braun (7.5YR 4/4); stark humos; mittleres Subpolyederggefüge; geringe Lagerungsdichte; nesterweise mittlere Durchwurzelung <i>Kryoskelettschluff (Lu xgr4)</i>
3	Bv	-50cm	schluffiger Lehm, stark steinig-grusig; braun (10YR 4/4); humos; mittleres Subpolyederggefüge; geringe Lagerungsdichte; nesterweise mittlere Durchwurzelung <i>Kryoskelettschluff (Lu xgr4)</i>
4	IIBv-Cv	-60cm	schluffiger Lehm, sehr stark steinig-grusig; braun (10YR 4/4) schwach humos; mittleres Subpolyederggefüge; mittlere Lagerungsdichte; sehr schwache Staunässe; nesterweise schwache Durchwurzelung <i>Kryoskelettschluff (Lu xgr5)</i>
5	IISwd-Cv	-80cm	Steine und Grus mit schluffigem Lehm und stark tonigem Schluff; trüb gelblichbraun (10YR 5/4) in Flecken trüb gelblichbraun (10YR 5/4); Kohärentgefüge, mittlere Lagerungsdichte; schwache Staunässe; sehr dünne weiche Eisen/Mangan Überzüge v.a. auf vertikalen Flächen; nesterweise und auf Spalten sehr schwache Durchwurzelung <i>Kryoskelett ((Lu Ut4) xgr6)</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformen bezeichnung</b>	schwach podsolige Pseudogley-Braunerde aus Kryoskelettschluff über Kryoskelett
<b>WRB:</b>	Stagnic Cambisol (Alumic, Humic, Hypodystric, Skeletic, Siltic)
<b>Anmerkungen:</b>	

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub>
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	g cm <sup>-3</sup>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Oh	+3-0								n. b.
Aeh	0-3								n. b.
Bhv	10-15	15,4	2,9	2,7	11,3	22,3	17,3	28,1	n. b.
Bv	40-45	15,7	3,0	2,5	14,9	19,0	16,4	28,5	n. b.
IIBv-Cv	50-60	16,8	4,5	3,1	20,8	19,8	13,8	21,2	n. b.
IISwd-Cv	70-75	2,9	2,9	2,3	33,4	24,9	12,6	21,0	n. b.

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Oh	n. b.	5,4	4,7						
Aeh	n. b.	3,9	3,0	0,07	0,25	1,51	5,69	13,90	33
Bhv	n. b.	4,1	3,3	0,04	0,16	0,32	0,74	13,56	8
Bv	n. b.	4,4	3,6	0,04	0,13	0,45	0,73	8,13	14
IIBv-Cv	n. b.	4,5	3,7	0,03	0,10	0,37	0,46	4,95	16
IISwd-Cv	n. b.	4,5	3,6	0,04	0,10	0,44	0,50	5,30	17

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Oh	n. b.		30,2	1,67	18		
Aeh	n. b.	23,0	20,4	0,69	30	0,096	
Bhv	n. b.	15,2	3,8	0,17	22	0,080	n. b.
Bv	n. b.	9,7	2,1	0,13			
IIBv-Cv	n. b.	6,1	0,9	0,08	n. b.	n. b.	
IISwd-Cv	n. b.	6,4	0,5	0,06			

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>i</sub>	Al <sub>i</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>				
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>
nicht bestimmt für das ganze Profil								

n. b. = nicht bestimmt;

## Exkursionspunkt G2/2: Buntsandstein-Kermeter

**Bearbeiter:** Franz Richter **TK25:** 5405 Mechernich **Datum:** 16.10.1997  
**Lage:** RW: 2536880 HW: 5606885 476 m NN **Kreis:** Euskirchen  
**Jahresmitteltemperatur:** °C **Niederschlag:** 778 mm  
**Relief:** Plateau **Nutzung:** Nadelwald  
**Humusform:** Typ. Moder, feinhumusreich, **Vegetation:** Waldkiefer mit Krautschicht  
 teilw. rohhumusart. Moder **überwiegend aus** Heidelbeere

### Profilbeschreibung

Hor Nr.	Hori-zont-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ahe	0-5cm	sandiger Schluff, stark kiesig, schwach steinig- grusig; bräunlich schwarz (7.5YR2/1); sehr stark humos; sehr schwach kohlehaltig (Holzkohle); feines Subpolyedergefüge; geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Kryoskelettsandschluff (Us ki4xgr2)</i>
2	Ae	-18cm	stark schluffiger Sand, stark kiesig schwach steinig- grusig; gräulich braun (7.5YR 6/2), in Flecken gräulichbraun (7.5YR 4/2); humos; Einzelkorngefüge; geringe Lagerungsdichte; nesterweise starke Durchwurzelung <i>Kryoskelettschluffsand (Su4 ki4 xgr2)</i>
3	Bhs	-22cm	schwach sandiger Lehm, stark kiesig schwach steinig- grusig; schwarz (7.5YR 2/1); stark humos; Hüllengefüge; mittlere Lagerungsdichte; nesterweise starke Durchwurzelung <i>Kryoskelettnormallehm (Ls2 ki4 xgr2)</i>
4	Bs	-35cm	schwach sandiger Lehm, stark kiesig schwach steinig- grusig; rötlichbraun (5YR 4/6); mittleres Subpolyedergefüge; mittlere Lagerungsdichte; starke Durchwurzelung <i>Kryoskelettnormallehm (Ls2 ki4 xgr2)</i>
5	Bs-Sw	-55 cm	stark lehmiger Sand, stark kiesig, steinig-grusig; leuchtend braun (7.5YR 5/6) in marmorierter Verteilung trüb gelborange (10YR 7/4); mittlere Staunässe; Kohärentgefüge; mittlere Lagerungsdichte; überwiegend nesterweise mittlere Durchwurzelung <i>Kryoskelettsandlehm (Sl4 ki4xgr3)</i>
5	II Sd-ilCv	-75cm	schluffiger Lehm, stark kiesig, steinig-grusig; orange (7.5YR 6/8) in (eis)keilförmiger Verteilung gellgelborange (7.5YR 8/3); Kohärentgefüge; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Kryoskelettschluff (Lu ki4xgr3)</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformen</b>	
<b>bezeichnung</b>	Podsol- Pseudogley aus Kryoskelettlehm über Kryoskelettschluff
<b>WRB:</b>	Stagnic Albic Podzol (Skeletal)
<b>Anmerkungen:</b>	

## Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub>
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	g cm <sup>-3</sup> .
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Oh	+3-0								n. b.
Ahe	0-3	4,4	24,7	14,8	25,3	20,2	4,6	6,0	n. b.
Ae	8-12	5,9	21,9	18,0	24,1	19,2	6,6	4,3	n. b.
Bhs	18-22	6,4	17,0	12,7	22,3	16,9	7,5	17,2	n. b.
Bs	22-30	6,3	17,6	12,1	21,1	17,1	7,3	18,5	n. b.
Bs-Sw	45-50	10,3	19,6	16,9	18,6	13,3	7,7	13,6	n. b.
IISd-ilCv	60-70	9,4	10,2	6,0	22,1	20,3	8,3	23,7	n. b.

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
1	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Oh	n. b.	4,1	3,0						
Ahe	n. b.	3,6	2,7	0,06	0,09	0,54	1,24	7,70	19
Ae	n. b.	3,8	2,9	0,02	0,04	0,08	0,24	2,25	14
Bhs	n. b.	3,7	3,0	<0,03	0,06	0,23	0,52	7,86	9
Bs	n. b.	4,0	3,5	0,02	<0,03	0,02	0,06	2,92	3
Bs-Sw	n. b.	4,4	4,2	0,02	0,05	0,01	0,03	2,90	5
IISd-ilCv	n. b.	4,3	3,8	0,04	0,18	0,05	0,10	6,32	6

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>o</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
1	30	31	33	34	35	36	37
Oh	n. b.		43,8	1,59	28		
Ahe	n. b.	9,8	9,0	0,29	31		
Ae	n. b.	2,7	1,8	0,07	28		
Bhs	n. b.	9,2	4,1	0,15	28	n. b.	n. b.
Bs	n. b.	3,2	n. b.	n. b.			
Bs-Sw	n. b.	2,7	n. b.	n. b.			
IISd-ilCv	n. b.	6,7	n. b.	n. b.			

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>				
1	38	39	40	41	42	43	44	45
nicht bestimmt für das ganze Profil								

n.b. = nicht bestimmt;

## Exkursionspunkt G2/3: Helingsbach-Quellgebiet

Bearbeiter: Franz Richter TK25: 5404 Schleiden Datum: 29.09.2006  
 Lage: RW: 2530100 HW: 5526055 524 m NN Kreis: Euskirchen  
 Jahresmitteltemperatur: 7,2°C Niederschlag: 1050 mm  
 Relief: flache Mulde Nutzung: Graslandbrache

### Profilbeschreibung

Hor Nr.	Hori-zont-symbol	Ober-/Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	rAp	0-20cm	toniger Schluff und stark toniger Schluff, steinig-grusig; bräunlichschwarz (10YR 3/1); stark humos; mittleres Subpolyederggefüge; geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Skelett führender Kryoschluff ((Ut3Ut4) xgr3)</i>
2	Swd	-40cm	schluffiger Lehm, steinig-grusig; dunkel gelblichbraun (10YR 5/3) in Flecken gelblich braun (10YR 5/6); Kohärentgefüge; mittlere Lagerungsdichte; mittlere Staunässe; nesterweise schwache Durchwurzelung <i>Skelett führender Kryoschluff (Lu xgr3)</i>
3	Sd-Go	-55cm	sandiger Lehm, stark steinig-grusig; gräulich oliv (5Y 6/2), in Fleckengelblichbraun (10 YR 5/8); sehr schwach humos; Kohärentgefüge, hohe Lagerungsdichte; kleine, weiche Eisen/Mangan-Konkretionen; nesterweise sehr schwache Durchwurzelung <i>Kryoskelettlehm (Ls3 xgr4)</i>
4	IIgor <sub>1</sub>	-110cm	Steine und Grus mit tonigem Lehm und unregelmäßigen Bereichen von stark sandigem Lehm; bläulichgrau (5BG6/1) in Flecken rötlichbraun (5YR 4/6) in Flecken mit hohem Anteil trüb gelborange (10YR 7/3); Kohärentgefüge; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Kryoskelett ((Lt3 Ls4) xgr6)</i>
5	IIgor <sub>2</sub>	-160cm	Tonstein, aufgelockert; mit Linsen von Steinen und Grus mit tonigem Lehm

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformen bezeichnung</b>	Gley-Pseudogley aus skelettführendem Kryoschluff über Kryoskelettlehm über Kryoskelett über tiefem Tonstein
<b>WRB:</b>	Endogleyic Stagnosol (Albic, Eutric, Siltic)
<b>Anmerkungen:</b>	

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe cm	Textur (Mas-% der humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub> g cm <sup>-3</sup>
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
rAp	0-5	5,5	3,3	8,7	22,2	26,9	18,6	14,8	n. b.
rAp	15-20	3,3	4,0	7,2	20,6	26,2	19,7	19,0	n. b.
Swd	25-30	4,2	3,0	6,2	22,2	19,6	16,9	27,9	n. b.
Sd-Go	45-50	21,5	12,8	8,9	15,2	11,6	10,0	20,0	n. b.
IIgor <sub>1</sub>	60-70	35,4	12,9	7,5	8,3	8,2	7,9	19,8	n. b.

Horizont	Carbonat Mas-%	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> ) (KAK <sub>eff</sub> )					BS
		(H <sub>2</sub> O)	(KCl <sub>2</sub> )	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
rAp	n. b.	4,8	4,0	0,07	0,20	0,93	2,69	2,67	57
rAp	n. b.	5,0	4,1	0,07	0,16	0,91	2,77	2,82	56
Swd	n. b.	5,3	4,0	0,04	0,10	1,11	1,64	1,65	63
Sd-Go	n. b.	5,5	4,1	0,03	0,09	1,15	1,36	1,24	67
IIgor <sub>1</sub>	n. b.	5,5	4,1	0,02	0,09	1,57	1,73	1,41	70

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
rAp	n. b.	6,8	4,0	0,37	11	0,059	n. b.
rAp	n. b.	6,9	3,3	0,32	10	0,051	
Swd	n. b.	4,6	0,5	0,10			
Sd-Go	n. b.	3,9	0,2	0,09	n. b.	n. b.	
IIgor <sub>1</sub>	n. b.	4,9	0,5	0,12			

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>i</sub>	Al <sub>i</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>				
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>
nicht bestimmt für das ganze Profil								

n.b. = nicht bestimmt;

## Exkursionspunkt G2/4: Wüstebach-Quellgebiet

**Bearbeiter:** Franz Richter **TK25:** 5403 Monschau **Datum:** 15.05.2006  
**Lage:** RW: 2523610 HW: 5596615 600 m NN **Kreis:** Euskirchen  
**Jahresmitteltemperatur:** 6,7°C **Niederschlag:** 1083 mm  
**Relief:** Unterhang **Nutzung:** Nadelwald  
**Humusform:** Typ. Moder, feinhumusarm **Vegetation:** Fichte mit Moosschicht

### Profilbeschreibung

Hor Nr.	Hori-zont-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Aeh	0-4cm	toniger Schluff, steinig-grusig; bräunlichschwarz (5YR 3/1); stark humos; sehr schwach kohlehaltig (Holzkohle); feines Subpolyedergefüge; geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Skelett führender Kryoschluff (Ut3 xgr3)</i>
2	Bv	-15cm	schluffiger Lehm, stark steinig-grusig; rötlichbraun (5YR 4/6); humos; mittleres Subpolyedergefüge; geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte mittlere Durchwurzelung <i>Skelettkryoschluff (Lu xgr4)</i>
3	Bwv	-60cm	schluffiger Lehm mit Linsen aus schwach sandigem Lehm, stark steinig-grusig; leuchtend rötlichbraun (2,5YR 5/6), in diffuser Verteilung rötlichbraun (5 YR 5/6); schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge; geringe Lagerungsdichte; sehr schwache Hangnässe; nesterweise mittlere Durchwurzelung <i>Skelettkryoschluff und Skelettkryolehm ((Lu Ls2) xgr4)</i>
4	IISwd-Cv	-90cm	Steine und Grus mit schluffigem Lehm; leuchtend rötlichbraun (5YR 5/6) in Flecken mit hohem Anteil trüb gelborange (10YR 7/3); Kohärentgefüge; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; schwache Staunässe; in Klüften und Spalten schwache Durchwurzelung <i>Kryoskelett (Lu xgr6)</i>
5	III Cv	-100cm	Tonstein

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformen bezeichnung</b>	schwach podsolige Braunerde aus Skelettkryoschluff und Skelettkryolehm über Kryoskelett über tiefem Tonstein
<b>WRB:</b>	Haplic Cambisol (Alumic, Humic, Hyperdystric, Skeletic, Siltic)
<b>Anmerkungen:</b>	

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub>
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	g cm <sup>-3</sup>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Oh	+0,8-0,0								
Ah	2-4	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Bv	7-12	13,9	4,3	3,7	14,6	17,9	18,8	26,8	n. b.
Bwv	25-30	23,5	6,5	4,3	14,4	12,7	15,5	23,1	n. b.
Bwv	45-50	10,9	2,4	2,9	16,5	16,6	22,0	28,7	n. b.
IISwd-Cv	80-90	10,7	4,0	4,1	17,5	17,4	16,4	29,9	n. b.

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Oh	n. b.	3,9	3,1	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Ah	n. b.	4,0	3,2	0,12	0,21	0,95	0,67	17,90	9
Bv	n. b.	4,5	3,9	0,07	0,09	0,28	0,13	7,44	7
Bwv	n. b.	4,6	4,2	0,06	0,09	0,10	<0,02	4,07	6
Bwv	n. b.	4,6	4,1	0,08	0,10	0,11	0,03	4,60	6
IISwd-Cv	n. b.	4,8	3,9	0,08	0,14	0,53	0,62	5,32	20

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Oh	n. b.		33,4	1,50	22	0,056	
Ah	n. b.	21,0	9,5	0,47			
Bv	n. b.	8,2	2,6	0,15			n. b.
Bwv	n. b.	4,4	0,9	0,11	n. b.	n. b.	
Bwv	n. b.	5,0	1,2	0,12			
IISwd-Cv	n. b.	6,8	n. b.	n. b.			

n. b. = nicht bestimmt

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>i</sub>	Al <sub>i</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>				
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>
nicht bestimmt für das ganze Profil								

## Exkursionspunkt G2/5: Wüstebach-Quellgebiet

Bearbeiter: Franz Richter TK25: 5404 Schleiden Datum: 15.05.2006  
 Lage: RW: 2523690 HW: 5596450 604 m NN Kreis: Euskirchen  
 Jahresmitteltemperatur: 6,7°C Niederschlag: 1083 mm  
 Relief: Unterhang Nutzung: Nadelwald  
 Humusf.: Typ. Moder, feinhumusarm Vegetation: Fichte, mit Moosen und wenigen Farnen

### Profilbeschreibung

Hor Nr.	Hori-zont-/symbol	Ober-/Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Aeh	0-10cm	stark toniger Schluff, steinig-grusig; dunkelbraun (7.5YR 3/4); stark humos; sehr schwach kohlehaltig (Holzkohle); feines Subpolyedergefüge; geringe Lagerungsdichte; sehr schwache Staunässe; regelmäßig verteilte sehr starke Durchwurzelung <i>Skelett führender Kryoschluff (Ut4 xgr3)</i>
2	Bv-Sw <sub>1</sub>	-25cm	stark toniger Schluff und schluffiger Lehm, steinig-grusig; gelblichbraun (10YR 5/6), mit Flecken von braun (7.5 YR 4/4) und leuchtendbraun (7.5YR 5/6); humos; mittleres Subpolyedergefüge; geringe Lagerungsdichte; schwache Staunässe; nesterweise starke Durchwurzelung <i>Skelettkryoschluff ((Ut4 Lu) xgr4)</i>
3	Bv-Sw <sub>2</sub>	-40cm	schluffiger Lehm, stark steinig-grusig; trüb gelborange (10YR 6/4); humos; mittleres Subpolyedergefüge; geringe Lagerungsdichte; mittlere Staunässe; nesterweise starke Durchwurzelung <i>Skelettkryoschluff (Lu xgr4)</i>
4	IISw	-60cm	schluffiger Lehm, stark steinig-grusig; trüb gelblichbraun (10YR 5/3); sehr schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge, geringe Lagerungsdichte; mittlere Staunässe; nesterweise schwache Durchwurzelung <i>Skelettkryoschluff (Lu xgr4)</i>
5	IISd	-85cm	schluffiger Lehm, sehr stark steinig-grusig; gelblichbraun (2.5Y 5/3), in marmorierter Verteilung gelblichbraun (10YR 5/6); Kohärentgefüge; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Skelettkryoschluff (Lu xgr5)</i>
6	III Sd-Cv	-100cm	Steine und Grus mit schluffigem Lehm; gelblichbraun (2.5Y 5/3); Kohärentgefüge; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Kryoskelett (Lu xgr6)</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformen bezeichnung</b>	schwach podsoliger Braunerde-Pseudogley aus Skelettkryoschluff über Kryoskelett über tiefem Tonstein
<b>WRB:</b>	Haplic Cambisol (Albic, Alomic, Hyperdystric, Siltic)
<b>Anmerkungen:</b>	

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub>
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	g cm <sup>-3</sup>
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Aeh	0-2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n. b.
Aeh	5-10	2,7	3,4	3,3	18,6	27,6	22,7	21,7	n. b.
Bv-Sw1	15-20	9,2	3,2	3,0	21,5	22,4	19,4	21,3	n. b.
Bv-Sw2	30-35	5,4	4,3	2,6	19,2	23,4	20,9	24,2	n. b.
II Sw	50-55	14,5	9,2	6,5	21,7	14,5	15,4	18,2	n. b.
II Sd	70-75	13,6	9,0	7,6	20,1	14,5	16,9	18,3	n. b.

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>I</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Oh		4,1	3,3						
Aeh	n. b.	3,8	2,9	0,19	0,31	2,00	3,76	12,40	30
Aeh	n. b.	4,1	3,4	0,18	0,12	0,41	0,69	8,18	14
Bv-Sw1	n. b.	4,5	3,8	0,16	0,10	0,25	0,48	6,24	13
Bv-Sw2	n. b.	4,6	4,0	0,18	0,09	0,19	0,30	5,12	13
II Sw	n. b.	4,7	4,0	0,10	0,07	0,16	0,11	3,48	11
II Sd	n. b.	5,1	4,0	0,12	0,09	0,76	0,77	2,42	41

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO<sub>4</sub>)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>I</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Oh	n. b.		35,2	1,56	22		
Aeh	n. b.	21,0	15,3	0,75	20	0,072	
Aeh	n. b.	10,0	4,5	0,28			
Bv-Sw1	n. b.	7,3	3,0	0,20			
Bv-Sw2	n. b.	6,0	2,1	0,18	n. b.	n. b.	n. b.
II Sw	n. b.	4,0	0,4	0,08			
II Sd	n. b.	4,3	0,2	0,07			

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>i</sub>	Al <sub>i</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>				
<i>I</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>
nicht bestimmt für das ganze Profil								

## Exkursion G3

### Nicht-invasive Messverfahren in der bodenkundlichen Forschung

J. van der Kruk ([j.van.der.kruk@fz-juelich.de](mailto:j.van.der.kruk@fz-juelich.de))

J.A. Huisman ([s.huisman@fz-juelich.de](mailto:s.huisman@fz-juelich.de))

S. Lambot ([s.lambot@fz-juelich.de](mailto:s.lambot@fz-juelich.de))

A. Pohlmeier ([a.pohlmeier@fz-juelich.de](mailto:a.pohlmeier@fz-juelich.de))

#### 1 Zielsetzungen der Exkursion

Diese Exkursion führt Sie zum Forschungszentrum Jülich und hat zum Ziel eine Übersicht über nicht-invasive Messverfahren zu geben, die im bodenkundlichen Bereich verwendet werden können: Electrical Resistivity Tomography (ERT), Induktions-Verfahren, off-ground und on-ground Ground Penetrating Radar (GPR) und Nuclear Magnetic Resonance (NMR). Beispiele zur Anwendung dieser Methoden werden im Labor, auf der Lysimeter-skala und auf dem Testfeld Selhausen demonstriert. Nach einer kurzen Einführung in die theoretischen Grundlagen werden Messungen durchgeführt, die erhaltenen Daten weiterverarbeitet und die dabei gewonnenen physikalischen Parameter mit Hilfe von petrophysischen Modellen und Inversionsverfahren in bodenspezifische Eigenschaften umgesetzt.

Datum: 06.09.09

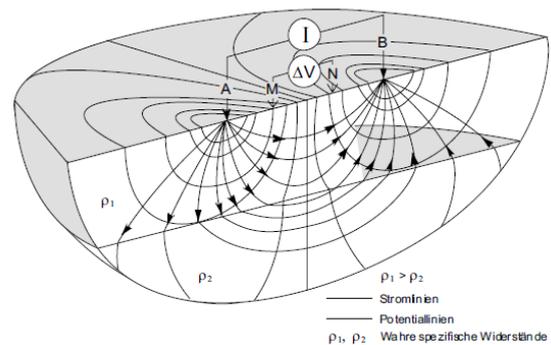
Startzeit: 09:00 (Forschungszentrum Jülich)

Schlusszeit: 16:00 (Forschungszentrum Jülich)

#### 2 Geoelektrik

Geoelektrische Verfahren werden genutzt, um die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund zu messen. Es werden zwei Stromelektroden A und B für die Einspeisung in den leitfähigen Untergrund genutzt. Dabei baut sich ein räumliches Potentialfeld auf, das von den Leitfähigkeitsstrukturen beeinflusst wird (Abb. 2.1).

Die Spannungsmessung erfolgt mit zwei zusätzlichen Elektroden M und N. Aus der Potentialdifferenz zwischen M und N ( $\Delta V$ ) und der Stromstärke zwischen A und B ( $I$ ) ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz der spezifische Widerstand ( $\rho$ ):



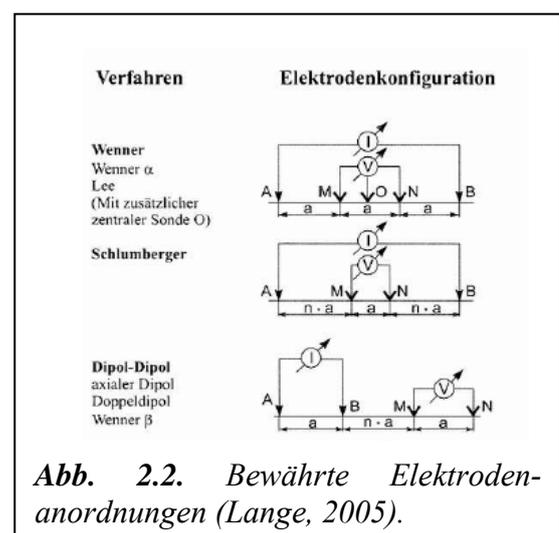
**Abb. 2.1.** Prinzip der Widerstandsmessung mit einer Vierpunktanordnung (Lange, 2005).

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

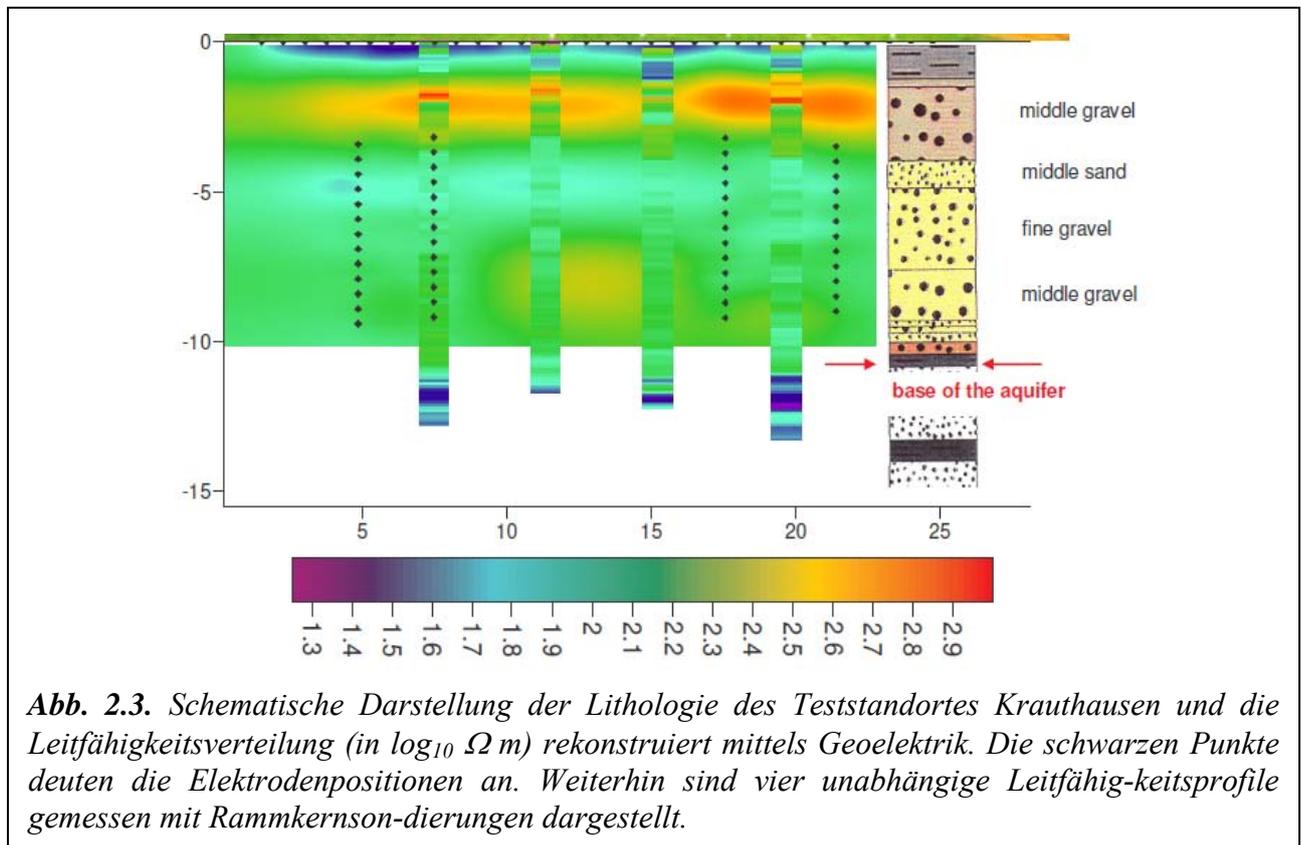
wobei der Geometriefaktor  $K$  sich für alle möglichen Elektrodenanordnungen leicht berechnen lässt:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (2.2)$$

wobei z.B.  $MN$  der Abstand zwischen Elektrode  $M$  und  $N$  ist. Ein Bild der Leitfähigkeitsstruktur des Untergrundes kann rekonstruiert werden, wenn unterschiedliche Vierpunkt-Elektrodenanordnungen in hinreichender Zahl vorliegen. Für 100 Elektroden ergäben sich potentiell mehr als 11 Millionen nicht-reziproke Anordnungen, die sich unmöglich alle messen lassen. Da es immer noch kein praktikables Verfahren zur Auswahl eines optimalen Satzes von Elektrodenanordnungen gibt, bedienen sich Feldmessungen daher in der Praxis meist altbewährter symmetrischer Elektrodenanordnungen (siehe Abb. 2.2).



**Abb. 2.2.** Bewährte Elektrodenanordnungen (Lange, 2005).



Angewendet wird die Geoelektrik überwiegend als Kartierungsmethode für qualitative Aussagen bzgl. der Abgrenzung lithologischer Einheiten, der Ausdehnung von Kontaminationsfahnen, usw. Abbildung 2.3 zeigt ein Beispiel für eine lithologische Interpretation für den Teststandort Krauthausen.

Für quantitative Aussagen benötigt man zusätzlich petrophysikalische Beziehungen zwischen spezifischem Widerstand und den relevanten zu interpretierenden Bodeneigenschaften. Eines solchen Modells ist Archie's Gesetz:

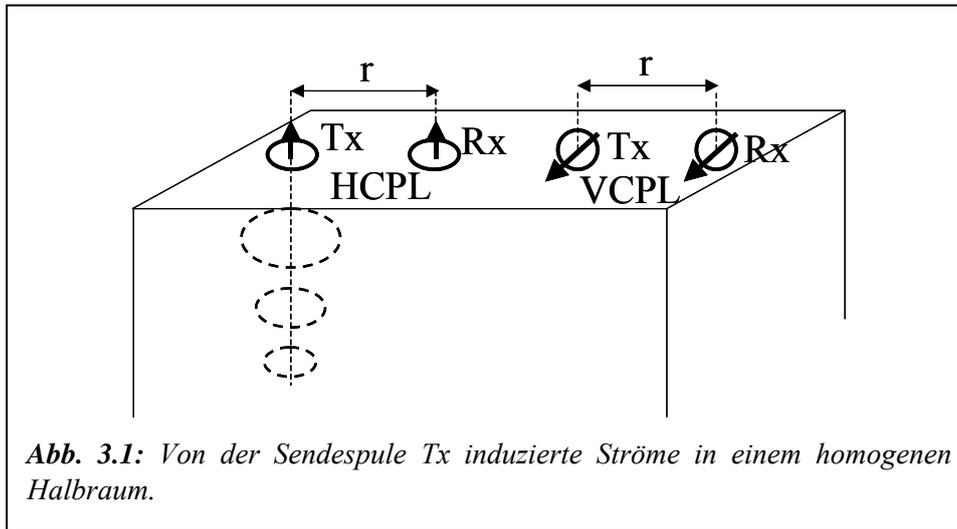
$$\rho = \rho_w \Theta^{-m} \left( \frac{\theta}{\Theta} \right)^{-n} \quad (2.3)$$

wobei  $\Theta$  die Porosität des Bodens,  $\rho_w$  der Widerstand des Porenwassers,  $\theta$  der volumetrische Wassergehalt und  $n$  und  $m$  empirische Exponenten sind. Diese Gleichung zeigt, dass Änderungen im spezifischen Widerstand in Beziehung stehen zur Änderungen im Widerstand des Porenwassers, wenn Wassergehalt und Porosität konstant sind (z.B. Konzentrationsänderung in der gesättigten Zone). In der ungesättigten Zone ist die Interpretation von Änderungen in spezifischen Widerständen ungleich schwerer, weil sich Wassergehalt und Widerstand des Porenwassers gleichzeitig ändern können.

### 3 Diffusive elektromagnetische Methoden

Die Leitfähigkeit und die magnetische Permeabilität im Untergrund sind die wichtigsten Parameter, die mit diffusiven elektromagnetischen Methoden untersucht werden. Elektromagnetische Untersuchungen können im Zeitbereich oder im Frequenzbereich durchgeführt werden. Im Feldkurs verwenden wir das EM38, ein System, das im Frequenzbereich arbeitet (14.6 kHz).

Systeme im Frequenzbereich bestehen aus Sender- und Empfängerspulen, die parallel ausgerichtet sind. Üblich ist eine horizontale Anordnung der Spulen (horizontal coplanar loop, HCPL), womit ein vertikaler magnetischer Dipol (VMD) erzeugt wird. Vertikal orientierte Spulen (VCPL) erzeugen horizontale magnetische Dipole (HMD), die zweite üblicherweise verwendete Konfiguration. Beide Anordnungen sind schematisch in Abb. 3.1 abgebildet. Die Sendespule wird von einem Wechselstrom mit bestimmter Frequenz durchflossen und erzeugt ein zeitlich variierendes Magnetfeld ( $H_p$ ). Dieses induziert seinerseits schwache Ströme, die sich im Untergrund ausbreiten. Diese Ströme haben ein sekundäres Magnetfeld ( $H_s$ ) zur Folge, das zusammen mit dem primären in der Empfängerspule gemessen wird. Das sekundäre Feld ist eine komplizierte Funktion vom



Spulenabstand  $r$ , der Frequenz  $f$  und der Leitfähigkeit im Untergrund  $\sigma$ , welche für kleine  $r$ ,  $f$  und  $\sigma$ , vereinfacht werden können und man erhält die Leitfähigkeit aus den normalisierten Feldkomponenten:

$$\sigma_{\{HCPL, VCPL\}} = \frac{4}{2\pi f r^2} \left( \frac{H_s}{H_p} \right)^{\{HCPL, VCPL\}} \quad (3.1)$$

Diese Formel beschreibt die Arbeitsweise einiger kommerzieller Systeme wie zum Beispiel des EM31, EM34 oder des EM38 von Geonics (z. B. McNeill, 1980), um die elektrische Leitfähigkeit im Untergrund zu messen. Nur der imaginäre Anteil des Quotienten  $\frac{H_s}{H_p}$  wird benutzt, um die

Leitfähigkeit zu berechnen. Die wahre Erkundungstiefe von Dipolfeldern ist vom Spulenabstand  $r$  abhängig und entspricht etwa 1.5 (HCPL) respektive 0.75 Mal (VCPL) dem Spulenabstand  $r$ . Für das EM38 verspricht dies Erkundungstiefen von maximal 1.5 m oder 0.75 m. Die Sensitivität der Instrumente innerhalb des Erkundungsbereiches ist ebenfalls tiefenabhängig. Messungen über einem inhomogenen Untergrund ergeben deshalb nicht die wahre, sondern eine gemittelte, scheinbare Leitfähigkeit. Ein Vergleich von Messungen mit horizontalen und vertikalen Spulen macht eine grobe Tiefenabschätzung von Leitfähigkeitsanomalien möglich.

#### 4 Georadar

Das Georadar ist ein geophysikalisches Verfahren, das eine hochauflösende strukturelle Erkundung des oberflächennahen Untergrundes erlaubt. Beim Georadar wird ein kurzer Impuls hochfrequenter elektromagnetischer Energie

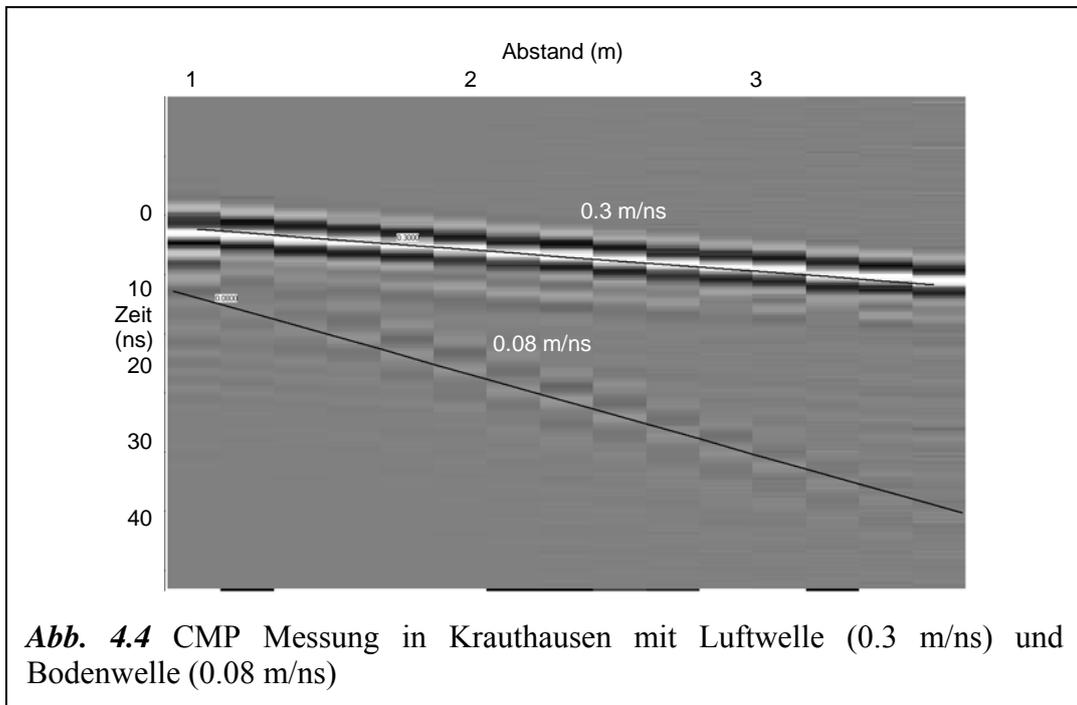
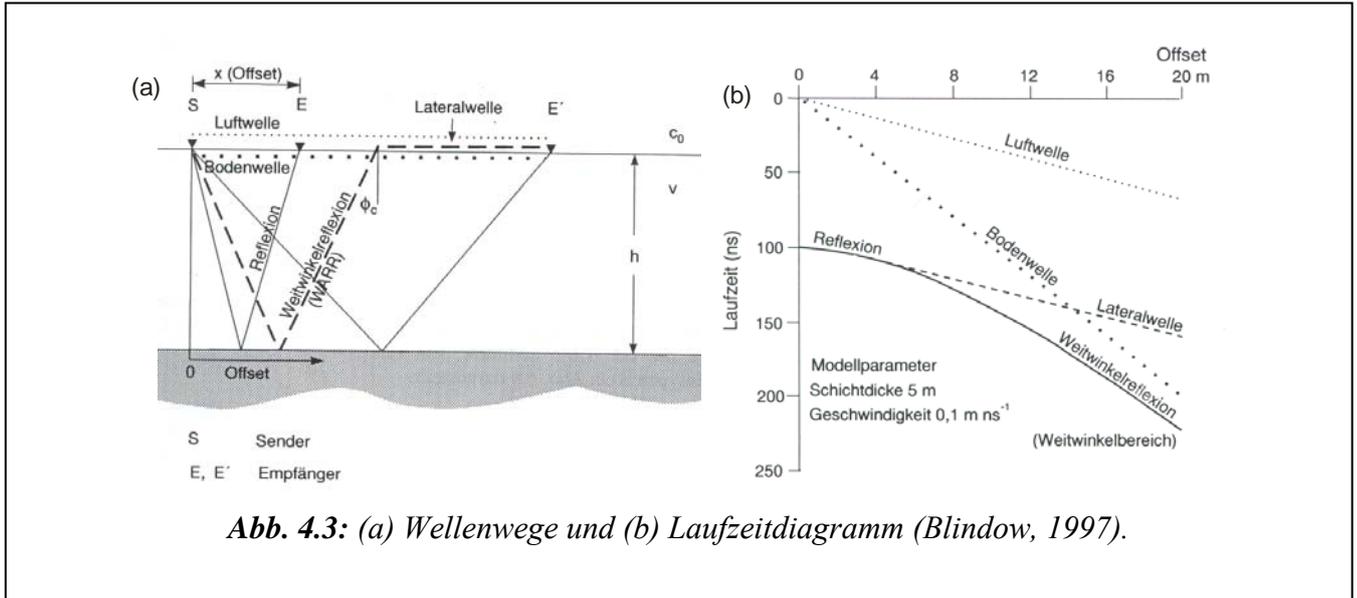
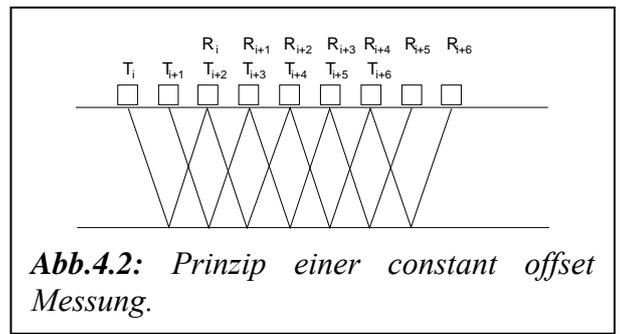
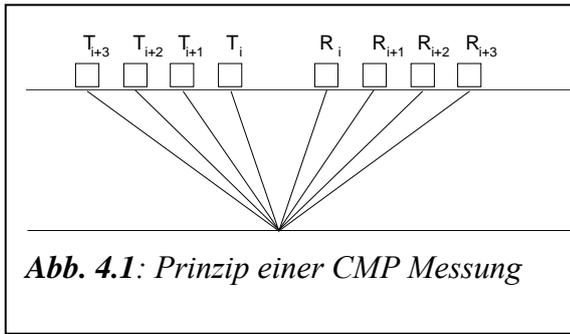
mittels einer Senderantenne in den Boden abgestrahlt. Die abgestrahlte Energie wird an Grenzflächen unterschiedlicher elektrischer und magnetischer Materialparameter ( $\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ ) teilweise reflektiert und kann dann an der Oberfläche mittels einer Empfängerantenne registriert werden. Die Geschwindigkeiten der verschiedenen Wellen werden hauptsächlich von den elektrischen Eigenschaften, elektrische Permittivität  $\epsilon$ , des jeweiligen Mediums, in dem sich die Welle ausbreitet, bestimmt ( $\mu_0$  ist der magnetische Permeabilität für nicht-magnetische Materialien).

$$v \approx \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon}} \quad (4.1)$$

Der Frequenzbereich verfügbarer Antennen reicht dabei von 20 MHz bis 1 GHz. In wassergesättigten Sanden liegt die Eindringtiefe für eine 100 MHz Antenne bei einigen Metern, in tonigen Sedimenten z.T. nur bei einigen Dezimetern.

Zwei unterschiedliche Messmethoden können angewendet werden: eine „common mid-point“ (CMP) Messung wobei man die Abstand zwischen Sender und Empfänger beim gleichen Mittelpunkt vergrößert (Abb. 4.1) und Profilmessungen mit einem constant offset Aufbau (Abb. 4.2).

Abb. 4.3(a) zeigt die Wellenwege für das CMP Verfahren und Abb. 4.3(b) zeigt die dazugehörigen Laufzeitdiagramme wobei die gemessenen Zeitsignale als Funktion von Abstand und Zeit dargestellt sind. Der erste am Empfänger eintreffende Wellentyp ist die Luftwelle. Sie breitet sich mit konstanter Geschwindigkeit (Lichtgeschwindigkeit) oberhalb der Boden-



oberfläche in Luft aus. Die direkte Bodenwelle läuft in der obersten Bodenschicht mit geringer Eindringtiefe. In einem lateral homogenen, obersten Bodenbereich breitet sie sich ebenfalls mit konstanter Geschwindigkeit aus (0.12-0.15 m/ns in nahezu trockenen Böden). Wellen, deren Energie an Materialgrenzen teilweise zurück-

geworfen wird, werden als reflektierte Wellen bezeichnet. Sie geben Auskunft über den strukturellen Aufbau des Untergrundes.

Profilmessungen mit dem Georadar werden mit konstantem Abstand zwischen Sende- und Empfangsantenne ausgeführt. In solch einem

Radargramm können Reflexionsmuster über eine längere Distanz verfolgt werden. Die Umwandlung der gemessenen Laufzeiten in eine Tiefe ist z.B. durch CMP Messungen möglich. Abb. 4.4 zeigt ein CMP Messung von Krauthausen wo man klar sehen kann dass der Luft- und Bodenwellen mit 0.3 und 0.08 m/ns propagieren.

Die Anwendung von verschiedenen Georadar Verfahren zur Bestimmung von Bodenwassergehalten: on-ground, off-ground Georadar, sind in Huisman et al., 2003 genauer beschrieben.

#### 4.1 Umwandlung der relativen Permittivität $\epsilon$ in Wassergehalt $\theta$

Die relative Permittivität von feuchtem bis wassergesättigtem Boden wird von der relative Permittivität und dem Wasservolumen dominiert. Um die relative Permittivität in Wassergehalt umzuwandeln, kann das „refractive index“ Modell für ein nicht-gesättigtes poröses Material benutzt werden:

$$\sqrt{\epsilon_{eff}} = \theta\sqrt{\epsilon_w} + (n-\theta)\sqrt{\epsilon_a} + (1-n)\sqrt{\epsilon_s} \quad (4.2)$$

mit der Porosität  $n$ , dem Wassergehalt  $\theta$ , den relativen Permittivitäten von Wasser und Luft  $\epsilon_w = 80$  und  $\epsilon_a = 1$ , und der relative Permittivität von die Mineralen  $\epsilon_s$ .

Weil  $\epsilon_s$  unbekannt ist, sind unterschiedliche empirische Gleichungen zwischen  $\epsilon$  and  $\theta$  entwickelt worden. Die meist zuverlässige und meist benutzte  $\epsilon_{eff}(\theta)$  Gleichung für Boden ist die empirische Formel von Topp et al. (1980):

$$\epsilon_{eff} = 3.03 + 9.3\theta + 146\theta^2 - 76.7\theta^3 \quad (4.3)$$

welche eine gute Vorhersage für grob- und mittel-körnige Böden liefert.

## 5 Kernmagnetische Resonanz (NMR)

### 5.1 Grundlagen.

Die kernmagnetische Resonanz, engl. Nuclear Magnetic Resonance (NMR), beruht auf der sukzessiven Anregung und Relaxation von magnetisch aktiven Atomkernen in einem äußeren Magnetfeld. Physikalische Grundlage ist der Kernspin, eine quantenmechanische Eigenschaft von Atomkernen, beschrieben durch die sog. Spinquantenzahl, die ganz- oder

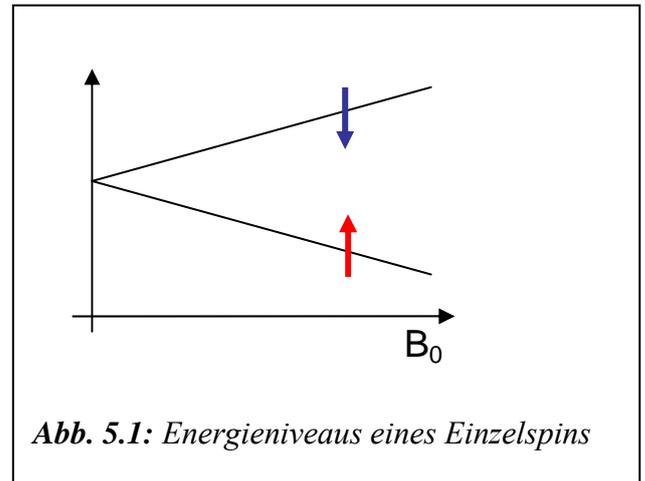


Abb. 5.1: Energieniveaus eines Einzelspins

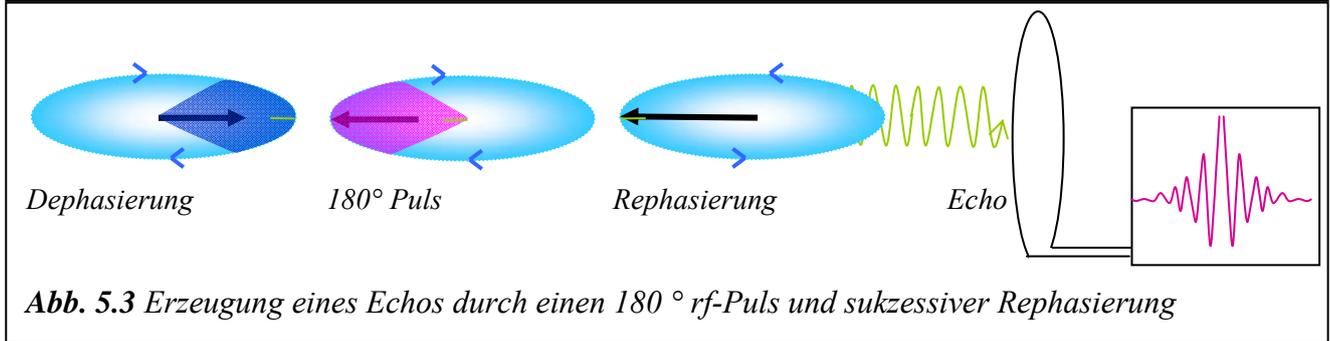
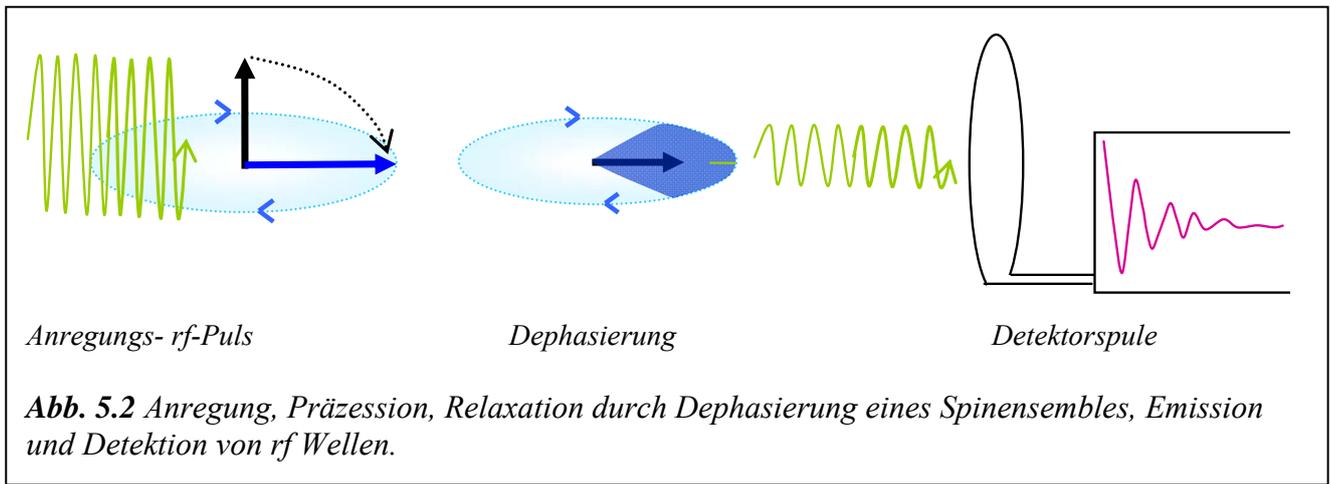
halbzahlige Werte annehmen kann. Die in den Geowissenschaften bei weitem wichtigsten Kerne sind Protonen im Wasser  $^1\text{H}_2\text{O}$  oder in Kohlenwasserstoffen  $\text{C}_m^1\text{H}_n$ , und  $^{13}\text{C}$  in organischen Verbindungen mit einer Spinquantenzahl  $1/2$ . Bringt man eine gewisse Menge als reine Flüssigkeit, oder in einem porösem Medium wie dem Boden, in ein äußeres Magnetfeld mit der Flussdichte  $B_0$ , so existieren exakt 2 Zustände für  $^1\text{H}$  beschrieben durch die magnetische Quantenzahl  $m = \pm 1/2$ , die zwei definierten Energieniveaus entsprechen:

$$E_{\pm} = \mp \frac{1}{2} \hbar \gamma B_0 \quad (5.1)$$

Dabei ist die Proportionalitätskonstante das sog. gyromagnetische Verhältnis  $\gamma$ , das charakteristisch für einen bestimmten Kern, hier  $^1\text{H}$ , ist:  $\gamma_{\text{H}} = 2.68 \times 10^8 \text{ rad s}^{-1}$ .  $\hbar$  ist Planck-Konstante/ $2\pi$  und  $B_0$  ist die magnetische Flussdichte. Die Zustände werden auch als „spin-up“, ( $\uparrow$ ) und „spin-down“, ( $\downarrow$ ) bezeichnet, wenn man eine vertikale Orientierung des Hauptmagnetfelds  $B$  annimmt. Da jeder Spin mit einem magnetischen Moment gekoppelt ist, kann jeder Atomkern auch als mikroskopischer Magnet betrachtet werden. Übertragen auf das klassische Bild bedeutet dies, dass der Kern zwei Zustände annehmen kann: Präzession parallel und antiparallel zu  $B_0$ , s. Abb. 5.1. Die Energiedifferenz ist nach Gl. 5.1 proportional zu  $B_0$ , z.B. ergibt sich für einen Scanner mit  $B_0 = 4.7\text{T}$  eine Energiedifferenz von  $1.3 \times 10^{-25} \text{ J}$ , entsprechend  $0.08 \text{ J/mol}$ . Dies ist, verglichen mit der mittleren thermischen Energie von  $2.5 \text{ kJ/mol}$ , sehr klein, und die beiden Energieniveaus fast gleichmäßig besetzt. Für ein genügend großes Ensemble von Spins ergibt sich nach Boltzmann bei  $25^\circ\text{C}$ :

$$\frac{N_+}{N_-} = \exp\left(-\frac{\hbar \gamma_{\text{H}} B_0}{kT}\right) = 3.2 \times 10^{-5} \quad (5.2),$$

d.h. der Überschuss der  $\uparrow$  Spins beträgt nur



wenige ppm. Dieser Überschuss der parallel zu  $B_0$  ausgerichteten Spins bewirkt jedoch für ein genügend großes Ensemble eine makroskopische Magnetisierung in z-Richtung,  $M_z$ , symbolisiert in Abb. 5.2 durch den fetten Pfeil in der z-Achse, auch als *Polarisation* bezeichnet. Bestrahlt man ein solches Spinensemble mit einem Puls elektromagnetischer Strahlung der Larmor-Frequenz  $h\omega$ , so können Spins angeregt werden. Für  $B_0 = 4.7$  T ergibt sich z.B. eine Frequenz für  $^1\text{H}$  von 200 MHz, also Strahlung im Radiofrequenzbereich, weshalb die Anregungspulse auch als *rf-Pulse* bezeichnet werden. Makroskopisch gesehen bewirkt dieses ein Umklappen der Magnetisierung  $M$  in die x-y Ebene. In Abb. 2 ist diese für ein Spinensemble resultierende Magnetisierung durch den fetten Pfeil in der xy-Ebene symbolisiert, welcher die Vektorsumme über viele Subensembles darstellt (man kann aber auch andere Flipwinkel als, wie hier gezeigt,  $90^\circ$  erzeugen).

Impulserhaltung bewirkt nun eine Präzession von  $M$  in der xy-Ebene mit der Larmorfrequenz

$$\nu_L = \omega/2\pi = -\gamma_H B_0/2\pi \quad (5.3)$$

Das angeregte Spinensemble relaxiert durch zwei unterschiedliche Prozesse: Das Ensemble kann als Summe von Subensembles betrachtet werden, die sich in leicht unterschiedlichen lokalen Magnetfeldern  $B_{0,\text{loc}} = B_0(1 + \delta B)$  befinden. Daher präzessionieren diese unterschiedlich schnell, was sich in der Summe als Dephasierung von  $M$  in

der xy Ebene, verbunden mit einem Verlust der gesamten transversalen Magnetisierung  $|M_{xy}|$  auswirkt. Dies erzeugt in einer die Probe umgebenden Spule ein abklingendes Signal in Form elektromagnetischer Wellen, welches gemessen und weiter ausgewertet wird.

Die zugehörige Relaxationszeit wird als  $T_2^*$  bezeichnet, und setzt sich aus mehreren Komponenten, die teils apparaturbedingt und teils charakteristisch für die untersuchte Probe sind. b) Der ursprüngliche thermische Gleichgewichtszustand nach G. 5.2 wird mit der Relaxationszeit  $T_1$  wiederhergestellt, longitudinale Relaxation. Auch  $T_1$  enthält für die Probe charakteristische Informationen. Das Verhalten des angeregten Spinsystems kann durch weitere Pulse elektromagnetischer Strahlung oder statischer Magnetfeldgradienten beeinflusst werden. Dies ist die Grundlage für die Vielzahl, teils sehr spezieller NMR Experimente zur Charakterisierung von Systemen und dynamischen Prozessen [Blümich, 2000].

$T_2^*$  ist in der Praxis sehr kurz, da  $B_0$  immer eine gewisse stationäre Inhomogenität aufweist. Es gilt:  $1/T_2^* = 1/T_{2,\text{inhomo}} + 1/T_2$ . Zur Elimination der Relaxationseffekte dieser stationären Inhomogenitäten bedient man sich in der NMR häufig der sogenannten Hahn-Echo-Methode. Nach einer bestimmten Zeit  $\tau$  nach dem Anregungspuls wird ein weiterer rf-Puls

gegeben, der die in der xy-Ebene Magnetisierung um  $180^\circ$  umklappt. Da sich die Spins immer noch in demselben stationären inhomogenen  $B_0$  Feld befinden, dephasieren sie im gleichen Sinn weiter, und laufen nach einer weiteren Zeitperiode  $\tau$  wieder zusammen: Nun sind sie wieder aller in Phase und man detektiert ein Echo. Dies kann sehr oft wiederholt werden, wobei die Intensität der Echos langsam mit  $T_2$  abnimmt, Abb. 5.3.

## 5.2 NMR Methoden in den Geowissenschaften

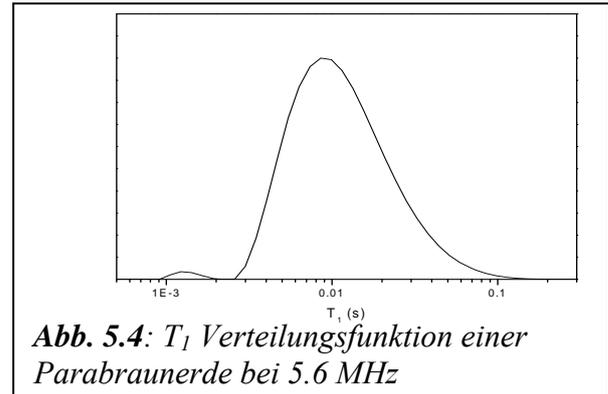
Das NMR Signal einer Probe nach der Anregung kann auf verschiedenste Weise analysiert werden, um Informationen über die Probe zu erhalten:

1) Das Abklingen nach der Anregung, der sogenannte „free induction decay“, FID, ist eine Überlagerung elektromagnetischer Wellen vieler Frequenzen, die durch unterschiedliche lokale Magnetisierung,  $B_{0,loc}$  zustande kommen. Grund kann z.B. die unterschiedliche chemische Umgebung der  $^1\text{H}$  Atome sein, was zu unterschiedlicher chemischer Verschiebung der ausgestrahlten Frequenzen führt, die durch Fouriertransformation des FID analysiert werden können. Dies bildet die Grundlage für NMR Spektroskopie als chemischer Analytikmethode.

2) Oberflächen-NMR, oder „magnetic resonance sounding“ benutzt die Relaxation nach Anregung im Erd-Magnetfeld. Hiermit lassen sich großräumig Wassergehalte in z.B. Aquiferen ortsaufgelöst bestimmen [Yaramanci, et al., 2008].

3) Die verschiedenen Relaxationsprozesse nach Anregung beinhalten Informationen über

Wassergehalt, Porengrößen und -konnektivität,

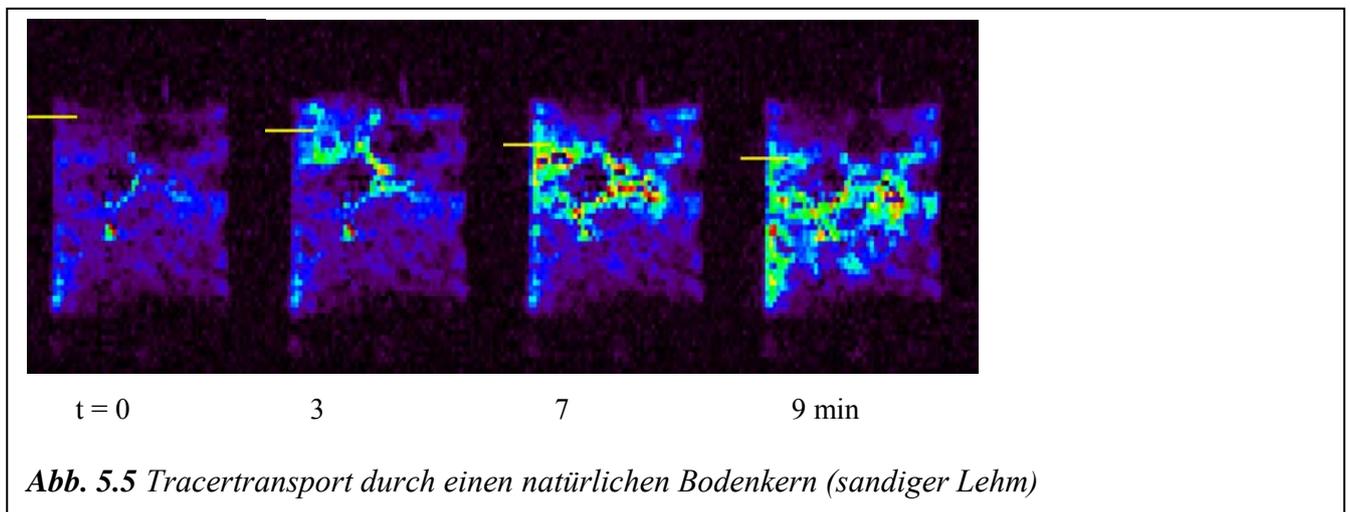


und Wasserdynamik in gesättigten und ungesättigten porösen Medien. Dies wird seit über 2 Dekaden erfolgreich zur Bohrlocherkundung in der Ölindustrie angewandt [Dunn, et al., 2002] und ist auch für Charakterisierung von Böden einsetzbar [Pohlmeier, et al., 2009; Schaumann, et al., 2005]. Grundlage ist die Zusammensetzung der Relaxationsraten  $1/T_1$  bzw.  $1/T_2$  aus verschiedenen Komponenten. In porösen Medien diffundiert Wasser in den Poren. Bei Kontakten mit den Porenwänden kommt es dort durch Wechselwirkung mit Verunreinigungen wie paramagnetischen Ionen ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , etc.) zu einer beschleunigten Relaxation. Im Fall der  $T_2$  Prozesse führen zusätzlich lokale Magnetfeldgradienten zur beschleunigten Relaxation [Barrie, 2000].

$$\frac{1}{T_{1,2}} = \frac{1}{T_{1,2,bulk}} + \left( \frac{1}{T_{2,diff}} \right) + \frac{1}{T_{1,2,surf}} = \frac{1}{T_{1,2,bulk}} + \left( \frac{1}{T_{2,diff}} \right) + \rho_{1,2} \frac{S}{V} \quad (5.4)$$

wobei sich  $\frac{1}{T_{1,2,surf}}$  vereinfacht aus einer

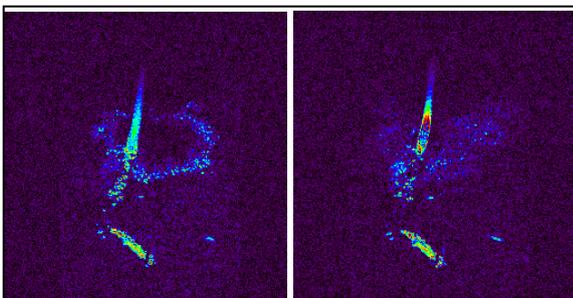
Oberflächen-Relaxivität  $\rho_{1,2}$  und einem Porengrößenparameter  $S/V$  mit der Porenoberfläche  $S$  und dem Volumen  $V$  zusammensetzt. Abb. 5.4



zeigt z.B. die Verteilungsfunktion einer gesättigten Parabraunerde. Kennt man nun die Oberflächenrelaxivität, so kann man daraus die Porengrößenverteilung der Probe berechnen.

4) NMR Bildgebung, oder kernmagnetische Resonanztomographie MRT, (engl. magnetic resonance imaging, MRI) ist inzwischen eine immens wichtige Diagnosemethode in der Medizin geworden, findet aber auch zur Untersuchung geowissenschaftlicher Objekte in den letzten Jahren immer breitere Anwendung. Hierbei wird die Relaxation in einem Objekt durch Zuschaltung weiterer Magnetfeldgradienten orts aufgelöst beobachtet. Das Verfahren ist im Detail kompliziert, beruht vereinfacht gesagt auf der unterschiedlichen Frequenz und Phase der emittierten Radiofrequenz in unterschiedlichem Magnetfeld  $B_0(x,y,z)$ . Nach Gl. 5.3 ist die detektierte Larmorfrequenz von  $B_{0,loc}$  abhängig. Wenn nun  $B_{0,loc}$  durch Zuschaltung externer Magnetfeldgradienten kontrolliert vom Ort variiert, enthält das Signal die Information über die örtliche Herkunft. Dies lässt sich durch Fouriertransformation in die räumliche Herkunft des Signals umrechnen. Abb. 5.5 zeigt den (präferentiellen) Fluss einer Tracersubstanz bei konstanter Beregnung im Schnittbild eines Bodenkerns, aufgenommen mit MRI. Der helle Strich links deutet den mittleren Wasserfluss an.

Auch Wasseraufnahmeprozesse von Wurzelsystemen lassen sich mittels MRI visualisieren. Abb. 5.6 zeigt wie eine Tracerwolke im Bereich um eine Lupinewurzel innerhalb von 2 Tagen langsam zur Wurzel hin verlagert und letztendlich aufgenommen wird



**Abb. 5.6:** Tracerwolke im Bereich einer Lupinewurzel unmittelbar nach Injektion und nach 2 Tagen.

## 6 Exkursionsprogramm

### 6.1 NMR

Auf der Exkursion werden kurz die Grundlagen der NMR dargestellt und einige Anwendungsbeispiele gezeigt. Als praktische Demonstration werden danach Relaxationskurven von Wasser in Bodenkernen gemessen und ausgewertet. Dabei bietet sich auch die Gelegenheit, die bisher nur theoretisch betrachteten Prozesse Anregung, Relaxation und Echoerzeugung praktisch zu demonstrieren. Im zweiten Teil folgt dann die Besichtigung des EcoNMR Zentrums des Forschungszentrums Jülich mit den speziell für die Boden- und Pflanzenforschung entwickelten 7T, 4.7, und 1.5 T Scannern. Auch hier werden praktische Beispiele anhand der Aufnahme von Boden-Wurzel Systemen gezeigt.

### 6.2 Geoelektrik, Induktionsverfahren und Georadar

Nach einer theoretischen Einführung folgt die praktische Demonstration auf dem Testfeld Krauthausen des Forschungszentrums Jülich. Mit Oberflächen-ERT wird die vertikale und horizontale Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund gemessen. Der EM38 wird benutzt um die Konduktivität der obersten 1-1.5 Meter zu bestimmen. Mit dem on-ground Georadar werden CMP und „constant offset“ Messungen zur Messung der Bodenfeuchte durchgeführt. Zusätzlich demonstrieren wir die Bestimmung der Bodenfeuchte mit off-ground Georadar.



**Abb. 6.1:** 7T und 4.7T „ultra wide bore“ Scanner des EcoNMR Zentrums

## 7 Referenzen:

Barrie, P. J. (2000), Characterization of porous media using NMR methods, *Annual Reports on NMR Spectroscopy, Vol 41, 41*, 265-316.

Blindow, N. (1997): Bodenradar. In: Knödel, K., Krummel, H., Lange, G. (1997): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten Band 3, Geophysik. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 369-404

Blümich, B. (2000), *NMR imaging of materials*, Clarendon Press, Oxford.

Dunn, K. J., et al. (2002), *Nuclear Magnetic Resonance, Petrophysical and Logging Applications*, Pergamon, Amsterdam.

Huisman, J.A. Hubbard, S.S. Redman, J.D. and Annan, A.P., Measuring soil water content with ground penetrating radar: A review, *Vadose Zone Journal*, 4, 476-491, 2003

Lange, G. (2005): Gleichstromgeoelektrik. In: Knödel, K., Krummel, H., Lange, G. (2005): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten Band 3, Geophysik. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 128-173.

McNeill, J. D., 1980. Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Technical Note TN-6, Geonics Limited

Pohlmeier, A., et al. (2009), A Fast Field Cycling NMR Relaxometry Study of Natural Soils, *Vadose Zone J.*, in print.

Schaumann, G. E., et al. (2005), H-NMR relaxometry to monitor wetting and swelling kinetics in high-organic matter soils, *Plant and Soil*, 275, 1-20.

Yaramanci, U., et al. (2008), Magnetic Resonance Sounding Special Issue of Journal of Applied Geophysics, 2008, *Journal of Applied Geophysics*, 66, 71-72.

## Exkursion G 4

### Bodenkartierung im Hohen Venn – Planungsgrundlagen zum Schutz und zur Reaktivierung von Mooren

Manfred Aletsee<sup>1</sup>, Franz Richter<sup>2</sup>, Gerhard  
Milbert<sup>2</sup>

#### Einleitung und Fragestellung

Die Exkursion führt an den Ostrand des hohen Venns, westlich der Eifelstadt Monschau. Hier klingen die flächigen Moore des Hohen Venns tüpfelförmig aus und gehen in Moor-Stagnogleye, Moorgleye und ausgeprägte Pseudogleye mit Feuchthumusformen über. Die Exkursion zeigt auf Basis einer großmaßstäbigen Bodenkarte und 6 Bodenprofilen die Böden dieses Raumes. Den Abschluss bildet eine moorkundliche Wanderung durch das Naturschutzgebiet Brackvenn in Belgien. Die Beschreibung der Moorstandorte aus vegetationskundlicher und bodenkundlicher Sicht werden gegenübergestellt und Maßnahmen zur Reaktivierung der Moore und zum Naturschutz werden präsentiert. Die neue Gliederung der Humusformen ([www.humusformen.de](http://www.humusformen.de)) und die teilweise Entkopplung von Humusform und Bodenform werden erläutert.

#### Geographie und Klima

Das Mützenicher Venn und das Brackvenn liegen im nördlichen Teil des Naturraums Hohes Venn auf einer Höhe zwischen 600 und 620 Meter über NN. Das Klima wird durch niederschlagsreiche atlantische Westwinde und kühl-montane Temperaturen geprägt. So liegen die Niederschlagsmengen bei 1200 bis 1400 mm im Jahr und die mittlere Jahrestemperatur bei 7° Celsius. Während die Niederschlagsmengen in den letzten 50 Jahren mit 50 mm nur unwesentlich zunahm, erhöhte sich die mittlere Tagestemperatur um über 1° Celsius. Entsprechend sank die Anzahl der Frosttage um 20 auf aktuell 70 Tage (Gerstengarbe et al., 2004). Die Moorlandschaft befindet sich auf einer Hochebene mit mächtigen basenarmen Verwitterungstonen über kambrischen Gesteinen. Relikte postglazialer Frosthügel, so genannter Palsen, geben der Landschaft ein charakteristisches und abwechslungsreiches Mikorelief.

#### Geologie

Das Exkursionsgebiet gehört zum Kern und zum Südostflügel des Vennsattels, der eine der größten tektonischen Einheiten des nordwestlichen Rheinischen Schiefergebirges ist. Hier treten, über große Bereiche tiefgründig verwittert, die ältesten Gesteine Nordrhein-Westfalens, Tonsteine (Phyllite), die stark überwiegen, und Quarzite des Revins (Kambrium), zu Tage. Hahnheister und Steling sind Teil des quarzitischen Härtlingszugs, der die höchsten Erhebungen des Hohen Venns bildet. Im Südflügel treten mit schmalen Ausstrich Gesteine des Ordoviziums (Ton- und Sandstein der Salm-Schichten) und des Unterdevons (Ton- und Sandstein des Gedinne) zu Tage. Die Gesteine des Paläozoikums waren teilweise von Ablagerungen der Unterkreide überdeckt, die heute größtenteils abgetragen sind. Die Grundgebirgsgesteine verwitterten präquartär zu steinig-grusigem schluffig-tonigem bis schluffigem Lehm. Die schwer verwitterbaren Quarzite der Revin-Schichten bildeten oft Schuttmassen aus Felsblöcken; dies sind die so genannten „Vennwacken“.

Im Pleistozän wurde das Gebiet mit einem geringmächtigen Schleier aus Löss bedeckt, der zu Lösslehm verwitterte. Lösslehm und das Verwitterungsmaterial der Festgesteine wurden durch Solifluktion verlagert und durchmischt (Fließerdien).

Heute liegt an der Oberfläche ein 5 bis 8 dm mächtiger Solifluktionslehm mit einem mittlerem bis hohem Lösslehmanteil (etwa 30-70 %) und geringem bis mittlerem Skelettgehalt (10 - 25 %). Darunter liegen periglazial umgelagerte, unter 1 bis über 6 m mächtige Verwitterungslehme der Grundgebirgsgesteine. Der Skelettanteil nimmt in diesen bis auf 40 bis 70 % zu, sehr häufig sind große „Vennwacken“ bis zu Metergröße, einen hohen Anteil bilden auch Bruchstücke von Gangquarz. Der Untergrund besteht aus Grus und Steinen mit tonig-lehmiger Matrix als Übergangszone zum unverwitterten Festgestein (Sandstein, Tonstein, Phyllit, Quarzit).

Jüngere, holozäne Bildungen sind die Moore, die im Verlauf der letzten 10.000 Jahre über einem wenig durchlässigen Untergrund bei hohen Niederschlagsmengen entstanden. Die Entstehung von Mooren steht oft im Zusammenhang mit den ring- und streifenförmigen Frostschuttbildungen der Palsen.

**Palsen - Frosthügelreste im Hohen Venn** (nach: [http://www.geomontanus.com/seiten\\_exkursionen/palsen.htm](http://www.geomontanus.com/seiten_exkursionen/palsen.htm), verändert)

Im Hohen Venn finden sich auf einer Fläche von mehr als 2000 ha Reste von ehemals periglazialen Hügeln. Diese heute vorwiegend in rundliche Becken umgewandelten Formen liegen auf einer Höhe von 500 m bis 700 m.ü.NN. Die Standorte sind in flachem Gelände oder an

1. Biologische Station im Kreis Aachen, Zweifaller Str. 162, D-52224 Stolberg. [www.bs-aachen.de](http://www.bs-aachen.de)
2. Geologischer Dienst NRW, De-Greif-Str. 195, D47803 Krefeld,; [www.gd.nrw.de](http://www.gd.nrw.de)

Hängen mit geringer Neigung von weniger als 5%. Sie können eine Größe von bis zu 50 m Durchmesser haben. In Hanglagen sind längliche Formen von einigen 100 m Länge anzutreffen. Es konnte an der Universität Lüttich nachgewiesen werden, dass diese periglazialen Hügel durch Segregationseis gebildet wurden. Diese Frosthügelformen bezeichnet man im finnischen Ursprung als Palsen oder Palsa.



www.eugen-ev.de: Palsen im Brackvenn

### Entstehung eines Palsen

Die Palsen im Hohen Venn entstanden vor ca. 10.000 bis 11.000 Jahren am Ende der letzten Eiszeit (in der jüngeren Dryaszeit des Pleistozän). Zu dieser Zeit herrschte hier ein raues Klima. Die Temperaturen lagen im Jahresmittel zwischen  $-1^{\circ}\text{C}$  bis  $-5^{\circ}\text{C}$ . Während des Sommers konnte der Boden oberflächlich auftauen. Eine weitere wichtige Bedingung für die Entstehung von Palsen war das sehr feuchte und feinkörnige Bodensubstrat. In der schneereichen Landschaft konnte der Frost in durch Verwehung freigelegten Boden verstärkt eindringen. Der anhaltende Frost führt zur Bildung von Segregationseislinsen. Bei diesem Gefrierungsprozess wurde die Wassermenge in den Bodenkapillaren verringert, und Wasser aus größerer Tiefe angesogen. Diesen Vorgang nennt man Kryosuktion. Solange sich die Bildung von kleinen Eislinsen und der Nachtransport von Wasser ausglich, wuchsen die Hügel. Die wachsende Hangneigung löste ein erstes abwärts gerichtetes Bodenfließen aus. Im wärmeren Sommer konnten die oberen Bodenschichten des Palsen auftauen. Durch das Abgleiten einzelner Lagen bildeten sich am Rand des Hügels erste größere Schüttungen. Durch die langsam einsetzende Erwärmung des Klimas wurde dieser Prozess noch verstärkt. Im Präboreal des Holozän (8300-7000 v.Chr.) erwärmte sich das Klima bis zum völligen Abtauen der Frosthügel. Die seitlichen Bodenschichten senkten sich dabei leicht ab. In den so gebildeten Becken bildeten sich Nieder- und Übergangsmoore. Dominierte der Einfluss des Niederschlagswassers, konnte die Torflage über den Rand des Palsen hinaus und allmählich zu einem Hochmoor weiter wachsen.



Palsen im Brackvenn

### Böden

Der quarzitische Hürtlingszug des Steling bildet die höchste Erhebung im deutschen Anteil des Hohen Venns. Auf seinem Rücken ist die durchschnittliche Mächtigkeit der Fließerden über den Gesteinen des Revins vergleichsweise gering. Hier dominieren Pseudogley-Braunerden, Braunerde-Pseudogleye und Pseudogleye mit mittlerer Staunässe. Am Nordosthang liegt ein kleiner Bereich mit Moorstagnogley und kleineren Übergangsmooren.



Pseudogley-Braunerde, Profil G4.4



Pseudogley, Profil G4.3

Der Mützenicher Wald liegt auf der südlichen Fortsetzung des Steling-Rückens. Die größte Fläche nehmen hier Anmoor-Pseudogleye ein, doch liegen hier auch einige ausgeprägte Palsen, in denen der Torf meist vollständig abgebaut ist. Die Bodengesellschaft gleicht derjenigen im Gebiet westlich "Platte Venn". Zwischen Hahnheister und "Platte Venn" liegt ein Bereich mit Frostschuttbildungen: Die rundlichen Gebilde der Palsen bilden von bis zu mehreren Metern hohen Wällen umgebene wassererfüllte Senken, in denen meist ein Moor entstand. In diesem Palsenfeld liegen Bereiche mit höchst unterschiedlichen Wasserverhältnissen, ihre Bodengesellschaft umfasst daher ein weites Spektrum von Bodentypen. Pseudogley-Braunerden, Braunerde-Pseudogleye und Pseudogleye mit mittlerer Stau-nässe entstanden auf den Wällen, überwiegend Übergangsmoore in den Vertiefungen der Palsen. Bei Torfmächtigkeiten unter 3 dm wurden Moor-gleye, bei sehr hoch anstehendem Staukörper Moor- und Anmoorstagnogleye kartiert. Zwischen den Mooren, Moorgleyen und Stagnogleyen gibt es alle Übergänge. Eine scharfe Grenzziehung in Bezug auf ihre jeweiligen Wasserverhältnisse ist nicht möglich. Die Art der Torfe wurde im Gelände nur sehr grob bestimmt, weniger durch Bestimmung ihrer Zusammensetzung mittels Analyse der Pflanzenreste, als durch Rückschlüsse mit Hilfe der Lage der Moore im Gelände beziehungsweise der sie aktuell besiedelnden Pflanzengesellschaften. Diese Einstufung ist nur als eine vorläufige Näherung an die Verhältnisse in der Natur zu verstehen. Es wurden Übergangsniedermoores und untergeordnet Niedermoores ausgeschieden. Eine genauere Klassifizierung der Moore bleibt den in den Projekten tätigen Vegetations- und Moorkundlern überlassen.



Übergangsmoor, Profil G4.1



Erdhochmoor, Abbtorfungswand Brackvenn, Profil G4.6



Gley-Übergangsmoor-Stagnogley, Profil 6.4.5

### Gebietsbeschreibung Mützenicher Venn

Das Naturschutz- und FFH-Gebiet Mützenicher Venn umfasst Reste der ehemals ausgedehnten östlichen Ränder des Hohen Venns auf der deutschen Seite (Kreis Aachen, Stadt Monschau). Es besteht aus zwei Teilgebieten westlich der Ortschaft Mützenich und liegt auf der Wasserscheide zwischen den nach Westen direkt in die Maas fließenden Bächen und den nach Osten zunächst in die Rur fließenden Quellbächen. Nach dem 2. Weltkrieg wurde das Mützenicher Venn stark entwässert und mit Fichten aufgeforstet.

### Gebietsbeschreibung Brackvenn

Das Brackvenn umfasst zum einen das auch „Königliches Hochmoor“ oder „Miste“ genannte Hochmoor. Zum anderen aber auch großflächig Niedermoore, Moorkwälder und Feuchtheiden. Es ist Teil der Deutschsprachigen Gemeinde Belgiens. Auch hier wurden weite Teile entwässert und mit Fichten aufgeforstet. Das bis zu 10 Meter mächtige Hochmoor selbst ist vom östlichen Rand her bis ins 20. Jahrhundert abgetorft worden. Der westliche Moorkörper birgt jedoch auch heute noch großflächig eine ursprüngliche Hochmoorvegetation und ist eines der bedeutendsten Hochmoore Mitteleuropas.

### Ökologische Moortypen

Grundsätzlich handelt es sich bei Mooren um Ökosysteme, in denen aufgrund eines Wasserüberschusses Vegetationsreste unvollständig zersetzt werden und sich anreichern, d.h. Torfe bilden. Zur Einteilung der Moore im Hohen Venn wird der ökologischen Moortypen-Klassifikation von Lang (1994) in Anlehnung an Von Post und Du Rietz gefolgt. Hiernach lassen sich Grundwasser oder Oberflächenwasser beeinflusste, d.h. minerotrophe Niedermoore von rein Niederschlagswasser beeinflussten, d.h. ombrotrophen Hochmooren unterscheiden. Im Hohen Venn sind geologisch bedingt alle Niedermoore basenarm und mit Ausnahme kleinflächiger Quell- und Hangmoore auch mineralarm. Die Vegetation ist entsprechend artenarm und wird großflächig von bultig wachsenden, an die wechselnden Wasserstände angepassten, grasartigen Pflanzen, vornehmlich dem Pfeifengras (*Molinia caerulea*), geprägt. Die Torfaufgabe kann wenige Zentimeter bis mehrere Dezimeter betragen. In den Palsenvertiefungen ist die Torfaufgabe höher (bis 4 Meter), so dass sich die Mooroberfläche mit dem unterschiedlichen Wassergehalt des Torfkörpers hebt und senkt und die Vegetation ständig optimal wassergesättigt ist. Meist sind die trophischen Verhältnisse jedoch so, dass der Moorkörper nicht über die Palsenränder hinaus wächst, d.h. keine rein ombrotrophen Bedingungen entstehen. Es handelt sich dann um Zwischenmoore. Im Hohen Venn befinden sich aber auch mehrere große Hochmoore mit einer Torfmächtigkeit von bis zu 10 Metern. Sie sind ausschließlich vom Niederschlagswasser gespeist, das heißt ombrotroph.

### Vegetation

Die „Vennhochfläche Mützenich“ liegt nach Angaben von Trautmann 1991 auf der Grenze der Wuchsbereiche „Hochmoorvegetationskomplex und Birkenbruchwald des Berglandes“ zum „Rasenschmielen-Hainsimsen-Buchenwald“ (*Luzulo-Fagetum*, *Deschampsia cespitosa*-Variante).

Bei genauerer Differenzierung befindet sich das Mützenicher Venn im Bereich des *Betuletum pubescentis* (Schwickerath 1944), des pfeifengras- und zwergstrauchreichen Birkenmoorwaldes. Diesem lockeren Birkenwald mit häufigen

manchmal dominanten Vorkommen von *Salix aurita* ist regelmäßig die Eberesche (*Sorbus aucuparia*) beigemischt. Auf den höher gelegenen, zeitweise stark austrocknenden Standorten, namentlich auf den Palsenrändern, stockt kleinflächig die atlantisch-montan geprägte Bergheide (*Vaccinio-Callunetum*) bzw. nach Schwickerath das *Callunetum-Genistetum boreo-euatlanticum*.

In den Palsenvertiefungen dagegen haben sich Niedermoor- und Zwischenmoorstadien etabliert. Erstere bei flachen oder kleineren Vertiefungen mit stärkeren Wasserstandsschwankungen. Letztere bei größeren Vertiefungen deren Vermoorung sich über eine Verlandungssukzession zu den heutigen Zwischenmoorstadien entwickelt hat.



Verlandung eines abgetorften Palsen, Mützenicher Venn

Entsprechend ist die Vegetationszusammensetzung und -struktur sehr abwechslungsreich. Aufgrund der Nährstoffarmut des anstehenden kambrischen Verwitterungstons ist sie jedoch überwiegend basenarm geprägt und nur selten in quelligen Bereichen schwach minerotroph beeinflusst. Unter sehr nährstoffarmen Bedingungen entwickelt sich in den Palsen auf mehreren Meter tiefen Torflagern ein *Erico-Sphagnetum papillosum*. Die Vegetation ähnelt dann derjenigen der großen Hochmoorflächen (z.B. Brackvenn). Da sie jedoch stets soligen beeinflusst und nie rein ombrotroph ist, handelt es sich um Zwischenmoore. Hochmoore hat es im Bereich des Mützenicher Venns nicht gegeben.



*Eriophorum angustifolium*, Schmalblättriges  
Wollgras im Mützenicher Venn

Dagegen spricht doch viel dafür, dass einzelne Buchen, wenn auch in krüppeliger Form vom Luzulo-Fagetum, welches wohl ursprünglich im Bereich der heutigen Ortslage von Mützenich stockte, bis in die nördlichen Randbereich des Mützenicher Venns hineinragten.

Im Brackvenn befindet sich auch heute noch eins der bedeutendsten Hochmoore Mitteleuropas. Es handelt sich hierbei um ein atlantisch geprägtes Plateauhochmoor mit leichter uhrglasförmiger Aufwölbung, also einem rein ombrotrophen Moor. Auf der Hochmoorfläche ist die Vegetation des zwergstrauchreichen wachsenden Hochmoores (Kl. *Oxycocco-Sphagnetum*, Ass. *Erico-Sphagnetum papillosum*) bestandsbildend.

Um den Hochmoorkörper herum befindet sich eine ausgedehnte Moorkomplexlandschaft. Aufgrund der postglazialen Frosthügel und des daraus resultierenden geomorphologischen Reliefs ist sie unterschiedlich stark vermoort und mosaikartig differenziert. So wechseln sich stark bultige und wechselfeuchte ausgedehnte Pfeifengras reiche Niedermoore (Ass. *Caricetum nigrae* bzw. *Erico-tetralicis molinietum*, Pietsch 1977) sowie Ohrweidengebüsche (*Betuletum pubescentis*) mit den oftmals strangförmigen atlantischen Heiden ab. Auch hier finden sich in den Palsen die unterschiedlichsten stets basenarmen Moorgesellschaften.



Rundblättriger Sonnentau, Brackvenn

### Degeneration der Moor- und Heidevegetation

Durch Entwässerung, nachfolgende Torfbrände und Aufforstung mit Fichten sind großflächig die Moorstandorte im Hohen Venn beeinflusst bzw. zerstört worden. Bezüglich der Entwässerung muss unterschieden werden, zwischen der Entwässerung durch Gräben im Torf die zu einer Sackung, Durchlüftung, Humifizierung und Mineralisation des Torfes führen, und der Entwässerung durch Gräben im Mineralboden, die sich in erster Linie auf die Oberflächenvernässung der hangabwärts gelegenen Flächen und ihrer Vegetation negativ auswirkt. Die hydrologischen und trophischen Auswirkungen sind tendenziell ähnlich. Zum einen sinkt das mittlere Wasserstandsniveau, zum anderen steigen die Wasserstandsamplitude und die Nährstoffverfügbarkeit. In Abhängigkeit von der Kom-

bination dieser und weiterer veränderlicher Parameter ist die Auswirkung auf die Vegetation sehr unterschiedlich. Grundsätzlich wird jedoch die entwässerungsempfindliche Hoch- und Zwischenmoorvegetation zu Gunsten einer gegenüber Wasserstandsschwankungen unempfindlichen, bultigen Niedermoorvegetation (*Molinia*-Stadien) oder einer trockenheitsliebenden Degenerationsvegetation (*Polytrichum*-Stadien oder *Vaccinio-Calluna*-Stadien) verdrängt. Die Degeneration der Heide- und Niedermoorvegetation kommt oftmals durch die Aufforstung mit Fichten und der damit einhergehenden Ausschattung einer vollständigen Auslöschung gleich.

### Restauration, Regeneration, Renaturierung der Moor- und Heidestandorte

Verläuft die Degeneration von Zwischenmooren im Vergleich zu Hochmooren oftmals ähnlich, so sind die Restaurations- und damit auch die Renaturierungsmöglichkeit der Moore sehr unterschiedlich. Durch die Lage der Zwischenmoore in den Palsenvertiefungen ist durch die Restauration des Palsenwalls die Stabilisierung des Wasserstandsniveaus leicht möglich und die Regeneration der Moorvegetation beginnt innerhalb weniger Jahre. Die Möglichkeit einer vollständigen Renaturierung ist allerdings vorwiegend abhängig von den Vegetationsrelikten, d.h. von der Dauer und Stärke der Degenerationsphase und den damit verbundenen Verlust bestimmter Arten (Aletsee 2005). Die Restaurationsmöglichkeiten in degenerierten Hochmooren sind jedoch aufgrund der irreversiblen Veränderungen im Torfkörper fraglich.

Die Restauration von Heide- und Niedermoorstandorten besteht aus der großflächigen Entfernung der Fichte und einer konsequenten Vernässung durch Dämmung sämtlicher Gräben. Dabei hängt die Regenerationsfähigkeit der Heide- und Niedermoorvegetation ebenfalls stark vom Überleben einzelner Vegetationsrelikte während der Degenerationsphase ab. Erschwerend kommt allerdings hinzu dass die maßnahmenbedingte Befahrung der Flächen mit schwerem Forstgerät zu einer Verdichtung des Bodens und zu einer erhöhten Nährstoffverfügbarkeit führt. Auch ermöglicht die Nährstofffreisetzung aus der Nadelstreu die vermehrte Etablierung von Gehölzen.



## Fichtenaufforstung Platte Venn

### Literatur:

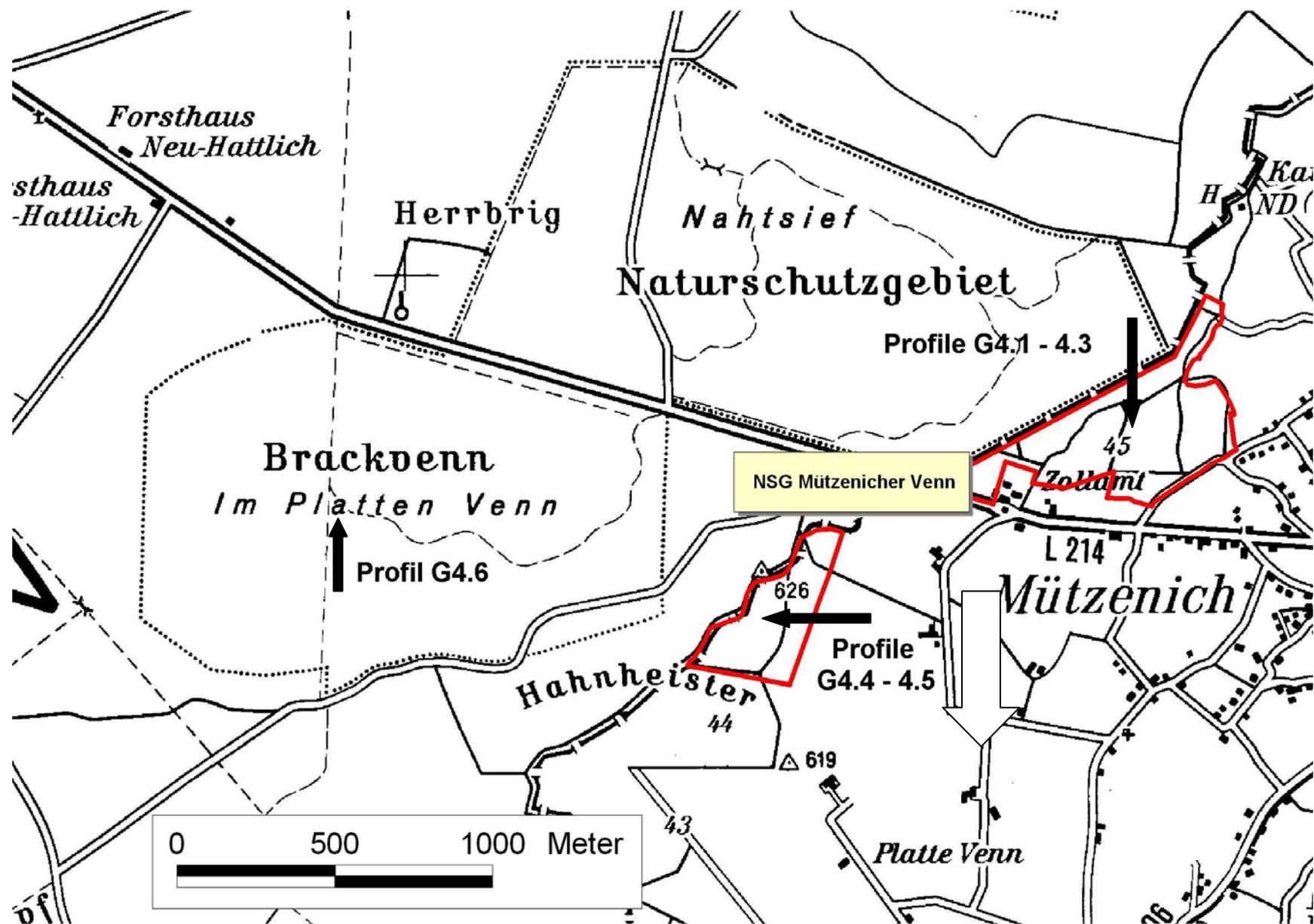
- Aletsee, M. (2005): Schutz und Renaturierung der „Palsen“ als Grundlage für den Erhalt der Moorvegetation und gefährdeter Libellen im deutsch-belgischen Hohen Venn. Telma, 35.
- Lang, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Jena.
- Schwickerath, M. (1944): Das Hohe Venn und seine Randgebiete. Vegetation, Boden und Landschaft. Pflanzensoziologie (Jena) Bd. 6.
- Schwickerath, M. (1966): Hohes Venn – Nordeifel. - 227 S.; 376 Abb.; Recklinghausen (Aurel Bongers).
- Trautmann, W. (1991): Vegetationskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200.000 - Potentielle natürliche Vegetation - Blatt CC 5502 Köln. – Schr.-Reihe Vegetationskunde (Bonn-Bad Godesberg) H. 6.
- Brunemann, H.-G.; Jäger, B.; Knapp, G.; Michel, G.; Reinhardt, M.; Ribbert, K.-H.; Weber, P.; Wrede, V. (1992): Erläuterungen zu Blatt C 5502 Aachen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 100 000, Erl., C 5502: 84 S., 21 Abb., 5 Tab.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- Knapp, G. m. Beitr. von Hager, H. (1978): Erläuterungen zur Geologischen Karte der nördlichen Eifel, 2. Aufl. - 152 S.; 9 Abb., 9 Tab., 1 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- Meyer, W. (1994): Geologie der Eifel, 3.Aufl. - 618 S.; 154 Abb. 13 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- Richter, D. (1975): Aachen und Umgebung – Nordeifel und Nordardennen mit Vorland, 2. Aufl. - Sammlg. Geol. Führer 48: 208 S.; 32 Abb., 11 Karten; Berlin, Stuttgart (Borntraeger).
- Richter, F. (2004): Bodenkarte zur Standorterkundung, 1 : 5.000, Verfahren Hochmoore der Nordeifel, Teilprojekt 2, Mützenich; Geologischer Dienst NRW

### Methoden:

Bodenchemische Untersuchungen siehe Handbuch Forstliche Analytik, Download:

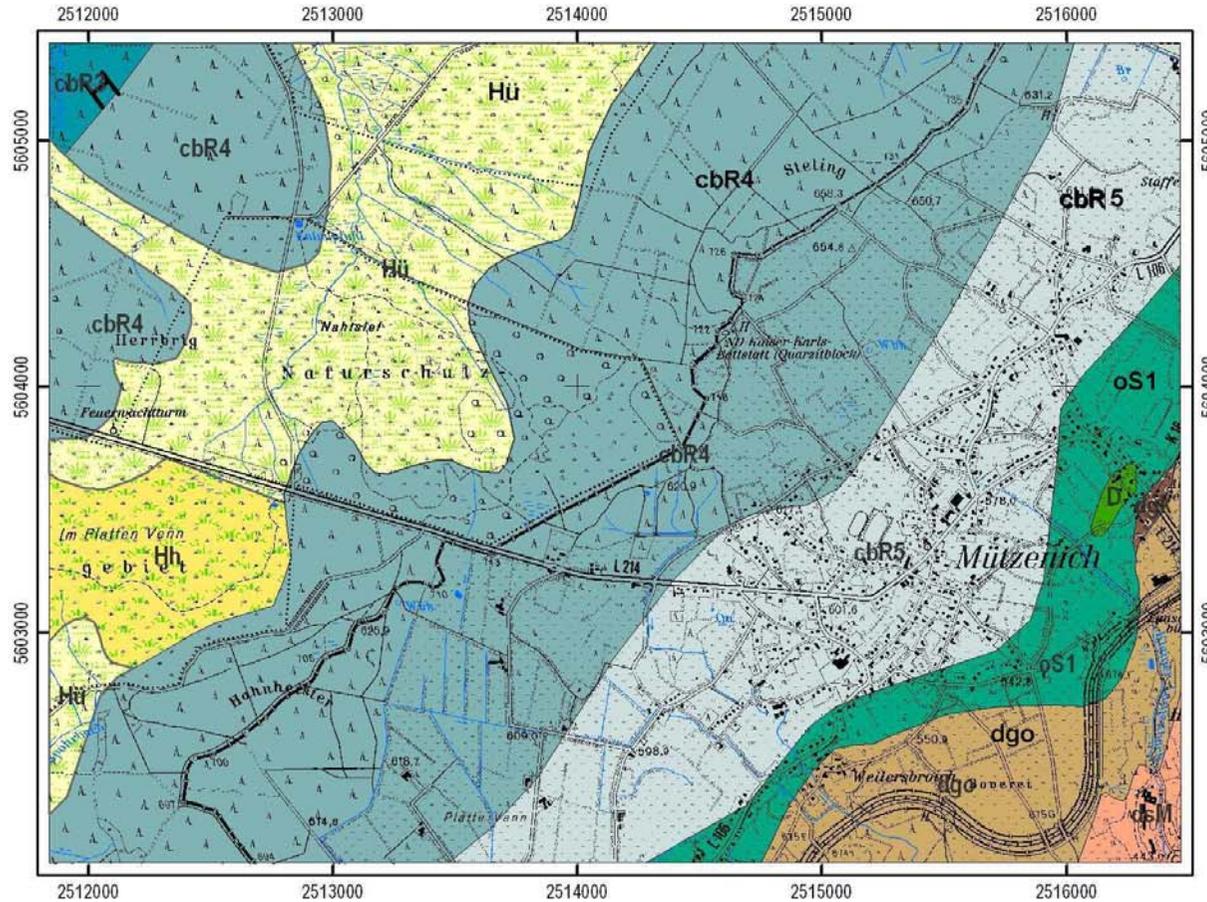
[http://www.bmelv.de/cln\\_045/nn\\_753670/DE/06-Forstwirtschaft/Bodenzustandserhebung/HandbuchForstlicheAnalytik.html\\_nnn=true](http://www.bmelv.de/cln_045/nn_753670/DE/06-Forstwirtschaft/Bodenzustandserhebung/HandbuchForstlicheAnalytik.html_nnn=true)

Bestimmung der Korngrößen ohne Humuszerstörung, Trockenrohichte nach DIN ISO 11272; Porengrößenverteilung nach DIN ISO 11274, gesättigte Wasserdurchlässigkeit nach DIN ISO 19683-9

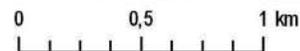


# Geologische Übersichtskarte von Mützenich

Herausgegeben vom Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen



1 : 25000



## Jüngste Ablagerung (10 000 J. v.h. bis Neuzeit)

- Hochmoor (Torf) Hh
- Übergangsmoor (Torf) Hü

## Devon (417 bis 358 Mio. J. v.h.)

- Monschau-Schichten (Sandstein, Schluffstein, Tonstein) dsM
- Oberes Gedinne (Tonstein, Schluffstein, Sandstein) dgo
- Basiskonglomerat des Obergedinne (Quarzit) dgK

## Ordovizium (495 bis 443 Mio. J. v.h.)

- Untere Salm-Schichten (Tonstein) oS1

## Kambrium (545 bis 495 Mio. J. v.h.)

- Revin 5-Schichten (Tonstein) cbR5
- Revin 4-Schichten (Tonstein, Quarzit) cbR4
- Revin 3-Schichten (Tonstein) cbR3

## Vulkanisches Gestein (Mittel- bis Oberdevon)

- Gang- und Lagerdiabas (Vulkanit) D



Weitere Informationen:  
 Geologischer Dienst NRW - Landesbetrieb -  
 De-Greif-Str. 195  
 47803 Krefeld  
 Tel: 02151/897-0 Fax: 02151/897-505  
 Email: poststelle@gd.nrw.de  
 Internet: www.gd.nrw.de

Ort: NSG Mützenicher Venn

Bearbeiter Manfred Aletsee

Größe (m<sup>2</sup>): 4

Regeneration einer Zwischenmoorvegetation in einem Palsen nach Verschluss des Walls (ca. 1993)

**Tendenz 2008: Ausbreitung der Zwischenmoorvegetation und Verdrängung von Stör- und Pionierarten**

	Datum: 22.07.04	Datum: 20.06.06	Datum: 18.06.08
Gesamtdeckung (%):	100	100	100
Deckung Krautschicht (%):	15	20	25
Deckung Moosschicht (%):	100	100	90
Deckung Torfmoose (%)	100	100	
<b><i>Eriophorum vaginatum</i></b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
<b><i>Vaccinium oxycoccos</i></b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
<b><i>Sphagnum papillosum</i></b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<i>Calluna vulgaris</i>	1	<1	<1
<i>Vaccinium myrtillus</i>	1	<1	<1
<i>Picea abies</i> (juv.)	< 1	<1	<1
<i>Avenella flexuosa</i>			+
<b><i>Molinia caerulea</i></b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
<b><i>Sphagnum fallax</i></b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>90</b>

Ort: NSG Mützenicher Venn

Bearbeiter Manfred Aletsee

Größe (m<sup>2</sup>): 16

Entfichteter Palsenwall mit Regeneration eines Calluneto-Genistetum boreo-euatlanticum

**Tendenz 2008: andauernde Regeneration mit Ausfall von Störzeigern**

	Datum: 23.07.04	Datum: 20.06.05	Datum: 18.06.08
Gesamtdeckung (%):	90	90	95
Deckung Krautschicht (%):	90	90	95
Deckung Moosschicht (%):	2	5	2
<b>Krautschicht</b>			
<b><i>Calluna vulgaris</i></b>	<b>55</b>	<b>80</b>	<b>85</b>
<i>Molinia caerulea</i>	5	5	5
<i>Juncus squarrosus</i>	3	3	2
<i>Vaccinium myrtillus</i>	3	2	1
<i>Betula pubescens</i> (juv.)	1	<1	<1
<i>Carex pilulifera</i>	1	1	<1
<i>Erica tetralix</i>	1	1	1
<i>Genista pilosa</i>	1	<1	<1
<i>Salix aurita</i> (juv.)	1	<1	1
<i>Eriophorum angustifolium</i>	< 1	<1	<1
<i>Luzula multiflora</i>	< 1	<1	<1
<i>Sorbus aucuparia</i> (juv.)	< 1	<1	<1
<i>Polytrichum spec.</i>	2	5	2
<b><i>Avenella flexuosa</i></b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
<b><i>Agrostis canina</i></b>	<b>1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>-</b>
<b><i>Juncus effusus</i></b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>-</b>
<b><i>Rubus fruticosus</i> agg.</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>-</b>
<b><i>Rubus idaeus</i></b>	<b>&lt;1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

## Standortsituation Exkursionspunkt G 4.1

Bearbeiter: Gerhard Milbert

TK25: 5403 Monschau

Datum: 19.05.2008

Lage: RW: 2514390 HW: 5603675 630 m NN

Kreis: Aachen Land

Nutzung: NSG,

Vegetation: siehe Veg.-Aufnahme, Verlandungszone

Relief: Plateau, eben, mäßig höckrig

### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	uHfw	0 - 30	trüb gelb (2,5Y6/4); stark und regelmäßig durchwurzelt (Feinwurzeln); Übergangsmoortorf, sehr schwach zersetzt ( <i>Sphagnum</i> , <i>Wollgras</i> , <i>Pfeifengras</i> )
2	uHfr	30 - 110	dunkelgrau gelb (2,5Y4/2); regelmäßig und stark durchwurzelt; Übergangsmoortorf, schwach zersetzt
3	II ff°Gr1	110-115	bräunlich schwarz (2,5Y3/2); extrem humos; kohärent, locker; schwach durchwurzelt; Schwach grusführende Torfmudde ( <i>Lugr2</i> )
4	II ff°Gr2	115-160	gelblich braun (2,5Y5/3); schwach humushaltig; nicht durchwurzelt; kohärent, locker; Tonmudde ( <i>Li3</i> )

### Profilkennzeichnung

Humusform	mesotrophes F-Moor
Bodenformen-bezeichnung:	Basensarmes Übergangsmoor aus Übergangsmoortorf über tiefer Mudde
WRB:	Rheic, Fibric Histosol (Hyperdystric)

### Anmerkungen:

Wachsendes Übergangsmoor, Beschreibung und Probenahme mittels Moorkammerbohrer

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Elementgehalte, Königswasserauszug (mg/kg)									
	cm	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Co	Sr	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
uHfw	0 - 30	<5	15,7	4,5	63,3	<5	3,1	1,9	0,6	8,0	
uHfr	30 - 110	6,34	171	19,2	449	11,0	9,6	8,2	2,1	7,0	
IIffh°Gr1	110-115	<5	34,2	20,0	76,9	16,0	20,1	45,0	4,7	19,0	
IIff°Gr2	115-160	<2	28	25,0	18,0	35,0	24,0	127,0	4,0	111,0	

Horizont	pH	pH	Humus (Mas-%)	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>KW</sub>	Ca <sub>KW</sub>
	(H <sub>2</sub> O)	KCl		Mas-%	Mas-%		(mg/kg)	(mg/kg)
1	30	31	32	33	34	35	36	37
uHfw	3,9	2,9	87,3	43,7	0,85	51	425	1880
uHfr	4,0	3,5	88,6	44,3	1,52	29	704	1000
IIffh°Gr1	3,9	3,4	47,6	23,8	0,93	26	362	860
IIff°Gr2	4,5	3,7	1,7	1,0	0,10			700

Horizont	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )							BS
	cmol <sub>c</sub> · g <sup>-1</sup>	Mn	Fe	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
1	21	22	23	24	25	26	27	28	29
uHfw									
uHfr									
IIffh°Gr1	21,1	0,03	3,56	0,12	0,10	0,93	4,12	12,24	25
IIff°Gr2	4,0	n.n.	1,82	n.n.	n.n.	0,12	0,63	1,43	19

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar

## Standortsituation Exkursionspunkt G 4.2

Bearbeiter: Gerhard Milbert

TK25: 5403 Monschau

Datum: 21.04.2008

Lage: RW: 2514395 HW: 5603669 458 m NN

Kreis: Aachen Land

Nutzung: NSG, Vegetation: siehe Vegetationsaufnahme, einzelne Birken, Heidekraut

Feuchtgebiet

Humusform:

Relief: Erdwall eines Palsen

### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont-/Substrat-symbol	Ober-/Untergrenze	Horizontbeschreibung
1	Sw-Ah	0 - 10	bräunlich-schwarz (10YR2/2), braun gefleckt (7,5YR4/6); feines Subpolyeder, schwach verfestigt; stark humos, stark und regelmässig durchwurzelt (Feinwurzeln) <i>Kryo-Tonschluff (Ut4) aus Löss und Gesteinszersatz</i>
2	Sw1	10 - 22	grau-gelbbraun (10YR4/2), stark gelbbraun gefleckt (10YR6/2); stark humos; regelmässig mittelstark durchwurzelt; feines Subpolyedergefüge, schwach verfestigt <i>Schluffstein</i>
3	Sw2	22 - 32	braun (10 YR 4/1), mäßig braunschwarz gefleckt (10YR3/1); stark humos, regelmäßig und schwach durchwurzelt; schwach verfestigtes feines Subpolyedergefüge, <i>Grus führender Kryo-Tonschluff (Lu xgr2) aus Löss und Schluffstein</i>
4	Sw3	32 - 43	braun (10 YR 4/6), schwach braunschwarz gefleckt (10YR3/1); stark humos, regelmäßig und schwach durchwurzelt; schwach verfestigtes feines Subpolyedergefüge <i>Grus führender Kryo-Tonschluff (Lu xgr2) aus Löss und Schluffstein</i>
5	II Sd	43 - 123	leuchtend braun (7,5YR5/8), mittel hell-bräunlich-grau gefleckt (7,5YR7/2); wenige weiche Eisen-Konkretionen, mittlere Lagerungsdichte; mittelgroßes Polyedergefüge; in Klüften und Spalten schwach durchwurzelt <i>Schluffton (Lt3 xgr3) aus Sand-, Schluff-, Tonstein</i>

### Profilkennzeichnung

Humusform:	feinhumusreicher rothumusartiger Moder
Bodenformenbezeichnung:	Sehr basenarmer Normpseudogley aus Grus führendem periglaziären Tonschluff (aus Löss und Schluffstein) über stark Schluffton aus Sand-, Schluff- und Tonstein
WRB:	Folic Stagnosol (Alumic, Hyperdystric, Siltic)

### Anmerkungen:

Erdwall eines Palsen, Substratgenese als Fließerde gedeutet

## Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Elementgehalte, Königswasserauszug (mg/kg)								
	cm	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Co	Sr
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Oh1		<5	304	23,4	132	13	9,6	13	1,7	13
Oh2		<5	216	16,6	43,5	15	5,3	13	0,9	9
Sw-Ah	- 10	<2	96	13,0	25	10	19	69	2	60
Sw1	- 22	<2	21	9,0	10	6	21	78	<2	80
Sw2	- 32	<2	37	18,0	28	9	31	111	3	90
Sw3	- 43	<2	34	21,0	37	28	30	129	4	88
II Sd	- 70	<2	23	18,0	29	54	15	119	5	60
II Sd	- 123 +	<2	16	16,0	29	53	14	132	4	57

Horizont	pH	pH	Humus (Mas-%)	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Ca <sub>t</sub>
	(H <sub>2</sub> O)	KCl		Mas-%	Mas-%		(mg/kg)	(mg/kg)
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Oh1	3,6	2,7	73,9	37,0	1,57	23,6	775	1390
Oh2	3,6	2,8	47,6	23,8	0,87	27,4	671	224
Sw-Ah	4,0	3,4	12,2	7,1	0,37	19	680	600
Sw1	4,2	3,6	6,2	3,6	0,13	29	200	900
Sw2	4,5	4,1	10,2	5,9	0,22	26	340	800
II Sd	4,4	3,7	1,7	1,0	0,07			800

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Sw-Ah	0	4,0	3,4	0,07	0,09	0,06	0,05	14,24	2
Sw1	0	4,2	3,6	0,02	<0,03	0,02	<0,02	10,82	1
Sw2	0	4,5	3,9	0,02	0,04	0,01	<0,02	15,14	1
Sw3	0	4,6	4,1	<0,02	0,05	<0,01	<0,02	9,72	1
II Sd	0	4,5	3,9	<0,02	0,07	0,01	<0,02	7,76	2
II Sd	0	4,4	3,7	0,03	0,09	0,03	0,05	8,31	2

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Bodenart	P <sub>t</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · g <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>					Mas-%	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Sw-Ah	n.b.	15,1	16,6	66,9	16,5	Ut3		
Sw1	n.b.	11,0	21,4	70,5	8,1	Ut4		
Sw2	n.b.	15,2	36,5	50,3	13,2	Tu3		
Sw3	n.b.	9,9	48,9	40,4	10,7	Tu2		
II Sd	n.b.	7,9	53,7	38,2	8,1	Tu2		
II Sd	n.b.	8,5	57,4	34,1	5,5	Tu2		

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar

## Standortsituation Exkursionspunkt G 4.3

Bearbeiter: Gerhard Milbert

TK25: 5403 Monschau

Datum: 19.05.2008

Lage: RW: 2514563 HW: 5603486 621 m NN

Kreis: Aachen Land

Nutzung: NSG

Vegetation: mittleres Fichtenbaumholz

Relief: Oberhang, südexponiert, schwach geneigt

### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont-/Substrat-symbol	Ober-/Untergrenze	Horizontbeschreibung
1	Of	+12-+10	Nadelstreu, rudimentiert, skelettiert, verfilzt
2	Oh1	+10-+07	Feinhumus, bröckelig stark durchwurzelt
3	Oh2	+7 - 0	Feinhumus, scharfkantig brechbar, schwach durchwurzelt
4	Sw-Aeh	0 - 3	bräunlich schwarz (10YR3/1); sehr stark humos; mittlere Subpolyeder, schwach verfestigt; regelmäßige mittlere Durchwurzelung <i>Schutt führender Kryo-Lehmschluff (Ut2 x2gr2) aus Zersetzung, Quarzit, Schluffstein, Sandstein</i>
5	Sew	3 - 20	grau gelbbraun (10YR6/2); humos; mittlere schwach verfestigte Subpolyeder; regelmäßige mittlere Durchwurzelung <i>Schutt führender Kryo-Lehmschluff (Ut2 gr2fx2mx2) aus Zersetzung, Quarzit, Schluffstein, Sandstein</i>
6	Sw	20 - 30	grau gelbbraun (10YR4/2), in Klüften braunschwarz (10YR3/1); humos, schwach verfestigte mittlere Subpolyeder; auf zahlreichen Klüftflächen deutlich humos; regelmäßige mittlere Durchwurzelung <i>Schutt führender Kryo-Lehmschluff (Ut3fx2gr2mx2) aus Zersetzung, Quarzit, Schluffstein, Sandstein</i>
7	Sd	30 - 60	gelblich braun (10YR5/6), in zahlreichen Flecken bräunlich grau (10YR6/1); schwach humos; mittelgrobes stark verfestigtes Prismengefüge, in Klüften und Spalten mittlere Durchwurzelung, Gesteinsoberflächen mit Wurzelfilz <i>Kryo-Schutttonschluff (Lu gr3fx2mx3) aus Zersetzung, Quarzit, Schluffstein, Sandstein</i>
8	II imCv-Go	60 - 90	rötlich grau (2,5YR5/1) mit mittel vielen orangen (2,5YR6/8) und rötlichbraunen (2,5YR4/6) Flecken; stark verfestigte mittelgroße Polyeder; in Klüften und Spalten mittlere Durchwurzelung, Wasser führend <i>Kryo-Schutttonschluff (Lu gr2fx2mx5) aus Zersetzung und Sandstein</i>

### Profilkennzeichnung

Humusform	feinhumusreicher rohhumusartiger Moder
Bodenformenbezeichnung:	Sehr basenarmer Gley-Pseudogley aus Schutt führendem periglaziären Lehmschluff über periglaziären Schutttonschluff
WRB:	Endogleyic Folic Stagnosol (Albic, Alomic, Hyperdystric, Siltic)

### Anmerkungen:

Wasserstand am 19.05.08: 80 cm u.GOF; Humusform: Moder über Rohhumus, bedingt durch Fichtenaufforstung nach vorhergehender Verheidung? Alte Grabenentwässerung, Ausspülen von Sew-Material durch schwankende Fichten

## Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Elementgehalte, Königswasserauszug (mg/kg)								
	cm	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Co	Sr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L/Of	+12-+10	0,69	85,3	12,5	75,3	n.n.	7,6	8,4	0,9	10,0
Oh1	+10-+7	0,95	264,0	21,1	89,9	11,0	10,8	11,3	1,9	10,0
Oh2	+7-0	1,87	167,0	15,3	23,2	11,0	7,0	9,2	0,7	8,0
Sw-Aeh	0-3	n.n.	40,0	11,0	6,0	8,0	24,0	60,0	2,0	70,0
Sew	3-20	n.n.	12,0	6,0	8,0	5,0	21,0	66,0	4,0	94,0
Sw	20-30	n.n.	24,0	14,0	25,0	4,0	23,0	88,0	4,0	112,0
Sd	30-70	n.n.	22,0	18,0	29,0	19,0	25,0	101,0	5,0	123,0
II imCv-Go	70-90	n.n.	22,0	22,0	14,0	17,0	24,0	113,0	2,0	162,0

Horizont	pH	pH	Humus (Mas-%)	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>KW</sub>	Ca <sub>KW</sub>
	(H <sub>2</sub> O)	KCl		Mas-%	Mas-%		(mg/kg)	(mg/kg)
1	30	31	32	33	34	35	36	37
L/Of	3,8	2,9	93,9	46,9	1,86	25	727	3770
Oh1	3,5	2,5	83,2	41,6	1,66	25	649	1990
Oh2	3,4	2,7	59,5	29,7	1,20	25	578	175
Sw-Aeh	3,6	3,1	13,3	7,7	0,29	26		600
Sew	4,1	3,5	2,9	1,7	0,09			900
Sw	4,3	3,8	4,9	2,9	0,16			1000
Sd	4,4	3,9	1,3	0,8	0,09			1100
II imCv-	4,6	3,9	0,8	0,5	0,10			1200

Horizont	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )							BS
	cmol <sub>c</sub> · g <sup>-1</sup>	Mn	Fe	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
1	21	22	23	24	25	26	27	28	29
L/Of									
Oh1									
Oh2									
Sw-Aeh	8,7	n.n.	0,29	0,05	0,05	0,06	0,10	7,61	3
Sew	5,9	n.n.	0,08	0,02	0,03	0,02	0,02	5,55	2
Sw	9,6	n.n.	0,11	0,02	0,06	0,03	0,04	9,34	2
Sd	5,8	n.n.	0,04	n.n.	0,07	0,03	0,04	5,62	3
II imCv-Go	3,4	n.n.	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	3,22	5

Horizont	Korngrößenverteilung (Masse-%)				GPV	nFK	rho	k <sub>f</sub>	
	Ton	Schluff	Sand	B-Art	Vol.-%	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	cm · s <sup>-1</sup>	cm · d <sup>-1</sup>
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20
L/Of									
Oh1									
Oh2									
Sw-Aeh			n.b.		74,6	50,1	0,53		251,4
Sew	9,9	66,3	23,8	Ut2	40,9	14,0	1,25		11,5
Sw	14,8	70,2	15,1	Ut3					
Sd	21,5	62,7	15,8	Lu	37,8	9,8	1,43		10,0
II imCv-Go	22,6	55,9	23,6	Lu					

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar

## Standortsituation Exkursionspunkt G 4.4

Bearbeiter: Gerhard Milbert

TK25: 5403 Monschau

Lage: RW: 2513210 HW: 5602864 620 m NN Kreis: Aachen Land

Nutzung: NSG

Vegetation: mittleres Fichtenbaumholz

Relief: Rücken/Wall, schwach nach Norden geneigt, kleinräumig mäßig wellig

Datum: 20.05.2008

### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont-/Substrat-symbol	Ober-/Untergrenze	Horizontbeschreibung
1	L	+13+12	Nadelstreu, gebräunt, locker
2	Of	+12+7	Nadelreste, rudimentiert, verfilzt, stark durchwurzelt
3	Oh	+7 - 0	Feinhumus, scharfkantig brechbar, mäßig durchwurzelt, mäßig viele Pilzhyphenstränge
4	Sw-Ahe	0 - 10	graubraun (7,5YR4/2); mäßig braun gefleckt (7,5YR4/6); stark humos; mittlere Subpolyeder schwach verfestigt, regelmäßig und stark durchwurzelt <i>Grus führender Kryo-Lehm (Ls 2x2gr2) aus Löss, Quarzit, Schluffstein, Tonstein</i>
5	Sw-Bv	10 - 30	gelbbraun (10YR5/3); mäßig gelb (10YR5/8) und gelbbraun (10YR5/3) gefleckt; humos, mittlere schwach verfestigte Subpolyeder, regelmäßige mittlere Durchwurzlung. <i>Kryo-Schutttonschluff (Lu x3gr2) aus Löss, Quarzit, Schluffstein, Tonstein</i>
6	Sd-Bv	30 - 60	leuchtend gelbbraun (10YR6/6) mäßig gelb-orange gefleckt, stark verfestigte mittelgroße Subpolyeder; auf zahlreichen Klüftflächen deutlich humos, in Klüften und Spalten schwach durchwurzelt <i>Kryo-Schutttonschluff (Lu x3gr2) aus Löss, Quarzit, Schluffstein, Tonstein</i>
7	II Sd-Bv	60 - 100	leuchtend gelblich braun (10YR6/6), trüb gelborange gefleckt (7,5YR6/8) in Adern gelborange (10YR7/2); mittelgroßes stark verfestigtes Subpolyederggefüge, in Klüften und Spalten schwache Durchwurzlung <i>Kryo-Schutttonschluff (Tu3 x3gr2) aus Quarzit, Schluffstein, Tonstein</i>
8	II ilCv-Sd	100-120	leuchtend gelblich braun (10YR6/6), gelborange (10YR7/2) und orange (7,5YR6/8) gefleckt, stark verfestigte mittelgroße Subpolyeder, in Klüften und Spalten schwache Durchwurzlung. <i>Kryo-Tonschluffschutt (Lu x4gr3) aus Zersatz, Quarzit, Tonstein und Schluffstein</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Humusform</b>	feinhumusreicher Rohumus
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Stark podsolige basenarme Pseudogley-Braunerde aus periglaziärem Schutttonschluff über tiefem periglaziärem Tonschluffschutt
<b>WRB:</b>	Cambic, Stagnic, Folic Albeluvisol (Alumic, Hyperdystric, Densic? oder Stagnic, Folic Cambisol (Alumic, Hyperdystric, Densic, Siltic

**Anmerkungen:** Erdwall eines Palsen, Humusform zweischichtig, älterer Teil vermutlich aus Verheidungsphase, Steinlage zwischen I und II, erst ab 60 cm Eiskeile

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Elementgehalte, Königswasserauszug (mg/kg)								
	cm	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Co	Sr
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L/Of	+12-7									
Oh	7 - 0									
Sw-Ahe	3 - 8	n.n.	43	5	11	18	20	73	2	99
Sw-Bv	15 - 25	n.n.	17	14	29	21	18	76	2	93
Sd-Bv	40 - 50	n.n.	21	16	47	19	20	92	5	99
II Sd-Bv	70 - 80	n.n.	18	20	33	20	20	87	6	97
II ilCv-Sd	110-120	n.n.	20	34	36	37	20	108	6	128

Horizont	pH	pH	Humus (Mas-%)	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>KW</sub>	Ca <sub>KW</sub>
	(H <sub>2</sub> O)	KCl		Mas-%	Mas-%		(mg/kg)	(mg/kg)
I	30	31	32	33	34	35	36	37
L/Of	3,6	2,6	94,7	47,3	1,83	26		
Oh	3,5	2,7	56,5	28,3	1,18	24		
Sw-Ahe	3,6	2,9	7,9	4,6	0,20	23	n.b.	500
Sw-Bv	4,3	3,7	3,0	1,8	0,11	17		1000
Sd-Bv	4,5	3,9	1,0	0,6	0,06			1000
II Sd-Bv	4,4	3,9						900
II ilCv-Sd	4,6	3,8						n.n.

Horizont	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )							BS
	cmol <sub>c</sub> · g <sup>-1</sup>	Mn	Fe	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29
L/Of									
Oh									
Sw-Ahe	12,2	0,03	0,48	0,04	0,04	0,04	n.n.	11,57	1
Sw-Bv	7,2	0,03	0,13	0,03	0,04	0,02	n.n.	6,74	1
Sd-Bv	8,3	0,03	0,03	0,06	0,08	0,02	0,21	7,87	5
II Sd-Bv	5,3	0,03	0,03	0,03	0,07	0,02	n.n.	5,12	3
II ilCv-Sd	4,1	0,03	0,03	n.n.	0,08	0,02	0,03	3,91	4

Horizont	Korngrößenverteilung (Masse-%)				GPV	nFK	rho	k <sub>f</sub>	
	Ton	Schluff	Sand	B-Art	Vol.-%	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	cm · s <sup>-1</sup>	cm · d <sup>-1</sup>
I	12	13	14	15	16	17	18	19	20
L/Of									
Oh					57,2	39,8	0,931		62,9
Sw-Ahe	24,0	41,4	34,5	Ls2					
Sw-Bv	18,3	59,4	22,3	Lu	39,9	15,4	1,316		33,3
Sd-Bv	25,4	59,8	14,8	Lu	40,1	10,8	1,325		3,0
II Sd-Bv	34,1	56,4	9,4	Tu3	33,6	12,9	1,532		2,3
II ilCv-Sd	26,1	58,6	15,3	Lu					

## Standortsituation Exkursionspunkt G 4.5

Bearbeiter: Gerhard Milbert

TK25: 5403 Monschau

Datum: 22.04.2008

Lage: RW: 2513131 HW: 5602878 625 m NN

Kreis: Aachen Land

Nutzung: NSG

Vegetation: Fichtenforst, Stangenholz, Grabenentwässerung

Relief: Plateau, eben, mäßig höckrig

### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont-/Substrat-symbol	Ober-/Untergrenze	Horizontbeschreibung
1	uHw	0 - 10	grau-gelbbraun (10YR4/2); stark und regelmäßig durchwurzelt (Feinwurzeln) <i>Übergangsmoorortf, sehr schwach zersetzt</i>
2	uHr	10 - 18	schwarz (10YR2/1); regelmäßig und stark durchwurzelt, <i>Übergangsmoorortf, stark zersetzt</i>
3	fOwh	18 - 21	bräunlich schwarz (10 YR2/2); regelmäßig und stark durchwurzelt; bröckelig. <i>Organische Auflage, überdeckt</i>
4	II Srw	21 - 46	gelborange (10 YR7/2) und stark braun-grau gefleckt (10YR4/1) sowie in Adern braun (10YR4/6); humos; regelmäßig und stark durchwurzelt; mittleres Subpolyederggefüge; mittlerer Anteil großer Makroporen <i>Grus führender Kryo-Lehmtone (Tu2 xgr2) aus Löss, Quarzit, Tonstein, Schluffstein</i>
5	II Srd	46 - 60	gelborange (10 YR7/2) und stark braun-grau gefleckt (10YR4/1) sowie in Adern braun (10YR4/6); mittlere Lagerungsdichte, mittelgrobes Subpolyederggefüge; regelmäßig und schwach durchwurzelt; mittlerer Anteil großer Makroporen <i>Grus führender Kryo-Tonschluff (Lu xgr3) aus Löss, Quarzit, Tonstein, Schluffstein</i>
6	III Srd-Go	60 - 90	leuchtend gelbbraun (10YR6/8) und in zahlreichen Adern leuchtend braun (7,5YR5/8) sowie stark gelborange gefleckt (10YR7/3); kohärent; mittlere Anteil großer Makroporen; regelmäßig mäßig durchwurzelt, <i>Schluff führender Kryo-Schluffton (Lt3 xgr3) aus Zersetzung, Quarzit, Tonstein, Schluffstein</i>
7	III Gr	90 - 170	gelbbraun (2,5Y5/4) und in Adern leuchtend braun (7,5YR5/8); mäßig grau-gelb-braun gefleckt (10YR6/2); kohärent; regelmäßig und mäßig durchwurzelt; mittlerer Anteil kleiner Makroporen <i>Schluff führender Kryo-Schluffton (Lut3 xgr3) aus Zersetzung, Quarzit, Tonstein, Schluffstein</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Humusform</b>	Feuchtmull
<b>Bodenformen-bezeichnung:</b>	Basenarmer Gley-Übergangsmoor-Stagnogley aus flachem Übergangsmoorortf über Grus führendem periglaziären Lehmtone über Schluff führendem glaziären Schluffton
<b>WRB:</b>	Endogleyic, Histic Stagnosol (Albic, Alomic, Hyperdystric, Siltic)

### Anmerkungen:

Substratgenese unklar, Fließerde über Mude?; Redoxtest im gesamten Profil positiv, Pedogenese unklar, wieso Torf und Nassbleichung über aktivem Go? Im Winter und Frühjahr Stagnogley dynamik, im Sommer Gley dynamik? Moorgley mit reliktschen Go-Merkmalen? Durchwurzeltung tief?

## Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Elementgehalte, Königswasserauszug (mg/kg)								
	cm	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Co	Sr
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Of	+3 - 0	1,22	69,7	9,6	52,1	4,16	6,4	11,8	1,4	6
uHw	0-10	3,83	177	13,7	77,5	n.n.	5,4	4,1	2,1	4
uHr	10 - 18	n.n.	447	217	68,9	n.n.	8,6	12,2	2,0	4
fOwh	18 - 21	3,10	174	73,8	44,0	n.n.	7,7	18,0	1,2	7
II Srw	21 - 46	<2	38	13	55	10	36	99	8	97
II Srd	46 - 60	<2	18	10	38	5	25	82	4	83
III Srd-Go	60 - 90	<2	18	15	28	25	24	97	4	61
III Gr	90 - 170	<2	14	12	29	25	24	88	5	33

Horizont	pH	pH	Humus (Mas-%)	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Ca <sub>t</sub>
	(H <sub>2</sub> O)	KCl		Mas-%	Mas-%		(mg/kg)	(mg/kg)
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Of	4,1	3,3	77,4	38,7	1,13	34	709	307
uHw	4,0	3,2	87,6	43,8	1,38	32	982	209
uHr	3,6	3,2	88,4	44,2	1,81	24	1050	153
fOwh	3,8	3,4	68,1	34,0	1,37	25	929	81
II Srw	4,4	3,6	3,7	2,2	0,12		320	800
II Srd	4,6	3,8	0,9	0,5	0,03			1400
III Srd-Go	4,8	3,7	0,6	0,4	0,03			900
III Gr	5,0	3,6						<500

Horizont	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )							BS
	cmol <sub>c</sub> · g <sup>-1</sup>	Mn	Fe	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Of									
uHw									
uHr									
fOwh									
II Srw	18	0,03	0,26	0,06	0,16	0,1	0,19	17,2	3
II Srd	6,3	0,03	0,09	0,02	0,07	0,04	0,08	5,97	3
III Srd-Go	6,7	<0,01	0,06	0,04	0,08	0,12	0,21	6,29	7
III Gr	5,9	0,03	0,31	0,06	0,10	0,34	0,74	4,32	21

Horizont	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	rho	k <sub>f</sub>	
	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	mm	g/cm <sup>3</sup>	B-art	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
Of									
uHw									
uHr									
fOwh									
II Srw	8,3				21,5	63,2	32,8	Tu22	4,2
II Srd	7,2				19,3	43,7	17,1	Ut4	12,2
III Srd-Go	6,9				18,7	47,4	21,4	Tu3	7,9

## Standortsituation Exkursionspunkt G 4.6

**Bearbeiter:** Gerhard Milbert **TK25:** 5403 Monschau **Datum:** 21.05.2008  
**Lage:** RW: 2512130 HW: 5603193 615 m NN **Land:** Belgien/Eupen  
**Nutzung:** NSG **Vegetation:** Weiden, Sumpfgbüsch, Heidekraut, abgetorfte Hochmoor, Pfeifengras faziesbildend

**Relief:** wellige Hochfläche

### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	L	+3-+2	abgestorbene Blatt- und Strauchreste
2	Of	+2-+1	rudimentierte und skelettierte Blattreste
3	Oh	+1- 0	bröckeliger Feinhumus, durchwurzelt
4	hHv1	0 – 40	mäßig zersetzter vererdeter Hochmoortorf; feines Subpolyedergefüge; regelmässig und stark durchwurzelt <i>Hochmoortorf</i>
5	hHv2	40 – 70	stark zersetzter vererdeter Hochmoortorf; feines Subpolyedergefüge; regelmäßig und stark durchwurzelt <i>Hochmoortorf</i>
6	rhHr°Hw	70-130	stark zersetzter Hochmoortorf; regelmäßig und schwach durchwurzelt, zeitweise wassererfüllt <i>Hochmoortorf</i>
7	rhHr°Hr	130+	stark zersetzter Hochmoortorf, wassergesättigt <i>Hochmoortorf</i>
8			

### Profilkennzeichnung

<b>Humusform</b>	feinhumusarmer Moder
<b>Bodenformen-bezeichnung:</b>	sehr basenarmes entwässertes Erdhochmoor aus Hochmoortorf
<b>WRB:</b>	Bathy Ombric, Hemic oder Sapric Histosol (Hyperdystric, Drainic)

### Anmerkungen:

Abbauwand des königlichen Hochmoores im Brackvenn, Belgien, Wasserspiegel durch Torfabbau stark abgesenkt

## Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Elementgehalte, Königswasserauszug (mg/kg)								
	cm	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Ni	Cr	Co	Sr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	L	+3-+2								
	Of	+2-+1								
	Oh	+1-0								
	hHv1	0-3								
	hHv2	40-50								
	rhHr°Hw	80-100								

Horizont	pH	pH	Humus (Mas-%)	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>KW</sub>	Ca <sub>KW</sub>
	(H <sub>2</sub> O)	KCl		Mas-%	Mas-%		(mg/kg)	(mg/kg)
1	30	31	32	33	34	35	36	37
	L							
	Of							
	Oh							
	hHv1	3,2	2,2	98,3	49,2	1,35	37	
	hHv2	3,1	2,1	99,8	50,1	0,95	53	
	rhHr°Hw	3,2	2,2	99,6	50,1	0,72	69	

Horizont	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )							BS
	cmol <sub>c</sub> · g <sup>-1</sup>	Mn	Fe	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
1	21	22	23	24	25	26	27	28	29
n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Horizont	Korngrößenverteilung (Masse-%)				GPV	nFK	rho	k <sub>f</sub>	
	Ton	Schluff	Sand	B-Art	Vol.-%	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	cm · s <sup>-1</sup>	cm · d <sup>-1</sup>
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar

## G 5: Böden und Bodenerosion im Pleiser Hügelland und in der Siegburger Bucht

Armin Skowronek und Stephen Wagner

### Einführung

Unsere Ernährung wird durch die landwirtschaftliche Bodennutzung garantiert. Diese hat die natürliche bodenschützende Walddecke beseitigt, die entstandene Kultursteppe bedeckt nur zeitweise und unterschiedlich den Boden: es kommt zu Bodenerosion durch Wasser und/oder durch Wind. Eine Kompensation des Bodenverlustes durch bodenbildende Prozesse an der Basis von Ackerböden ist nicht erwiesen, zumindest aber in menschlichen Zeithorizonten nicht zu erwarten (BOTSCHKE et al. 1997). Hier zeigt sich drastisch, dass „Böden – eine endliche Ressource“ sind. Grundlegende Erkenntnisse zur Bodenerosion in sechs verschiedenen geologisch-geomorphologischen Landschaftstypen Nordrheinlands wurden – besonders hinsichtlich ihrer wasserwirtschaftlichen Bedeutung – bereits von WANDEL (1950) mitgeteilt.

Die beiden Exkursionsgebiete decken sich mit den Arealen von zwei „Versuchsgütern“ der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn rechts des Rheins: Lehr- und Forschungsstation Frankenforst mit Leistungsprüfungsanstalt (135 ha, Institut für Tierwissenschaften) und Versuchsbetrieb für Organischen Landbau „Wiesengut“ (76 ha, Institut für Organischen Landbau). Das Pleiser Hügelland (mit Frankenforst) gehört naturräumlich zum „Westerwald“ bzw. zu den „Vorwesterwälder Hochflächen“, die Siegburger Bucht (mit Wiesengut) zur „Niederrheinischen Bucht“ bzw. „Kölner Bucht“ (s. Übersichtskarte von KH. PAFFEN).

### Exkursionsstandorte Frankenforst: Rundgang

#### 1. Relief- und Bodenveränderungen durch historische Wassererosion sowie agrarökologische Folgen

Der nach NE von 160 auf 130 m NN abfallende Lößbrücken zwischen Forstbach und Eichenbach weist alle typischen Kennzeichen einer bodenerosiven Veränderung von Solum und Relief auf.

Bereits die Assoziation „Parabraunerde, z. T. mäßig bis schwach erodiert“ (L33) und „Rendzina, z. T. stark erodierte Parabraunerde“ (R3) der BK 50 NRW Blatt L 5308 Bonn (1983) belegt, dass der anthropogen bedingte, historische Oberflächenabfluß einen ehemals konvexen Hang in die Abfolge erosiv-konvex (L33), erosiv-konkav (R3) und akkumulativ-konkav (Kolluvium, hier nicht auf BK 50 ausgewiesen) durch „Hangpedimentation“ (ROHDENBURG 1989) umgeformt hat. Diese geomorphologische Gesetzmäßigkeit der (Boden)Abtragung: regressives Zurückweichen einer Stufe unter Ausbildung einer Fußfläche ist in allen Lößgebieten des Kartenausschnitts erkennbar (vgl. a. WANDEL 1950, Abb. 7, 28 u. 29). BOTSCHKE (1999, Abb. 8 u. 9) hat die Entwicklung graphisch umgesetzt und gleichzeitig die Bodenverluste bzw. einen „Bodengewinn“ (agrar)ökologisch beschrieben (s. hier Abb. 1).

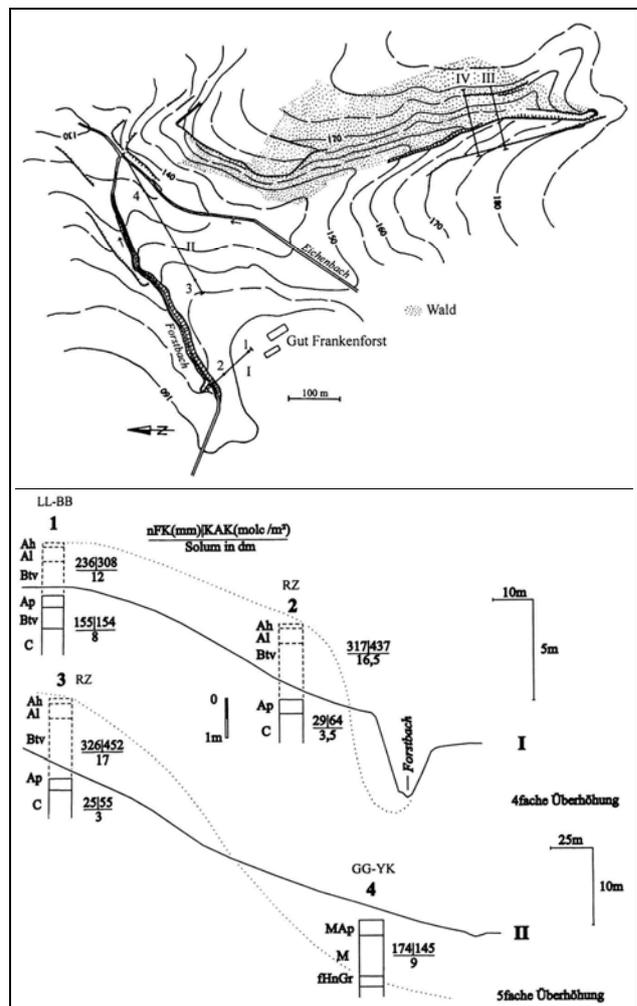


Abb. 1. Erosive Veränderungen von Relief und Boden (aus BOTSCHKE 1999, Abb. 8 u. 9, unver.)

Einige laboranalytische Bodendaten sind im Tabellenanhang für eine Pseudogley-Parabraunerde (Frankenforst 1) und die Pararendzi-

na (Frankenforst 2) aufgeführt. Frankenforst 1 entspricht nicht mehr dem Bodenprofil 1 BOTSCHEKS (1999, Abb. 9), weil 2008 eine Überbauung (Stall) die Aufgrabung eines neuen Profils (jetzt Frankenforst 1) nötig machte. Aufbau und Zusammensetzung dieses Bodens unterscheiden sich vom älteren Profil.

Die wichtige Frage nach den produktionsbiologischen Folgen dieser erosiven Profilverkürzung von Lößböden haben SCHRÖDER & SCHEGIEWAL 1977 beantwortet: „Die Erträge der Braunerde liegen geringfügig, aber nicht gesichert über denjenigen der Pararendzina“ (S. 63; vgl. a. SCHRÖDER 1981). Die günstigen Eigenschaften des Rohlösses bedingten eine hohe nutzbare Wasserkapazität bei geringerem Nährstoffangebot, erst wenn  $\text{CaCO}_3$  angereichert werde, könnten Durchwurzelung und Wasserversorgung beeinträchtigt werden. Die BK 5 Bo Blatt Vinxel (1970, Schätzung 1963) gibt für beide Standorte L 3 LÖ 76/78 an (Parabraunerde).

Die bis zu 5 m mächtigen, vom Forstbach angeschnittenen Kolluvien des akkumulativ-konkaven Unterhangs belegen mit OSL-Datierungen den Beginn starker Bodenerosion zu Beginn des 14. Jahrhunderts (PRESTON 2001, Fig. 5.15; s. hier Abb. 2). Sehr ähnliche Alter ( $^{14}\text{C}$ ) ermittelten LESSMANN-SCHOCH et al. (1991) an einem zum Eichenbach entwässernden, akkumulativ-konkaven Hang.

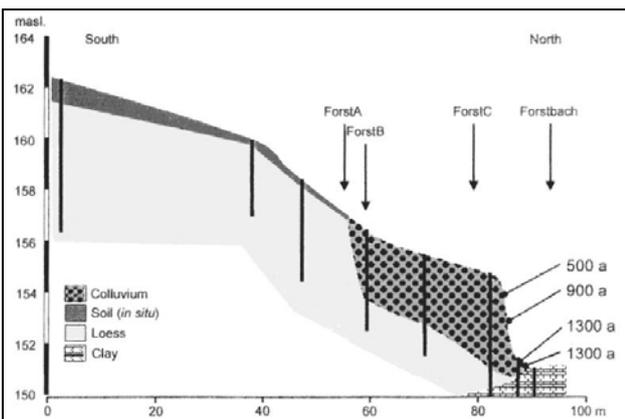


Abb. 2. Historische Bodenerosion und Kolluviation am Forstbach (aus PRESTON 2001, Fig. 5.15, unver.)

## 2. Trittsverdichtung durch Rinder und Bodenverlagerung am „Klocker“

Ein ehemaliger Löß-Prallhang des Eichenbaches in der Flur „Klocker“, nordexponiert und im Mittel  $35^\circ$  steil, wird durch sog. Viehgangeln treppenartig gegliedert. Diese entstanden

durch Trittsbelastung, Oberboden-Verdichtung und langsames Abscheren des Solums (SCHMANKE 1999, S. 55-63). Drei Aufgrabungen im Jahr 1996 dienten – in einem Vergleich – der Kennzeichnung der bodenmechanischen Verhältnisse in und unter der Viehtrittspur (Profil 2 in Abb. 3). Intensive Viehhaltung war seit ca. 30 Jahren betrieben worden, d. h. 50 bis 100 Rinder hatten pro Saison ungefähr achtmal diese Enge passiert.

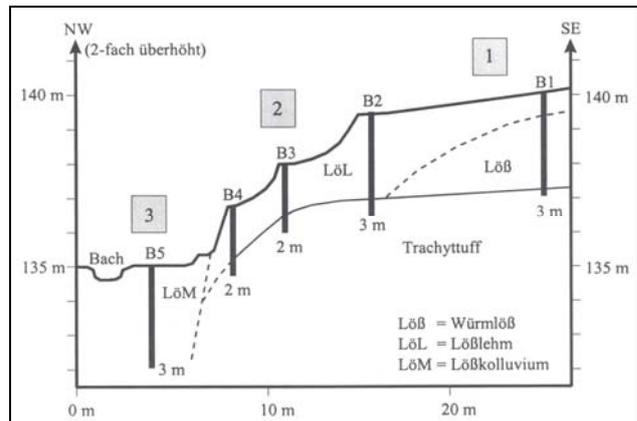


Abb. 3. Viehgangeln im Steilhang „Klocker“ (aus SCHMANKE 1999, Abb. 33, unver.)

Bei einheitlicher Textur (5 % S, 76 % U, 19 % T) differierten nur die topogen bedingten Wassergehalte. Alle anderen Unterschiede sind dem Viehtritt zuzuordnen: die organische Substanz des Ah-Horizontes von Profil 2 war verschwunden, die Lagerungsdichte von  $1,55 \text{ g/cm}^3$  lag um  $0,17$  bzw.  $0,38 \text{ g/cm}^3$  über den entsprechenden Werten von Profil 1 und 3, und der  $k_f$ -Wert von  $6,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  war um eine bzw. zwei Zehnerpotenzen kleiner ( $9,4 \times 10^{-4}$  in Prof. 1 bzw.  $4,8 \times 10^{-3}$  in Prof. 3). Die – überall gleiche – Bildsamkeit (Plastizitätszahl) um 4 entspricht Lössen, die 20 % Ton wirkten sich offensichtlich nicht aus, da lößbürtig und wenig quellfähig. Der (oedometrische) Vorbelastungswert in 2Ah (10 cm) ist mit  $130 \text{ kN/m}^2$  hoch, die resultierende, vergleichsweise höhere Verdichtung ist auch durch die höhere Lagerungsdichte von  $1,55 \text{ g/cm}^3$  bedingt (s. o.). Wegen topogener Austrocknung wies die Viehtrittspur im Juli 1996 auch die höchste Scherfestigkeit auf:  $55 \text{ kN/m}^2$  gegenüber  $50 \text{ kN/m}^2$  in den Vergleichshorizonten von Profil 1 und 3.

Insgesamt gesehen stellt der viehtrittgeschädigte Hang jetzt möglicherweise ein relativ stabiles System dar, in dem gravitative Massenverlagerungen keine Rolle mehr spielen (SCHMANKE 1999, S. 55). Bodenerosion durch Wasser kann

aber an den Dislokationen besser ansetzen als vorher.

### 3. Spätglaziale und jungholozäne Hangrutschung „Am Türchenbruch“

Gelände und DGM von SCHMANKE (1999, Abb. 6) lassen deutlich eine „Ältere“ große (R1) und eine – darin entwickelte – „Jüngere“ kleine Hangrutschung (R2) erkennen (s. hier Abb. 4). Die dazu nötigen Gleitflächen werden von smektitisch verwittertem, tertiärem Trachyttuff bzw. von dessen sedimentären Derivaten gebildet. R1 fällt nach SCHMANKE (1999, Abb. 53-56) zeitlich in das ausgehende Würm, R2 geht sehr wahrscheinlich auf Rodungen im 19. Jahrhundert zurück. Auch Viehgangeln sind in beiden Rutschkörpern verbreitet.

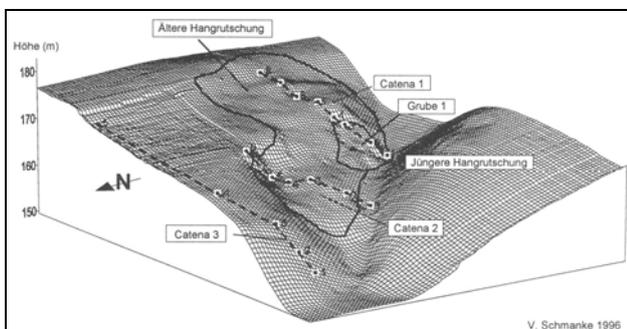


Abb. 4. Hangrutschungen (DGM) „Am Türchenbruch“ (aus SCHMANKE 1999, Abb. 6, unver.)

R2 ist eine sog. Rotationsrutschung (SCHMANKE 1999, S. 31), d. h. die Rutschmasse hat Drehbewegung(en) um eine hangparallele Achse auf einer oder mehreren gekrümmten Gleitflächen ausgeführt, so dass die Oberfläche jedes gedrehten Blockes dann immer hangwärts geneigt ist. Weil R2 in vorverwittertem (Locker) Material erfolgte (s. o.), empfiehlt es sich, die Reliefform in Anlehnung an LAATSCH & GROTTENTHALER (1972, Tab. 1) als „Rotationserdrutschung“ anzusprechen.

Interessant im Zusammenhang mit aktuellem Bodenabtrag erscheinen einige bodenmechanische Kennwerte um die Gleitfläche(n) von R2 sowie ein bodenmechanischer Vergleich der Viehtrittspuren „Am Türchenbruch“ mit denen vom „Klocker“.

Die mindestens 50 % Ton enthaltenden Horizonte eines Hangpseudogley-Gleys (Grube 1 in Abb. 4) sollen repräsentativ für das mechanische Verhalten der Sekundärrutschung stehen (vgl. SCHMANKE 1999, Tab. 1 u. Abb. 20). Oberhalb einer (vermuteten) Gleitschicht existierten in 130-140 cm Tiefe und Bodenart tU

folgende Kennzeichen: Ausrollgrenze ( $w_a$ ) 37,6 %, Fließgrenze ( $w_f$ ) 72,0 %, Bildsamkeit ( $w_{fa} = w_f - w_a$ ) 34,4, was schon plastische Tone anzeigt; Lagerungsdichte  $1,15 \text{ g/cm}^3$ , Feuchte 52,4 Vol.-% und  $k_f$ -Wert  $4,17 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ . Unterhalb in 140-150 cm und Bodenart tL analog: 34,9 und 74,2 %, 39,3,  $1,29 \text{ g/cm}^3$ , 49,1 Vol.-% sowie  $5,16 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ .

Der bodenmechanische Vergleich mit den Viehtrittspuren „Klocker“ ergab bei gleicher Vorbelastung ( $130 \text{ kN/m}^2$ ), aber fehlender Oberbodenverdichtung, Scherfestigkeiten ( $\text{kN/m}^2$ ) von 80 (5-15 cm, Wassergeh. 30 %) und 100 (25-35 cm, Wassergeh. 28 %) im Trachyttuff gegenüber 105 (5-15 cm, Wassergeh. 23 %) und 70 (25-35 cm, Wassergeh. 25 %) im Löß (SCHMANKE 1999, Abb. 37-40). Die Erklärung für die beiden Oberbodenhorizonte (5-15 cm) ist: Erhöhter Wassergehalt und intensive Bodenvernetzung haben auch eine Erhöhung der Plastizität der smektitischen Tone zur Folge (vgl. o.), was wiederum deren Scherfestigkeit herabsetzt. Für die Unterböden (25-35 cm) gilt: Wird das oberflächennahe Bodengefüge zerstört, setzt die sog. Durchtrittigkeit ein, begleitet von Verdichtungsprozessen in tieferen Horizonten (vgl. HORN 1985).

### 4. Böden aus Trachyttuff ohne und mit Lößbeimengung sowie Kolluvien „Auf dem Scheid“

Die altpleistozäne Jüngere Hauptterrasse (jHT) des Rheins hat sich auch weitflächig in die tertiären Eruptiva des Trachyttuffs des Siebengebirges eingeschnitten, primäre Schotter existieren noch stellenweise als Relikte in ca. 195 m NN. Die Flur „Kasseler Heide“ stellt bei 190 m NN dagegen das geomorphologische Resultat der letztkaltzeitlichen Hangpedimentation dar, d. h. die Sedimente, u. a. aus den abgetragenen Hauptterrassenschottern bestehend (s. o.), gehören zu diesen jüngeren Prozessen der flächenhaft wirkenden Abspülung und Geli-Solifluktion. In den kalten und trockenen Phasen des Würm/Weichsel wurde auf dieser Fläche stellenweise auch Löß akkumuliert. Periglaziäre Lagen sind überwiegend als Basis- und/oder Hauptlage vertreten.

SCHEGIEWAL (1976, Anlage 1) hat auf der „Kasseler Heide“ auch einen „Parabraunerde-Pseudogley aus Lößlehm über Trachyttuff“ (Profil IV) und einen „Pseudogley aus Trachyttuff, meistens mit Lößschleier“ (Profil III) be-

schrieben. Die Ertragsunterschiede bei verschiedenen Feldfrüchten arbeiteten SCHRÖDER & SCHEGIEWAL (1979) heraus. Und STEPHAN & BRIXY (1999) untersuchten das Verhältnis von Zerfrierrgrad des verwitterten Trachyttuffs (Saprolith) und Mächtigkeit der periglaziären Lagen.

Die Profile Frankenforst 3 und 4 erhellen die außergewöhnlichen Merkmale von Böden aus Trachyttuff-Saprolith ohne und mit Lößbeimengung (s. Tabellenanhang).

Entlang des Weges nach NW zum Gutsgebäude kann die Bodenerosionsgeschichte an OSL-datierten Kolluvien rekonstruiert werden, die aus einem ca. 5,4 ha großen Einzugsgebiet der Flur „Auf dem Scheid“ stammen (PRESTON 2001, S. 56-78; s. hier Abb. 5).

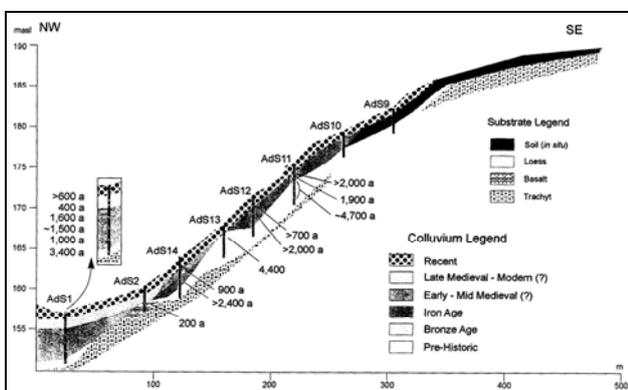


Abb. 5. Hangprofil „Auf dem Scheid“ mit rezenten und historischen Kolluvien (aus PRESTON 2001, Fig. 5.7, unver.)

Danach begann die bodenerosive Kolluviation bereits 4 400 a B. P. und setzte sich in der Bronze-Zeit (3 400 a B. P.) fort. Die Hauptmasse scheint im Mittelalter geliefert worden zu sein, während die spätmittelalterliche und neuzeitliche Kolluvien-Bildung schwächer ausfiel. Aktuelle Kolluvien bedecken fast den gesamten Hang zwischen 185 und 158 m NN, die Abtragungsflächen im holozänen Solum sowie im anstehenden Löß, Trachyttuff und Basalt belegen Hangpedimentation als formgebenden Prozeß (s. Abb. 5).

Insgesamt zeigt sich, daß die hohe Pedodiversität auf dem Versuchsgut Frankenforst auch durch historische Bodenerosion bedingt ist. Im Löß ändern sich die Bodeneigenschaften aber wenig (BRINKMANN 2002, S.138).

Exkursionsstandorte Wiesengut: *Rundgang*

## 5. Holozäne Auenterrassen der Sieg, Böden und Hydrogeologie

Nach SCHIRMER (1995, Fig. 8) koinzidieren die holozänen Auenterrassen Mitteleuropas (max. 7) zeitlich mit jeweils erhöhter, klimagesteuerter Flußaktivität. BUCH & HEINE (1988) reduzierten die Monokausalität von Klima und Relief dagegen auf den Zeitmaßstab Glazial-Interglazial, was bedeuten würde, dass die spätglazial-holozäne Einschneidung mit ihren resultierenden Formen und Sedimenten autozyklisch, also ohne größere systemstörende Klimaänderungen verlaufen wäre (Selbstorganisation des Flusses). Und MENSCHING hob schon 1957 die indirekte (Prozeß)Steuerung der Auelehmbildung durch den Menschen hervor, nämlich durch die von diesem im Einzugsgebiet verursachte Bodenerosion.

HEUSCH (1997, S. 78) wies im Hennefer Siegbogen vier Aktivitätsphasen nach:

Phase I: Auenlehme der Oberen Auenterrasse (OAt): Hallstattzeit ?, ca. 700-450 v. Chr.

Phase II: Auenlehme der älteren Mittleren Auenterrasse (äMAT): Latènezeit, ca. 450-0 v. Chr.

Phase III: Auenlehme der jüngeren Mittleren Auenterrasse (jMAT): Hochmittelalter bis frühe Neuzeit, ca. 1000-1750 und

Phase IV: Auenlehme der Unteren Auenterrasse (UAt): Neuzeit, ca. 1750-1900.

Damit scheint die Auelehmbildung am ehesten die Agrar- und Bergbaugeschichte im Einzugsgebiet der Sieg widerzuspiegeln. Nach keltischer Landnahme und anfänglich reiner Ackerbaukultur setzten spätestens in der frühen Latène-Zeit intensive Eisengewinnung (bes. *Siderit*, FeCO<sub>3</sub>) und Verhüttung ein (FENCHEL et al. 1985, S. 389-429). Das Siegerland war bis in das 19. Jh. der wichtigste Eisenlieferant in Deutschland. Relikte dieses Bergbaus sind bedeutende Schadstoffquellen (ZUMBROICH et al. 1994). So ist die aktuelle Schwermetallbelastung (bes. Pb, Cd, Zn) von Sedimenten der Sieg sehr hoch, häufig doppelt so hoch wie in den Ablagerungen des Rheins (GRUPE 1987).

In jeder der o. g. Phasen dürfte nur abgetragenes Bodenmaterial zur Ablagerung gekommen sein, d. h. ein Bodensediment (M-Horizont) bildete jeweils das Ausgangsgestein (Substrat) für nachfolgende Pedogenese (vgl. SCHIRMER 1991). Diese führte bodentypologisch nach HEUSCH (1997, Tab. 13; s. hier Abb. 6) auf der UAt zum *Auengley-Auenregosol* (A-aC-aCGo-Profil), auf der jMAT zum *Braunauenboden* (A-

aMBv/BvaM-aC-Profil), auf der äMat zur *Typischen Auenbraunerde* (A-Bv-aC-Profil) und auf der OAt zur *Auenparabraunerde-Auenbraunerde* (AlBv-Bvt-Btv-aC-Profil).

Die physikalische, chemische und mikromorphologische Kennzeichnung von 15 Bodenprofilen sollte – analog SCHRÖDER (1979) – eine mögliche „Übereinstimmung zwischen bodengenethem Entwicklungszustand und bodenstratigraphischer Stellung“ im Sinne einer Chronosequenz verifizieren (HEUSCH 1997, S. 129-136): die größte – statistisch begründete – Ähnlichkeit bestand zwischen *Auenbraunerden* (äMat) und *Braunauenböden* (jMat), die geringste zwischen Lessivierungsmerkmalen

(OAt) und jüngeren Bodengruppen. Neben dem Faktor Zeit müsse aber unbedingt auch die Textur des (Boden)Sediments berücksichtigt werden. Nach SCHIRMER wird die Bodengesellschaft der Aue, d. h. auch ihre bodentypologische Ausprägung, entscheidend von der Korngrößenverteilung bei der Hochflutsedimentation bestimmt: „Uferwallfazies“, „Talbodenfazies“ und „Talrandfazies“ (1991, Abb. 1).

Die Oberfläche der Siegaue schwankt zwischen 0 und 2,5 m über Siegwasserspiegel bei bordvollem Abfluß (62 m NN), sie ist von flachen Rinnen durchzogen und hat ein durchschnittliches Talgefälle von 1,12 ‰ (vgl. Abb. 6).

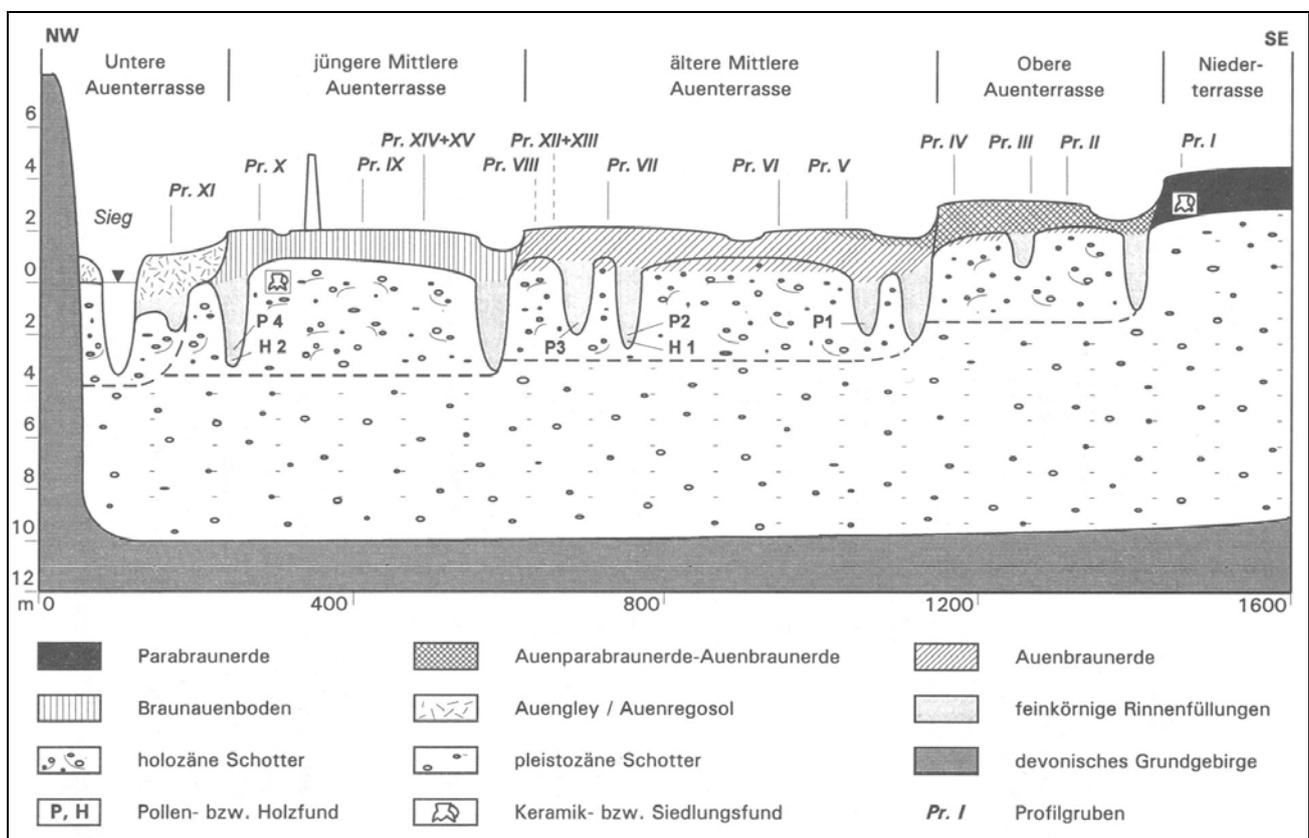


Abb. 6. Theoretisches Modell von Relief und Boden der Siegaue (aus HEUSCH 1997, Abb. 23, unver.)

Die von 24 bis 80 reichenden Boden Zahlen (Grünlandgrundzahlen 30 bis 66) spiegeln eine extrem heterogene Bodenart wider (s. DGK 5 Bo, Blatt Stoßdorf 1960). Das Bodenmuster des gleichen Blattes, aber der „Bodenkarte 1:5 000 zur landwirtschaftlichen Standorterkundung“ (BK 5 Lw, Stoßdorf 1980) besteht in der Hennefer Siegaue typologisch nur aus „Braunem Auenboden“, der sich aber durch Bodenart (A3 bis A7) und Bodenartenschichtung unterscheidet (WARSTAT 1981). Die häufigste bindige Bodenart ist A34 (Index 4 = 10-20 dm mächtig), die häufigste sandige Bodenart ist A72 (Index 2 = 3-6 dm mächtig).

Das Bodenartenmuster läßt allerdings kaum eine auentypische Faziesgliederung (s.o.) erkennen. Die 1985 eigens für das „Wiesengut sowie den Nachbarbetrieb Hördemann“ angefertigte Bodenkarte 1:2 000 weist noch einige Veränderungen bzw. Korrekturen gegenüber der BK 5 Lw auf (WARSTAT 1985). Damit machen auch die vorgestellten Bodenarten deutlich, welche Schwierigkeiten bei der Erfassung des Aufbaus, bei der genetischen Deutung und bei der (agrar)ökologischen Bewertung von Auenböden entstehen können. Diese extremen pedo-

logischen Differenzierungen waren auch bei der Einrichtung des Versuchsbetriebes „Wiesengut“ und bei der Erstellung des Nutzungskonzeptes zu berücksichtigen (s. HAAS 1995).

Die – 1978 genehmigte – Gewinnung von Grundwasser im Siegbogen bei Hennefer erfolgt aus dem Porengrundwasserleiter der quartären Siegkiese. Diese liegen saprolithisiertem Devon auf, haben im Fassungsgebiet eine Mächtigkeit von ca. 7 bis 12 m und besitzen Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen 1,3 und  $7,1 \times 10^{-3}$ /s. Die wassererfüllte Mächtigkeit des Grundwasserleiters beträgt in Abhängigkeit von den Flußwasserständen der Sieg 6 bis 8 m. Der Grundwasserstrom ist nach NW gerichtet und erfolgt durch Infiltration von Flußwasser aus der südöstlich gelegenen Sieg-schleife. Bei Hochwasser gelangt auch aus anliegender Sieg Infiltrat in den Grundwasserleiter. Die Grundwassergleichen fallen in der Wasserschutzzone II (etwa Hennefer Siegbogen) von 60,50 auf 58,75 m NN. Nach HENNIG (1992) kann die effektive Grundwasserneubildung auf den Auen bis 30 % des Niederschlags betragen, wie z. B. ca. 220 mm/a im Zeitraum 1988 bis 1990.

Vor kurzem wurden vom Geographischen Institut der Universität Bonn (Dr. T. HOFFMANN) vier Auenböden (WG 1 – WG 4) außendeichs aufgenommen und untersucht. WG 1, direkt an der Sieg, ist ein „Allochthoner brauner Auenboden“ (Ah-M1-M2-Go-Gr1-Gr2-C-Profil) der UAt (s. o.), WG 4, ca. 120 m landeinwärts, ein „Braunauenboden“ (Ah-aMBv1-aMBv2-aM1-aM2-Profil) der jMat (s. o.). Nach der Revision der Auenbodenbenennung (vgl. SCHIRMER 1991 mit KA 4) wäre WG 1 eine „Gley-Vega“, WG 4 eine „Normvega“. Korngrößenzusammensetzung und Gehalte an  $C_{org}$  belegen große sedimentologische Unterschiede (s. Tabellenanhang). Unter den Schwermetallen lassen Pb, Zn und Cr eine entfernungsabhängige Abnahme vermuten, bei Cd ist es umgekehrt (Vergleich von WG 1 bis WG 4 wird bei Exkursion an einem Handout durchgeführt).

## 6. Wiesengut und Organischer Landbau

Das Gut wurde 1985 der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität zur Verfügung gestellt, der Betrieb ist seit 1991 dem Institut für Organischen Landbau (IOL) zugeordnet. Es wird nach dem „Organisationsprinzip des landwirtschaftlichen, weitgehend in sich geschlossenem Betriebsorganismus“ entwickelt. Der Betrieb ist

Mitglied im Anbauverband „Naturland“ und in den Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ (USL) der Landwirtschaftlichen Fakultät als Projektbereich Wiesengut eingebunden ([www.iol.uni-bonn.de](http://www.iol.uni-bonn.de)).

## 7. GW-Werk Hennefer Siegbogen und Stickstoffmanagement in der Wasserschutzzone II

Das Werk gehört zum Wahnachtalsperrenverband (WTV), der 800 000 Menschen mit Trinkwasser versorgt. Aus dem rund 12 m mächtigen Grundwasserleiter werden über zwei Horizontalfilterbrunnen bis 13,3 Mio.  $m^3/a$  entnommen. Die Stickstoffdynamik des Sickerwassers ist stark nutzungsabhängig (BEHL et al. 1996, SCHLÜTER 1997), der Organische Landbau hat dazu ein entsprechendes Stickstoffmanagement entwickelt (HAAS 2001).

## 8. Deichbau, Sieg-Hochwässer 1991/1993 und Erosion von Ackerböden außendeichs sowie Gewässerauenkonzept Sieg

Der tektonisch schon zur Niederrheinischen Bucht zählende, frei mäandrierende Hennefer Siegbogen wurde wegen seines hohen agrarischen Potentials (ca. 500 ha) im 19. Jahrhundert beginnend bis 1940 vollständig eingedeicht. Die hochwasserführende Sieg ist damit auf durchschnittlich 200 m Breite eingengt. Trotz erheblicher Einschnidungseffekte (bis 1,5 m zwischen 1891 u. 1981) überflutet die Sieg fast regelmäßig im Winterhalbjahr die verbliebene, früher aber teilweise beackerte Aue (HEUSCH 1997, S. 58).

Diese Aue wurde im Dezember 1991 und im Januar 1993 etwa 1 m hoch überflutet. Während das Grünland keine Schäden durch Bodenerosion erlitt, kam es nach unseren Kartierungen auf der betroffenen, ca. 9,5 ha großen Ackerfläche zu folgendem Feststoffumsatz: erodiertes/akkumuliertes Feststoffvolumen (t) 1300/1235 (1991) bzw. 1053/1001 (1993). Damit verbunden waren erhebliche morphologische Veränderungen der Aue und der Auenböden (HEUSCH 1997, Abb. 18 u. 19). Der monetäre Ernteverlust (Winterweizen) betrug im ersten Fall 1 190 DM, die Sanierung der Ackerböden wurde auf ein Vielfaches geschätzt (HEUSCH et al. 1992).

Von den insgesamt etwa 3 400 ha Siegauenfläche sind seit 1850 ca. 50 % verloren gegangen, bis 2025 soll der Retentionsraum auf 67 % erhöht werden (STÄDTLER 1997, S. 36). Eine Rückdeichung kann aber auch ein gewisses Risiko für eine weitere agrarische Landnutzung bedeuten, z. B. wenn partikulär gebundene Schadstoffe auf der Rückdeichungsfläche abgelagert werden (vgl. SCHWARTZ et al. 2003).

Seit 2005 ist die „Siegaue in den Gemeinden Windeck, Eitorf und der Stadt Hennef“, Rhein-Sieg-Kreis, Naturschutzgebiet (ca. 812,8 ha) und Landschaftsschutzgebiet (ca. 770,9 ha).

## Literatur

- BEHL, T., W. A. FLÜGEL, R. KRÄMER & T. KRAWULSKY (1996): Wasser- und Stickstofftransportdynamik in der Bodenzone. – *Wasser & Boden* 48/10: 47-51.
- BOTSCHEK, J. (1999): Zum Bodenerosionspotential von Oberflächen- und Zwischenabfluß. – *Bonner Bodenkundl. Abh.* 29: 1-174 [= Habilitationsschrift].
- BOTSCHEK, J., P. SAUERBORN, A. SKOWRONEK & R. WOLF (1997): Tolerierbarer Bodenabtrag und Boden-neubildung – Konzepte und Perspektiven – . – *Mitt. DBG* 83: 87-90.
- BRINKMANN, J. (2002): Räumliche Variabilität von Böden und Bodeneigenschaften auf dem Landwirtschaftlichen Versuchsgut Frankenforst im Pleiser Hügelland. – *Diss. Math.-Nat. Fak. Univ. Bonn*, 157 S.
- BUCH, M. W. & K. HEINE (1988): Klima- oder Prozeß-Geomorphologie. Gibt das jungquartäre fluviale Geschehen der Donau eine Antwort? – *Geogr. Rundsch.* 40: 16-26.
- FENCHEL, W. et al. (1985): *Sammelwerk Deutsche Eisenerzlagertstätten. I. Eisenerze im Grundgebirge (Varistikum). 1. Die Sideriterzgänge im Siegerland-Wied-Distrikt.* – *Geol. Jb.* **D 77**: 3-517.
- GRUPE, M. (1987): Untersuchungen zur Verteilung, Bindung und Pflanzenverfügbarkeit umweltrelevanter Spurenelemente in jungen Auenböden von Sieg und Rhein. – *Diss. Landw. Fak. Univ. Bonn*, 182 S.
- HAAS, G. (1995): Auswahl von Feldversuchsflächen auf heterogenem Auenboden: Bestandskartierung – Uniformitätsernten – Luftbildaufnahmen – Exaktvermessung. – *Schriftenr. Inst. f. Organ. Landbau*, 145 S. [= Dissertation].
- HAAS, G. (2001): Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements. – *Schriftenr. Inst. f. Organ. Landbau*, 152 S. [= Habilitationsschrift].
- HENNIG, A. (1992): Vergleich verschiedener Methoden zur Berechnung und Simulation des Bodenwasserhaushaltes – dargestellt am Beispiel von Auenböden bei Hennef/Sieg. – *Bonner Bodenkundl. Abh.* 6: 1-135 [= Dissertation].
- HEUSCH, K. (1997): Auenböden im fluvialen Stoffsystem – dargestellt am Beispiel der Siegaue bei Hennef. – *Bonner Bodenkundl. Abh.* 19: 1-182 [= Dissertation].
- HEUSCH, K., TH. CONZEN, J. BOTSCHEK & A. SKOWRONEK (1992): Kartierung und Quantifizierung von Erosionsschäden auf ackerbaulich genutzten Auenböden der Unteren Sieg nach einem Hochwasserereignis. – *Mitt. DBG* 68: 169-172.
- HORN, R. (1985): Die Bedeutung der Trittdichtung durch Tiere auf physikalische Eigenschaften Alpiner Böden. – *Z. Kulturtechnik u. Flurbereinigung* 26: 42-51.
- LAATSCH, W. & W. GROTTENTHALER (1972): Typen der Massenverlagerung in den Alpen und ihre Klassifikation. – *Forstw. Cbl.* 91: 309-339.
- LESSMANN-SCHOCH, U., R. KAHRER & G. W. BRÜMMER (1991): Pollenanalytische und <sup>14</sup>C-Untersuchungen zur Datierung der Kolluvienbildung in einer lößbedeckten Mittelgebirgslandschaft (Nördlicher Siebengebirgsrand). – *Eiszeitalter u. Gegenwart* 41: 16-25.
- MENSCHING, H. (1957): Bodenerosion und Auelehmbildung in Deutschland. – *Dt. Gewässerkundl. Mitt.* 6: 110-114.
- PRESTON, N. J. (2001): Geomorphic Response to Environmental Change: The Imprint of Deforestation and Agricultural Land Use on the Contemporary Landscape of the Pleiser Hügelland, Bonn, Germany. – *Diss. Math.-Nat. Fak. Univ. Bonn*, 129 S.
- ROHDENBURG, H. (1989): *Landschaftsökologie – Geomorphologie* [Aus d. Ms. bearb. u. hrsg. von Margot Rohdenburg]. – *Cremlingen-Destedt (Catena)*, 220 S.
- SCHEGIEWAL, A. D. (1976): Die Böden am Nordabfall des Siebengebirges und deren physikalische und chemische Eigenschaften in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein. – *Diss. Math.-Nat. Fak. Univ. Bonn*, 174 S.
- SCHIRMER, W. (1991): Zur Nomenklatur der Auenböden mitteleuropäischer Flußauen. – *Mitt. DBG* 66: 839-842.
- SCHIRMER W. (1995): Valley bottoms in the late Quaternary. – *Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd.* 100: 27-51.

- SCHLÜTER, W. (1997): Kationen- und Anionen-Gehalte in der Bodenlösung und im oberflächennahen Grundwasser von organisch und konventionell bewirtschafteten Ackerflächen der Siegaue sowie Simulation der Stickstoffdynamik und Nitratverlagerung. – Bonner Bodenkundl. Abh. 20: 1-203 [=Dissertation].
- SCHMANKE, V. (1999): Untersuchungen zur Hanggefährdung im Bonner Raum – eine Bewertung mit Hilfe unterschiedlicher Modellansätze. – Mainzer Geogr. Stud. 44: 1-146 [= Dissertation].
- SCHRÖDER, D. (1979): Bodenentwicklung in spätpleistozänen und holozänen Hochflutlehmen des Niederrheins. – Habil.-Schr. Landw. Fak. Univ. Bonn, 296 S.
- SCHRÖDER, D. (1981): Ertragsminderung durch Bodenerosion in Lößlandschaften. – Mitt. DBG 30: 343-354.
- SCHRÖDER, D. & A. D. SCHEGIEWAL (1977): Wasserhaushalt, Bodengefüge, Ertrag, Wurzelentwicklung und Nährstoffgehalte einer Pararendzina und einer Braunerde. – Z. Acker- und Pflanzenbau 145: 51-65.
- SCHRÖDER, D. & A. D. SCHEGIEWAL (1979): Erträge und Nährstoffgehalte verschiedener Bodenformen bei einheitlicher Bewirtschaftung. – Landwirtsch. Forsch. 32: 363-368.
- SCHWARTZ, R., A. GRÖNGRÖFT & G. MIEHLICH (2003): Auenregeneration durch Deichrückverlegung? – Bodenkundliche Aspekte, aufgezeigt am Beispiel der Mittelelbe. – Wasser & Boden 55/7+8: 36-39.
- STÄDTLER, E. (1997): Das Gewässerauenkonzept Sieg. – Wasser & Boden 49/10: 35-38.
- STEPHAN, S. & I. BRIXY (1999): Eine von smectitreichem Tephra-Saprolith geprägte Bodengesellschaft im Pleiser Hügelland bei Bonn. – J. Plant Nutr. Soil Sci. 162: 677-683.
- WANDEL, G. (1950), mit Beitr. von E. MÜCKENHAUSEN: Neue vergleichende Untersuchungen über den Bodenabtrag an bewaldeten und unbewaldeten Hangflächen in Nordrheinland. – Geol. Jb. 65: 507-550.
- WARSTAT, M. (1981): Erläuterungen zur Bodenkarte 1:5 000 Verfahren: Hennef, Rhein-Sieg-Kreis. – Krefeld (GLA NRW), 6 S. u. Anhang.
- WARSTAT, M. (1985): Erläuterungen zur Bodenkarte „Wiesengut“ im Maßstab 1:2 000. – Krefeld (GLA NRW), 8 S. u. Anhang.
- ZUMBROICH, TH., U. HERWEG & A. MÜLLER (1994): Zur Schwermetallbelastung von Nutzpflanzen in einer Region mit ehemaligem Erzbergbau. – Wasser & Boden 46/1: 26-30.

## Karten

Übersichtskarte der natürlichen Landschaftsgliederung der Mittel- und Niederrheinlande 1:400 000 (KH. PAFFEN, o. J.)

Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:50 000 Blatt L 5308 Bonn (GLA NRW 1983)

Bodenkarte auf der Grundlage der Bodenschätzung 1:5 000 (DGK 5 Bo), Blätter Vinxel u. Stoßdorf (LVA NRW 1970 u. 1960)

Bodenkarte 1:5 000 zur landwirtschaftlichen Standorterkundung (BK 5 Lw), Blatt Stoßdorf (GLA NRW 1980)

Bodenkarte Wiesengut sowie des Nachbarbetriebes Hördemann, Maßstab 1:2 000 (GLA NRW 1985)

Tabellenanhang (ausführliche Analysen bei Exkursion am 6.9.2009)

Tab. 1. Laboranalytische Daten von Böden auf Frankenforst

Profil Frankenforst 1: **Pseudogley-Parabraunerde** (M-rAp – M-Sw-rAp – Sw-Bt1 oben – Sw-Bt1 unten – Sw-Bt2 – Sw-Bt3 – Sw-Bt4 oben – Sw-Bt4 unten; **Steinsohle**)

Tiefe cm	Skelett Masse-% Gesamtb.	Sand	Schluff	Ton	Fe <sub>o</sub> ‰	Fe <sub>d</sub> ‰	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
0-20	n. best.	9,6	70,2	20,1	4,2	9,8	0,43
20-40	n. best.	9,5	70,2	20,3	4,1	4,8	0,84
40-75	n. best.	10,6	68,7	20,7	3,0	11,0	0,27
75-110	n. best.	9,3	72,1	18,7	2,4	10,7	0,22
110-140	n. best.	10,0	73,3	16,7	2,3	9,9	0,23
140-160	n. best.	12,3	72,5	15,3	1,9	9,8	0,19
160-180	n. best.	13,8	74,3	11,8	1,9	8,7	0,22
180-210	n. best.	9,6	84,9	5,4	1,0	6,6	0,15
30-40	n. best.	12,4	59,2	28,4	4,2	9,8	0,43

Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> %	C <sub>org</sub> Masse-%	N <sub>t</sub> Masse-%	C/N	KAK cmol <sub>c</sub> /kg Feinboden	BS %
0-20	5,6	-	1,98	0,20	9,9	14,7	100
20-40	5,8	-	1,21	0,13	9,5	13,4	100
40-75	6,0	-	0,31	0,04	7,5	12,1	100
75-110	6,2	-	<0,2	0,02	<8,9	10,8	100
110-140	6,4	-	<0,2	<0,02		10,3	100
140-160	6,5	-	<0,2	<0,02		10,2	100
160-180	7,2	-	0,25	<0,02	>12,5	10,4	100
180-210	7,5	18,1	2,61	<0,02	>130	10,5	100
30-40	6,5	-	0,75	0,08	9,4	13,6	100

Profil Frankenforst 2: **Pararendzina** (Ap – C)

Tiefe cm	Skelett Masse-% Gesamtb.	Sand	Schluff	Ton	Fe <sub>o</sub> ‰	Fe <sub>d</sub> ‰	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
0-35	n. best.	8	81	11	1,7	7,2	0,24
35-70+	n. best.	9	79	12	0,6	5,7	0,11

Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> %	C <sub>org</sub> Masse-%	N <sub>t</sub> Masse-%	C/N	KAK cmol <sub>c</sub> /kg Feinboden	BS %
0-35	7,5	9,2	0,8	0,10	8,0	12,0	100
35-70+	7,9	20,5	0,2	0,03	6,7	7,1	100

Profil Frankenforst 3: **Pseudogley** aus Fließerde über verwittertem Trachyttuff (Sw-Ap – IISw – Sd – IICv – IVCv)

Tiefe cm	Skelett Masse-% Gesamtb.	Sand	Schluff	Ton	Fe <sub>o</sub> ‰	Fe <sub>d</sub> ‰	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
0-25	7,1	12,8	64,7	22,5	4,2	7,2	0,58
25-65	5,8	9,3	41,2	49,5	1,4	3,6	0,39
65-95	0,1	20,9	34,5	44,6	0,5	2,3	0,22
95-110	93,3	34,0	38,8	27,2	1,2	9,2	0,13
110-120	10,3	23,0	34,0	42,8	0,3	1,7	0,16

Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> %	C <sub>org</sub> Masse-%	N <sub>t</sub> Masse-%	C/N	KAK cmol <sub>c</sub> /kg Feinboden	BS %
0-25	4,2	n. best.	1,5	12	12,9	12,2	35,2
25-65	4,2	n. best.	0,2	4	5,4	24,2	72,6
65-95	4,3	n. best.	0,1	2	4,3	25,0	88,1
95-110	4,6	n. best.	0,2	3	8,0	24,8	94,4
110-120	4,6	n. best.	0,1	2	5,2	25,5	90,9

Profil Frankenforst 4: **Braunerde-Pseudogley** aus Fließerde über Trachyttuffsaprolit (Sw-Ap – Bv-Sw – IICv-Sd)

Tiefe cm	Skelett Masse-% Gesamtb.	Sand	Schluff	Ton	Fe <sub>o</sub> ‰	Fe <sub>d</sub> ‰	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
0-35	2,7	12,1	67,4	20,5	3,1	8,8	0,35
35-55	6,4	11,1	66,4	22,5	2,3	9,2	0,25
55-100+	-	28,6	49,4	22,0	1,2	6,2	0,19

Tiefe cm	pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> %	C <sub>org</sub> Masse-%	N <sub>t</sub> Masse-%	C/N	KAK cmol <sub>c</sub> /kg Feinboden	BS %
0-35	6,1	n. best.	1,0	9	10,9	14,3	89,9
35-55	6,3	n. best.	0,2	4	4,8	13,8	90,5
55-100+	4,6	n. best.	0,1	2	5,9	23,8	83,9

Profil Wiesengut 1 (WG 1): **Allochthoner brauner Auenboden** (Ah – M1 – M2 – Go – Gr1 – Gr2 – C)

Tiefe cm	Sand	Schluff	Ton	C <sub>org</sub> Masse-%
0-10	69,6	20,4	10,0	7,1
10-45	54,5	33,7	11,9	4,6
45-78	54,8	35,5	9,7	4,0
78-90	53,3	37,4	9,4	3,5
90-125	-	-	-	-
125-145	67,8	23,8	8,4	8,4
>145				

Profil Wiesengut 4 (WG 4): **Braunauenboden** (Ah – aMBv1 – aMBv2 – aM1 – aM2)

Tiefe cm	Sand	Schluff	Ton	C <sub>org</sub> Masse-%	
0-14	35,8	53,5	10,7	3,0	
14-20	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	
20-24	41,4	47,5	11,1	1,2	} aMBv2
24-43	38,5	48,4	13,1	0,5	
43-105	39,0	47,2	13,9	0,4	
105-130	95,3	2,3	2,4	0,2	
>130	78,4	15,6	6,0	0,2	

# Exkursion G6

## Stadt- und Bergbauböden im Ruhrgebiet

<sup>1)</sup>Wolfgang Burghardt, <sup>2)</sup>Ulrike Marx,  
<sup>3)</sup>Dieter A. Hiller

---

<sup>1)</sup> Angewandte Bodenkunde, Fb. Biologie und Geographie, Universität Duisburg – Essen, 45117 Essen, Email: [wolfgang.burghardt@uni-due.de](mailto:wolfgang.burghardt@uni-due.de)

<sup>2)</sup> Stab RVI/68 Kommunale Entwicklungsplanung und Stadtforschung, Stadt Mülheim an der Ruhr, 45468 Mülheim an der Ruhr, Email: [ulrike.marx@stadt-mh.de](mailto:ulrike.marx@stadt-mh.de)

<sup>3)</sup> Büro für Bodenschutzplanung, 86928 Hofstetten, Email: [info@bodenschutzplanung.de](mailto:info@bodenschutzplanung.de)

---

### Mitarbeit und Exkursionsausführungen:

Bördt, Michael, Regionalforstamt Ruhrgebiet Gelsenkirchen

Guida, Wolfgang, Regionalverband Ruhr, Essen  
Gausmann, Peter, Geographisches Institut, Ruhr-universität Bochum

Hübscher, Thomas, Grün und Gruga, Essen

Keil, Peter, Biologische Station Westliches Ruhrgebiet, Oberhausen

Kricke, Randolph, Biologische Station Westliches Ruhrgebiet, Oberhausen

Milbert, Gerd, Geologischer Dienst NRW, Krefeld

### 1 Zielsetzungen der Exkursion

#### Auswahl der Exkursionsthemen

Für Stadtböden steht immer noch die Bodenbelastung im Vordergrund. Ziel der Exkursion ist jedoch die große Bedeutung und Leistungen von Stadtböden für andere große Themen der heutigen Zeit an einigen Beispielen aufzuzeigen.

#### Themen:

1. - Urbane, Industrie- und Bergbauböden als Habitate
2. - Böden als Standorte für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen in der Bauleitplanung
3. - Staubablagerung in Böden
4. - Bodenentwicklung in technogenen Substraten, alte und junge Ablagerungen
5. – Öffentlichkeitsarbeit in der Stadt, Gestaltung von Bodenrouten, Mülheimer Bodenschätze

### 2 Exkursionsroute (Karte 1)

Die Exkursion führt durch den Osten und Norden der Stadt Essen und durch die Stadt Mülheim im Ruhrgebiet. Der Norden von Essen wurde durch den Steinkohlebergbau bis in die 80er Jahre des

20Jh geprägt. Die Überformung der natürlichen Böden durch Ablagerung technogener Substrate erfolgte daher vor allem auf Zechengeländen, Anlage von Bergehalden, beim Bau von Bahnanlagen und nach Beendigung des Bergbaues durch Sanierung der Flächen für Folgenutzungen. Die Exkursion fährt Beispiele hierfür an.

Die Exkursion beginnt in Essen auf der alten und bewaldeten Bergehalde an der Haldenstrasse, die zum Weltkulturerbe Zeche Zollverein in Essen Stoppenberg gehört. Ein zweiter Standort auf der Zeche Zollverein zeigt einen ehemaligen Kohlelagerplatz. Zum dritten Exkursionspunkt ehemalige Zeche und Kokerei Mathias Stinnes geht es vorbei an der imposanten Anlage der ehemaligen Kokerei Zollverein, durch Altenessen und nach Überquerung der Emscher, des Abwasserflusses des Ruhrgebietes, nach Essen - Karnap. Das Kokereigelände wurde saniert und wird heute als Gewerbegebiet genutzt. Am Exkursionsstandort im Bereich der Zeche wurde Zechenaushub angeschüttet und aufgeforstet. Die weitere Fahrt geht vorbei an der alten und inzwischen modernisierten Zechensiedlung Karnap, und dem auf der Fläche des ältesten Hüttenwerkes im Ruhrgebiet, der St. Antony-Hütte von 1758 und späteren Gutehoffnungshütte errichteten Einkaufszentrum CentrO Oberhausen zum einst größten Güterbahnhof Europas in Essen Frintrop. Als letztes Exkursionsziel wird die Stadt Mülheim an der Ruhr angefahren. Dort beginnt am Wasserbahnhof die Besichtigung einiger der 11 Mülheimer Bodenschätze.

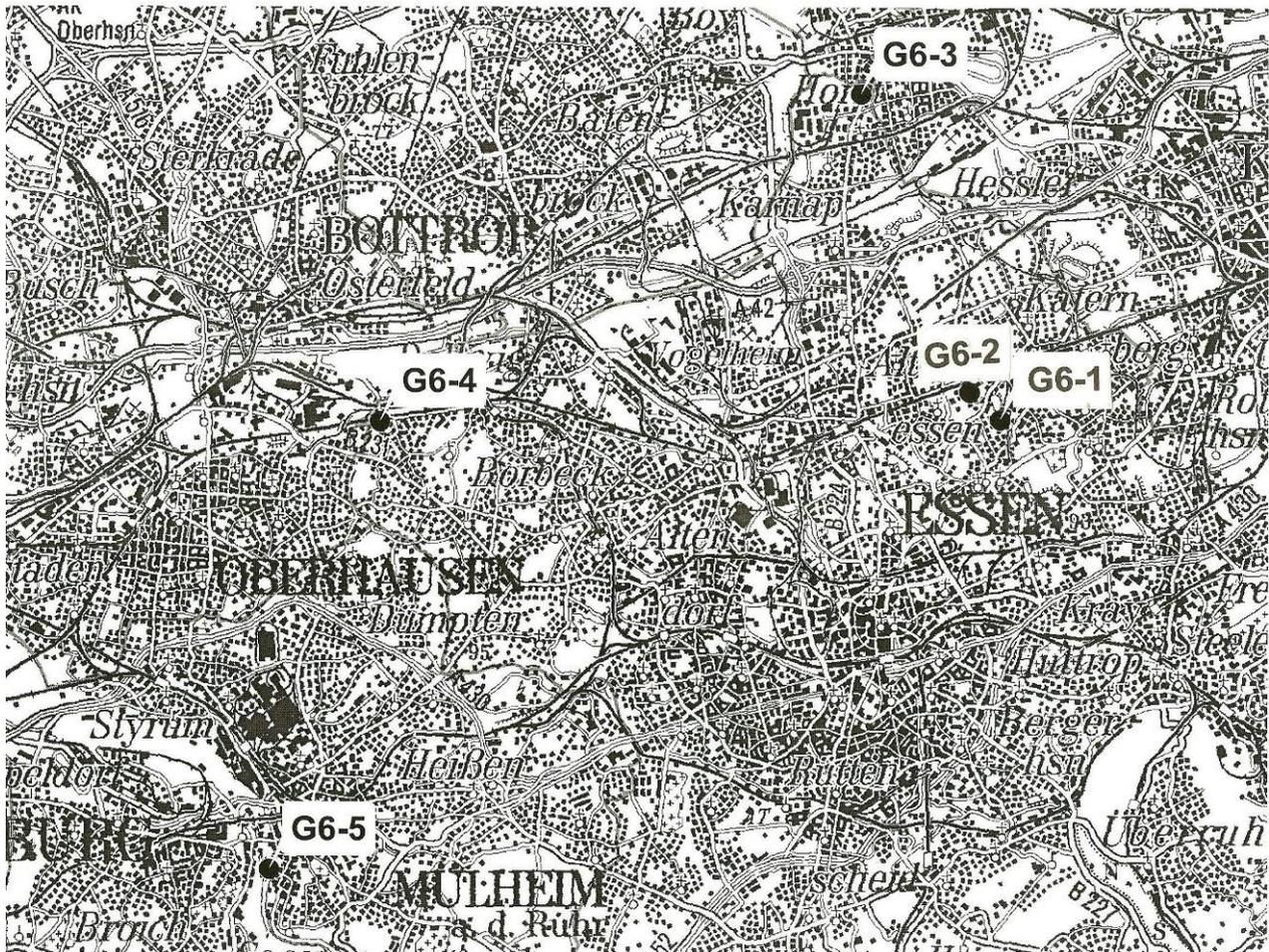
### 3 Beschreibung des Exkursionsgebietes

#### 3.1 Lage und naturräumliche Gliederung

Der Nordteil des Essener Stadtgebietes gehört zum Naturraum der Westfälischen Bucht (Weis 1964). Der Essener Norden befindet sich etwa je zur Hälfte im Bereich der ehemals sumpfigen Flussaue der Emscher und der leicht welligen mit Löß bedeckte Hellwegzone, die langsam nach Norden zur Emscher hin abfällt und durch zahlreiche Siepentäler geprägt wird. Das 3 - 4 km breite Emschertal bildet im Norden eine weite, flache Talung mit geringem Gefälle.

#### 3.2 Geologie und Geomorphologie (nach Weis 1964)

Den Untergrund der Stadt Essen bildet das durch die variszische Gebirgsbildung gefaltete Karbon. Im Süden des Stadtgebietes gelangt es an die nur mit Löß bedeckte Oberfläche und taucht nach



### Karte 1: Exkursionspunkte

G6-1: Halde Zeche Zollverein/Haldenstrasse in Essen - Stoppenberg  
 G6-2: Ehemaliges Kohlelager Zeche Zollverein in Essen - Stoppenberg

G6-3: Ehemalige Zeche Mathias Stinnes in Essen- Karnap  
 G6-4: Ehemaliger Güterbahnhof/Gleispark Frintrop  
 G6-5: Wasserbahnhof Mülheim/Mülheimer Bodenschätze

Norden unter mächtigen Deckschichten in große Tiefen ab.

Die Emschertalzone entstand durch Abtragung von weniger widerstandsfähigem Kreidemergel. Auf den 8 – 15 m mächtigen Talsanden aus der letzten Eiszeit lagern auf der Niederterrasse z.T. Auenlehme und Schlicke. Vereinzelt treten alluviale Waldtorfe und Niedermoorreste auf.

Über dem Steinkohlegebirge der Hellwegzone lagerten sich Meeressedimente der Oberen Kreide ab. Im Miozän wurden sie teilweise wieder abgetragen. Die Reste des Deckgebirges fallen von 50 m Tiefe unter der Essener Stadtmitte nach Norden auf 200 m Tiefe in der Emscherzone ab.

Die im Pleistozän an der Oberfläche anstehende Kreide führte zur Entstehung von tonigen und/oder schluffig - sandigen Böden, die Staunässe aufweise. Grundwasserleiter sind überwiegend kluftreiche Mergel und Grünsande der Oberkreide.

Die Kreideoberfläche wurde während der letzten Eiszeit von Grundmoränen, Schottern und Sanden überlagert. Es erfolgte eine Überlagerung mit Löß. Durch Entkalkung wurden 3-4 m mächtige Lößlehme gebildet, unter denen sich weitere 2 bis 10 m nicht entkalkter Löß befinden kann.

In Richtung Emscher geht der Löß in Sandlöß und Decksand über.

Die Hellwegzone bildet ein leicht welliges Hügelland. In westlichen Stadtteil Schönebeck werden Höhen von ca 110 m ü. NN erreicht. In der Emscherzone sind es in Karnap ca 27 m.

### 3.3 Klima

Der Essener Norden wird dem Klimabereich Nordwestdeutschland und dem Klimabezirk Münsterland zugeordnet (KVR 1985). Das Makroklima wird von der Westwindzone der Mittleren Breiten geprägt. Das Klima ist im Jahresgang entsprechend arm an extremen Temperaturen.

Die langjährige mittlere Lufttemperatur beträgt 9,4 °C, die mittlere Luftfeuchtigkeit 78 % und die mittleren Jahresniederschläge betragen 825 mm. Die vorherrschende Windrichtung ist Süd bis Südwest.

### 3.4 Vegetation

Die Wälder im Essener Norden gingen durch die Industrialisierung weitgehend verloren. Betrug um 1880 die Waldfläche in einigen der Bezirke noch 30 bis 60 %, so lag sie 1986 in den einzelnen Bezirken nur noch zwischen 0,3 und 2,0% (Stadt Essen 1989). Bereits frühzeitig wurde versucht, der Entwaldung durch Aufforstung zu begegnen. Im dem ebenfalls durch den Bergbau geprägten Süden von Essen wurde bereits 1904 der Stadtwald angelegt. Der Norden folgte sehr viel später und ist heute Gegenstand eines Waldentwicklungsprogrammes (Stadt Essen 1989). Die Bedeutung von auf technogenen Substraten entstandenen Böden ist für die Wälder Essens hoch. 36% der Waldflächen der Stadt Essen befinden sich heute auf Aufschüttungen.

Das Land NRW begleitet die natürliche Eroberung von Bergbau- und Industrieflächen durch den Wald durch das Industriebwaldprojekt.

### 3.5 Bodengesellschaften

#### Natürliche Böden (GLA 1984)

Die Böden der Hellwegzone und z.T. auch der Emscherniederung sind aus äolischen Ablagerungen wie Löß, Sandlöß und Flugsanden entstanden. In der Hellwegzone tritt an einigen Stellen die den Löß unterlagernde Kreide an die Oberfläche und bildet Lehm- und Tonböden. Nach Norden gehen die Lößlehme in lehmigsandige und sandiglehmiige Böden über. Die Sande der Niederterrasse der Emscherniederung sind von sandigen bis tonigem Lehm überlagert. Durch diese Überlagerung, den Untergrund aus Kreidemergel und die geringe Vorflut der Emscher war sumpfiges Gelände vor Beginn der Industrialisierung im Emschergebiet vorherrschend.

Als natürliche Böden dominieren in der Hellwegzone Parabraunerden und pseudovergleyte Parabraunerden, die aus Löß über Geschiebelehm, Sand und Kies der Hauptterrasse der Emscher, Ton aus der Oberkreide oder Tonstein und Sandstein des Oberkarbons entstanden sind (Geologische Landesamt NRW 1984). In den Bachtälern der Hellwegzone, die im Pleistozän und Holozän zunächst mit gröberem und später mit lehmigen Ablagerungen angefüllt wurden, haben sich unter Grundwasser-

einfluss Gleye und an den höher gelegenen Tal- und Talrandflächen Braunerdegleye gebildet.

Aus den fluviatilen Ablagerungen der Emscher und Flugsanden und Hochflutsanden über Sanden und Kiesen der Niederterrasse haben sich im Emschertal Gleye, Anmoor-, Podsol- und Pseudogleye gebildet. Im Holozän kam es auch zu vereinzelt Niedermoorbildungen, so auch zu kalkhaltigen Niedermooren. In Essen - Karnap nördlich der Emscher kam es neben der Entwicklung von Gleyen auch großflächig zur Entstehung von Braunerden, Podsol - Braunerden und stellenweise von Gley - Braunerden, Pseudogleyen, Braunerden oder Podsolen.

#### Böden aus technogenen Substraten (AKS 1997, Burghardt 1995, 2003)

Der Essener Norden weist eine hohe Siedlungsdichte von ca. 3700 Einwohnern \* km<sup>-2</sup> auf. Daran und durch die starke industrielle und bergbauliche Beanspruchung des Gebietes sind die Böden stark überformt worden. Täler wurden mit Reststoffen und Abfällen aus Bergbau, Kokereien und der Eisenhüttenindustrie wie Bergematerial, Kohleschlämme, Zechenschutt, Aschen und Schlacken, aber auch mit Schichten aus natürlichem Feinboden aufgefüllt, um durch Höherlegung die Flächen trocken zu bekommen. Das mit der Steinkohle geförderte taube Gestein wurde aus Kostengründen nicht in die Flöze zurück gebracht, sondern zu mächtigen Bergehalden aufgetragen, so dass eine kleine Gebirgswelt im nördlichen Ruhrgebiet entstand.

Die Industrieflächen wiesen große versiegelte Areale auf. Die Versiegelungsschicht aber auch der Versiegelungsschutt haben Einfluss auf den Bodenbestand und die Bodeneigenschaften.

Für Bergbau und Montanindustrie war ein großes Transportwesen erforderlich, das über die Eisenbahn gelöst wurde. Die Köln-Mindener Eisenbahn schuf dafür ab 1847 im nördlichen Ruhrgebiet die Voraussetzung. Aufgrund der Probleme der Eisenbahn mit Steigungen wurde das Netz weitgehend auf einer Ebene und damit häufig auf Dämmen angelegt. Auch hier kamen Abfälle und Reststoffe aus Industrie und Bergbau zur Ablagerung. Typisch sind auch die an Bergbau- und Industrieanlagen anschließenden sehr großen Güterbahnhöfe.

Durch die Ablagerung technogener Substrate wurden die skelettfreien natürlichen Böden aus Lößlehm, Flugsanden und Sanden von skelettreichen Böden (Burghardt 1997) abgelöst.

Die Feinbodenfraktion der meisten der zur Ablagerung gelangten technogenen Substrate bilden Sande. Schluffe und Tone treten nach Verwitte-

rung von Ton- und Siltsteinen des Bergematerials auf. In den Schotterlagen der Bahngleise lagern sich feinsandige und schluffige Stäube ein. Skelettreiche und/oder stark planierte Bergematerial- und Schlackenflächen werden nur zögernd von einer Vegetation besiedelt. Hierfür sind Ablagerungen von Stäuben aus Schluff und Sand eine wesentliche Voraussetzung (Höke 2003, Höke und Burghardt 2003).

Die pH-Werte der Böden streuen von extrem alkalisch mit pH-Werten bis 12 auf Eisenhüttenschlackenflächen, schwach alkalisch auf Bauschuttflächen und bis 3 auf Bergematerialien der Steinkohle, und noch tiefer auf einigen Flächen der den Steinkohlebergbau angeschlossenen chemischen Industrie. Der hohe Pyritgehalt des Bergematerials führt zur Entstehung von Schwefelsäure, so dass der bei Ablagerung zunächst schwach basische Boden im Laufe der weiteren Bodenentwicklung eine pH-Absenkung bis um pH 3,0 durchläuft und anschließend nach Auswaschung der Schwefelsäure auf Werte um pH 4 wieder ansteigt. Bergematerial, das aufgrund des hohen Restkohlegehaltes gebrannt hat, weist pH-Werte um 5 auf. Die extrem hohen pH – Werte von einigen Schlacken entstehen durch die Verwitterung von Calciumsilikaten unter Bildung von Calciumhydroxid das sich zu Carbonaten weiter entwickelt

Die Substratablagerungen waren zunächst locker. Verdichtungen waren selten. Mit dem Aufkommen schwerer Maschinen ab etwa 1970 und der Notwendigkeit Brände auf den Restkohlehaltigen Berghalden und damit Rauchentwicklung in dem dicht besiedeltem Gebiet zu verhindern, erfolgte eine dichtere Ablagerung der technogenen Substrate und des Bergematerials.

Die in Folge der Wirtschaftskrise ab 1970 einsetzenden Betriebsaufgaben und die Wiederherrichtung dieser Flächen durch Gebäudeabriss und Bodensanierungen führte erneut zu einem Anfall und zur Ablagerung großer Mengen an häufig kalkhaltigen und skelettreichen technogenen Substraten.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der Böden aus Ablagerungen technogener Substrate ist ihre teilweise sehr starke Substratschichtung (Burghardt et al. 1998). In kurzen Tiefendistanzen treten sehr unterschiedliche Eigenschaften auf, die u.a. Textur, Lagerungsdichten, pH-Werte, Kohlenstoff-, Carbonat-, Eisen-, Mangan- und Schadstoffgehalte betreffen.

Mit der Einwanderung der Bergarbeiter aus ländlichen Gebieten Osteuropas erfolgte eine sehr intensive Gartenkultur durch Kompostwirtschaft in den Bergarbeitersiedlungen. Es entstanden über 50 bis 100 Jahren sehr tief humose Böden, die Hortisole.

Die Böden auf technogenen Substraten des nördlichen Ruhrgebietes sind jung. Aufgrund des humiden Klimas besteht häufig die Möglichkeit einer Vegetationsentwicklung. Rohbodenstadien sind daher meist von kurzer Dauer (Burghardt 2001). Es setzt eine deutliche Bodenbildung ein, die zur Entstehung von Regosole und Pararendzinen führt. Durch die Humusbildung sind junge Böden auf weitgehend humusfreien Substraten große CO<sub>2</sub> – Senken (Burghardt 2001, Burghardt und Niggemeyer 2002). Bei Ablagerungen mit verdichteten Schichten können auch Stauwasserböden beobachtet werden. In älteren Ablagerungen, vor allem in gut belüfteten Aschen, sind Verbraunungserscheinungen zu beobachten, was auf die Entstehung von Braunerden hinweist.

Neben den aus Naturräumen bereits bekannten Bodenbildungen gibt es zahlreiche weitere intensive Bodenbildungen, die in wenigen Jahren bis wenigen Jahrzehnten ablaufen. Dazu gehören Böden mit dem für Bahnanlagen charakteristischen Transport von Stäuben in die Hohlräume des Gleisschotters, die als Partikelintrusole (Schraps 1989) bezeichnet werden. Die Böden mit starker Sulfatbildung sind schwefelsaure Böden oder Sulfosole. Böden der Neubildung von Carbonaten aus Calciumsilikaten der Schlacken sind Carbonatosole (Scholten et al. 1999).

Es gibt noch zahlreiche nicht sanierte Industrieflächen mit großen Versiegelungsflächen. Die Böden versiegelter Flächen sind Ekranolithe und Ekranosole (Komossa et al. 2002). Wesentliche Merkmale der Ekranosole sind eingeschränkte Belüftung und die Besonderheit der auf den Boden begrenzten Wasserzirkulation.

In den Gärten der Bergarbeitersiedlungen entstanden tief humose Böden, die dringend zu schützenden Kostbarkeiten sind, die Hortisole.

### 3.6 Siedlungsgeschichte

Die Siedlungsgeschichte des nördlichen Ruhrgebietes ist eng an die Industrie- und Bergbaugeschichte des Raumes gebunden. Bis Anfang des 19. Jh. war das nördliche Ruhrgebiet ein dünn besiedelter Raum mit Ackerbau und Waldwirtschaft. Erst mit der Anlage von senkrechten Tiefbauschächten war es möglich, die mächtige Mergeldecke zu durchstoßen und an die Kohleflöze zu gelangen. Die hierbei auftretenden Probleme der Wasserhaltung wurden durch die Erfindung der Dampfmaschine gelöst, die erstmalig um 1800 auf der Zeche Vollmond in Langendreer zum Betrieb von Pumpen zum Einsatz kam. Erst ab 1832 folgten dann weitere, und nun in größerem Umfang, Tiefbauzechen, womit die industrielle Erschließung des nördlichen Essener Stadtgebietes be-

gann. Ab 1852 löste die maschinelle Seilfahrt den Einstieg über Leitern ab. Bereits 1840 erreichte die Jahreskohleförderung 1 Millionen Tonnen und stieg bis 1914 auf 114 Millionen an und blieb so bis zum 2. Weltkrieg. 1956 wurde nochmals eine Spitzenförderung von 125 Millionen Jahrestonnen erreicht. Danach sank die Kohleförderung infolge des zunehmenden Angebotes an Energieträger wie Öl, Erdgas und Kernenergie. Die Wirtschaftskrise der Jahre um 1970 läutete das Ende des Kohlebergbaues in der Region ein. Ab 1968 kam es zur verstärkten Schließung und zum Zusammenlegen von Zechen.

Nach Sanierung der aufgegebenen Flächen wurden die Flächen einer industriellen, gewerblichen und kommerziellen Nachnutzung zugeführt. In jüngere Zeit wird auch die Wohnbebauung sanierter Flächen vorangetrieben. Insgesamt ist jedoch vielerorts der heutige Flächenbedarf geringer als zur Zeiten der Blüte von Bergbau und Montanindustrie. Dies ermöglicht die Schaffung von Landschaftsparks auf industrielle Flächen, was für das nördliche Ruhrgebiet in den Jahren von 1989 bis nach 1999 durch das Großprojekt der Internationalen Bauausstellung Emscher Park wesentlich vorangetrieben wurde (TU-Dortmund, Jahr unbekannt). Ein Teil der Flächen steht auch dem Biotopschutz zur Verfügung. Der natürliche Wiederbewaldung von Industrieflächen widmet sich durch das Industriebwaldprogramm Ruhrgebiet (2008) in NRWt.

Die Bevölkerung ist überwiegend aus Osteuropa und nach dem 2. Weltkrieg aus der Türkei eingewandert. Der Höhepunkt der Einwanderung war vor dem 1. Weltkrieg. Die dadurch ausgelöste Siedlungsentwicklung führte zu dorfarmigen Siedlungsstrukturen um die Bergwerks- und Hüttenbetriebe, die noch heute sichtbar sind. Zwischen den Siedlungen befanden sich noch zahlreiche Resthöfe mit landwirtschaftlich genutzten Flächen. Diese verschwanden weitgehend mit dem Wiederaufbau der Städte durch weiträumige Blockbebauung nach dem 2. Weltkrieg.

### 3.7 Nutzung

#### Nutzungswandel

Das nördliche Ruhrgebiet unterlag und unterliegt noch einem sehr schnellen Wandel hinsichtlich der Flächennutzung. Anfang des 19. Jh fast menschenleer – z. B. der Name der Stadt Oberhausen weist auf einen kleinen Weiler hin – wurde das Gebiet ab 1850 bis 1970 von einer sehr starken Einwanderung und Bergbauwirtschaft mit einer weltweit größten Konzentration an Kraftwerken, Schwerindustrie und chemischen Industrie beherrscht. Daran schließt sich heute ein gewaltiger

Transformationsprozess zu Dienstleistungs- und Nahrungsmittelindustrie, Gewerbe- und Handel an. Die Einwohnerdichte nimmt wieder ab.

Der Flächenbedarf der alten Bergwerks- und Industriebetriebe betrug häufig je Anlage 50 bis mehrere 100 Hektar. Ähnlich Größenordnungen nahmen Bahnanlagen ein. Gegenüber diesem Gigantismus nahmen sich die entstehenden Städte sehr bescheiden und dörflich aus.

Bergbau, Schwerindustrie, chemischer Industrie und Energiegewinnung mit ihrer Flächenwirkung, vor allem durch Aufträge von Reststoffen und Substraten, auf Böden folgten nun großflächige Versiegelung durch Gewerbe und neue Strassen.

Ein Großteil der Flächen aus den alten stillgelegten Werken konnte jedoch noch keiner erneuten Nutzung zugeführt werden. Hier entstanden Ruderalflächen, Flächen mit neuer Bodenbildung, und stark vom Land NRW gefördert große Landschaftsparks mit einer erfolgreichen Unterhaltungsindustrie und mit starkem Tourismus. Das Weltkulturerbe Zollverein und das Ruhrgebiet mit der Stadt Essen als Zentrum als Kulturhauptstadt Europas in 2010 zeigen deutlich das Potential dieser Entwicklung.

Der Essener Norden erfährt auch als Wohngebiet eine stark Aufwertung. Der Rauch brennender Bergehalden, der Ruß der Kraftwerks- und Industriebetriebe und der Staub großer Lagerflächen ist verschwunden. Die Luft ist sauber. Böden werden nicht mehr mit Schadstoffen und Stäuben angereichert. Die ländlich – kleinstädtische Bebauung und Ruderalflächen bieten viel Platz für Grün. Es laufen große Sanierungsprogramme. Sie haben allerdings zur Folge, dass die großen Gärten zwischen den Zechenhäusern einer Bebauungsverdichtung weichen müssen. Wertvolle Hortisole gehen dabei verloren. Verlassene Bergbau- und Industrieflächen werden nach Sanierung bebaut. Hier sind wegweisende Bauweisen zu sehen. Keller werden nicht mehr angelegt, so dass Boden-erosion durch Aushub zum Kellerbau nicht erfolgt. Unter den Häusern bleibt der Boden erhalten. Niederschlagswasser wird auf den Grundstücken versickert (Blettgen und Burghardt 1997, Burghardt et al. 1999). Allerdings sind die Grundstücke klein, so dass der Verbrauch an Fläche gering bleibt, aber der Versiegelungsgrad sehr hoch ist.

#### Nutzung der Exkursionsstandorte

Die Zeche Zollverein (Exkursionspunkte 1 und 2) in Essen Stoppenberg wurde 1847 gegründet. Die erste Kohle wurde 1851 gefördert. 1866 kam die Kokerei hinzu. 1895 wurde die Begrünung der Halden mit Akazien begonnen. Die Stilllegung der Zeche Zollverein erfolgte 1986. Dem folgte der Ausbau zu einem Kultur- und Eventzentrum,

was für den Bodenbestand starke Eingriffe bedeutet. Viele der nutzungsbedingten Substratstrukturen, besonders die der Bahnanlagen sind zerstört worden. Die Halde blieb davon noch weitgehend verschont. 1

Beide Standorte sind Teil des Industriewaldprojektes NRW (2008).

Der Exkursionspunkt 3 liegt auf dem Gelände der ehemaligen Zeche Mathias Stinnes. Ein erster, jedoch erfolgloser Start zur Zechanlage erfolgte 1855. Der Ausbau wurde 1864 wieder aufgenommen und 1872 erfolgte die Förderung der ersten Kohle. 1972 wurde die Förderung eingestellt. Ein Teil der Fläche wird heute als Gewerbefläche genutzt. Ein großer Teil wurde ab etwa 1990 aufgeforstet.

Der 4. Exkursionspunkt liegt auf dem ehemaligen Güterbahnhof Frintrop. Er ist Teil der Köln-Mindener Eisenbahn, mit deren Bau 1846 begonnen wurde und die wesentlich zum wirtschaftlichen Aufschwung des nördlichen Ruhrgebietes führte. Der Güterbahnhof Frintrop wurde um 1880 erbaut und wuchs zu Beginn des 20. Jh. zum größten und modernsten Güterbahnhof Europas. Ab 1926 verlor der Bahnhof allmählich an Bedeutung. In den 1960er Jahren wurde der Betrieb eingestellt. Nach ursprünglichen Planungen für eine Folgenutzung als Gewerbepark oder zur Wohnbebauung wurde 1999 das Gebiet als Ruderalpark, heute Gleispark Frintrop ausgewiesen.

### 3.8 Eingriffsregelung Landschaftsgesetz NRW (LG NRW) (MURL NRW 1086)

Ein Thema der Exkursion ist der Ausgleich und Ersatz bei Veränderungen „der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen, die die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes oder das Landschaftsbild erheblich oder nachhaltig beeinträchtigen“ (§8 Abs. 1 Bundesnaturschutzgesetz). Dies betrifft im Essener Norden vor allem den starken Verlust an Wald und die Schaffung neuer Waldstandorte. Ein Ausgleich durch Wiederherstellung der alten Wälder ist bei der starken anthropogenen Überprägung von Böden und Wasserhaushalt des Gebietes nicht möglich. So stellt sich die Frage, welchen Beitrag können Böden für Ersatzmaßnahmen erbringen und wie sind Böden hierfür als Waldstandorte zu bewerten. Als Böden für eine Aufforstung kommen vor allem die skelettreichen Bergbau- und Industrieböden in Betracht, und Böden auf Flächen mit für andere Nutzungen ungünstigem Relief, so auf den Bergehalden des Steinkohlebergbaues.

### 3.9 Bürger trifft auf Boden – aber wie ? Bodenkundliche Öffentlichkeitsarbeit in der Stadt Mülheim

Trotz ihrer lebenswichtigen Bedeutung werden Böden kaum beachtet und sind nur ein marginaler Gegenstand in der Politik. Da Böden nicht sichtbar sind, für eine Bevölkerung in mehrgeschossigen Häusern keine direkten Bodenkontakte mehr bestehen, es sei denn über Schrebergärten, und Böden selten im Zusammenhang mit spektakulären Ereignissen Erwähnung finden, ist es schwierig ein Bodenbewusstsein zu schaffen. Die Abnahme des Interesses betrifft nicht nur den Boden, sondern bereits seit einigen Jahrzehnten die Geowissenschaften allgemein. So bildet heute der an den Geowissenschaften interessierte Anteil der Bevölkerung nur noch eine kleine Gruppe. Es stellt sich somit die Frage wie dringe ich mit dem Anliegen Boden in das Bewusstsein der übrigen Bevölkerung ein.

Bereits verfolgte Ansätze sind die wesentlich auf Wissensvermittlung ausgerichteten Bodenmuseen und Bodenlehrpfade, die Darstellung des Bodens als belebtes Element voller, teils niedlicher, Lebewesen, mit denen man sich identifizieren kann, und die Darstellung der verborgenen Schönheit des Bodens in Form von Kunstobjekten. Bei all diesen Projekten muss sich der Bürger aktiv auf den Boden zu bewegen. Er muss schon ein Bodeninteresse geweckt worden sein. Der Bürger muss erfahren haben, dass es Böden gibt. Das wird für den größten Teil der Bürger nur gelingen, wenn der Bürger ohne sein Zutun in seinem normalen Lebensablauf und Lebensumfeld auf Böden stößt.

Aber wie? Hier setzt das Vorhaben der Mülheimer Bodenschätze an. Es setzt zunächst wie die oben angeführten Wege der Vermittlung bodenkundlichen Wissens auf Information, jedoch stark reduziert auf wenige Aussagen, so dass sie nicht nur gelesen, sondern auch behalten werden kann.

Wo nun stößt der Bürger auf seinen Boden? Optimal in der Fußgänger Zone, im Einkaufszentrum, wo er warten muss, so an der Bushaltestelle, in seinem Park, an Naherholungswegen und an touristischen Highlights.

Wie werden Böden sichtbar? Der Boden lässt sich als Litfasssäule präsentieren, zum Drehen oder als Säulenensemble. Schatztruhen werde aufgestellt, die neben Schätzen des Ruhrgebietes Kohle und Erz auch den Boden als Schatz zeigen. Am Stadtrand mit herrlichstem Blick in das Ruhrtal sind Bänke aufgestellt. Gedichte aus einem Automat beschreiben fantasievoll den Boden und viele Bodenereignisse. An anderen Orten ermöglichen

eine oder mehrere Türen den Zugang zu Bodenschnitten.

Wie gelingt es, sehr unterschiedliche Bevölkerungsgruppen in Kontakt mit Bodenobjekten zu bringen? Schnell reagiert hat auf das Projekt der Mülheimer Bodenschätze die Ruhrschiffahrt, auch als Sponsor. Am Wasserbahnhof und in der Ruhraue sind Bodenobjekte ein touristischer Anziehungspunkt. Hier werden sehr gut ältere Bürger, Familien mit Kindern und andere Paare mittleren Alters erreicht. Jugendliche lassen sich sehr gut über das Internet ansprechen. Interaktive Spiele und Angebote zum Herunterladen auf das Handy für Schnitzeljagden oder Treffpunkte sind gute Möglichkeiten Kenntnisse über die Existenz von Böden zu vermitteln.

Auch wenn es am Anfang sehr mühselig ist: solche Projekte gewinnen durch den Aufbau intensiver Netzwerke, so kommunaler und regionaler

Verbände, von Naturschutzverbänden, Schulen, Volkshochschulen, Museen, dem Tourismus und anderen dem Boden oder den Aktivitäten um den Boden nahe stehenden Gruppen.

Im Bereich von Städten kann Spieltrieb und Vandalismus die Objekte gefährden und zu einem Problem werden. Bisher sind jedoch nur wenige Schäden aufgetreten. Art der Objekte und Einbeziehung der benachbarter Bevölkerung der Objekte tragen offensichtlich zum Schutz bei.

Solche Projekte wie die Mülheimer Bodenschätze unterliegen einer staken Dynamik, nicht nur im Wechsel von Interessenten. So sind z.B. besonders im innerstädtischen Bereich Standorte nicht immer beliebig lange verfügbar. Gute Standorte können auch mit Kunstobjekten belegt sein, deren Präsentation nicht beeinträchtigt werden darf und die entsprechend Rechte aufweisen.

## 4 Exkursionspunkte

### 4.1 Exkursionspunkt 1 – Halde in Essen Haldenstrasse

Lage: Essen - Stoppenberg, Zeche Zollverein, Halde an der Haldentrasse.

Messtischblatt, Rechts- und Hochwert: 25 71825; 5706550; Höhe über NN: ~ 62 m

Relief: Höhe 62 m ü. NN, Gefälle 0 %.

Alter: Halde ist auf historischen Karten bereits 1907 erkennbar.

Nutzung: Biotop aus zusammenbrechendem, über 90 jährigem alt Robinienforst

Klimakennwerte: Jährlicher Niederschlag 825 mm (2002-2004); Mittlere Jahrestemperatur 9,4 °C

Ausgangsgestein: Bergematerial des Steinkohlebergbaues, Ton-, Silt- und Sandsteine mit 20 – 30 % Feinkohlegehalten.

Substrattyp: oj-n(yeb) - Kippschutt aus Bergematerial

Humusform: Rohhumus

Bodentyp: Regosol; nach WRB: Endofolic Spolic Technosol.

Vegetation 1995 (Herrmann 1996):

Moosschicht aus inselartigen Polstern von Atrium undulatum (Katharinenmoos) und Mnium Hornum (Gewöhnliche Sternmoos).

Krautschicht aus Holcus lanatus (Wolliges Honiggras) und Poa Pratensis (Wiesen-Rispengras) jeweils horstartig sowie Holcus mollis (Weiches Honiggras) flächig. Dryoptereis dilatata (Breitblättriger Dornfarn) und Athyrium filix-femina (Gemeiner Frauenfarn) in lichterem Bereichen des Waldes.

Stauchsicht aus Crataegus monogyna (Eingrifflicher Weißdorn), Sambucus nigra und Sambucus racemosa (Schwarzer und Roter Holunder) und Rubus fruticosus agg. (Brombeere).

Baumschicht: Robinia pseudoacacia (Robinie) auf dem Haldenplateau zu 100 % dominant. Auf der Halde sind die z.T. geringe Standfestigkeit der über 50 Jahre alten Robinien und ein hoher

Totholzanteil auffällig. Eine Naturverjüngung ist innerhalb des stellenweise lichten Bestandes nicht erkennbar.

Tabelle 1.1: Bodenansprache

Horizont	Tiefe	Farbe (n. Munsell)	Humus- form	Bo- den-art	Humus- gehalt	Carbonat- gehalt	Gefüge	Verfesti- gungsgrad	Durch- wurzelung	Sonstiges
	cm									
<i>1</i>	<i>2</i>		<i>3</i>	<i>11</i>						
L	- 0,5	7,5 YR 4/4	ro		n.b.					Stark mit Stäuben durchsetzt
Of	- 3	7,5 YR 3/3			n.b.				fW5	
Oh	- 8	7,5 YR 2/2			n.b.		kr	Vf1	fW5	
Oh-Ah	- 11	7,5 YR 1,7/1		Ut3,gr1	n.b.	nn	ein	Vf2	fW3,gW2	
yC1	- 21	5 Y 4/1		Ut3,gr3	n.b.	nn	ri,pl,pol	Vf2	fW2gW2	
yC2	- 40	5 Y 3/1		Ut3,gr4		nn	ein	Vf2	fW2	
yC3	- 44	5 Y 3/1		Ut3,gr4		nn	ein	Vf2	fW2	
yC4	- 47	5 Y 5/1		Ut3,Gr		nn	ein	Vf2	fW2	
yC5	- 72	5 Y 5/1		Ut3,gr5		nn	ein	Vf2	fW2	
yC6	- 83	5 Y 4/1		Ut3,gr5		nn	ein	Vf2	fW2	
yC7	>100	5 Y 4/1		Ut3,gr5		nn	ein	Vf2	nn	

Tabelle 1.2: Physikalische und chemische Kennwerte

Horizont	Tiefe	Skelett	d <sub>B</sub>	k <sub>f</sub>	Glüh- verlust	EC	P <sub>(DL)</sub>	K <sub>(DL)</sub>
	cm	Mas-%	g · cm <sup>-3</sup>	cm*d <sup>-1</sup>	Mas-%	mmho/cm	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>						
L	- 0,5		nb	nb	n.b	K.P	42,5	80,9
Of	- 3		nb	nb	n.b	K.P	17,8	44,6
Oh	- 8	3	nb	nb	30,1	0,260	22,0	13,4
Oh-Ah	- 11	28	nb	1510	17,9	0,120	19,1	7,4
yC1	- 21	60	1,43	3530	16,9	0,046	6,3	10,5
yC2	- 40	52	1,41	8610	20,1	0,054	7,1	12,7
yC3	- 44	88	1,07	9440	33,9	0,053	9,4	12,1
yC4	- 47	73	1,59	4840	15,5	0,036	1,7	15,9
yC5	- 73	67	1,30	4880	24,9	0,060	2,4	14,9
yC6	- 83	70	1,26	nb	23,2	0,071	2,4	13,3
yC7	>100	30	1,19	nb	24,7	0,070	5,8	10,1

Tabelle 1.3: Chemische Kennwerte

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	KAK <sub>eff</sub> / KAK <sub>p</sub>
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(CaCl <sub>2</sub> )	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%	cmol <sub>c</sub> · g <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>				<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
L	nn	4,30	3,50	n.b	n.b	n.b	n.b	nb		nb	nb	nb
Of	nn	3,80	3,20	0,3	1,3	1,8	13,1	81,3	19,2	68,1	16,5	0,2
Oh	nn	3,90	3,30	0,1	0,3	0,3	2,1	32,5	10,4	20,2	2,8	0,1
Oh-Ah	nn	3,80	3,70	0,1	0,0	0,1	0,2	31,0	1,0	20,6	0,4	0,0
yC1	nn	4,00	3,50	0,1	0,1	0,1	0,1	15,5	1,0	10,1	0,4	0,0
yC2	nn	3,90	3,40	0,0	0,1	0,1	0,3	11,5	2,8	10,8	0,6	0,1
yC3	nn	3,90	3,30	0,1	0,1	0,1	0,4	10,5	6,3	6,3	0,7	0,1
yC4	nn	4,30	3,60	0,1	0,4	0,6	2,6	nb	26,3	9,9	3,7	0,4
yC5	nn	4,20	3,50	0,1	0,4	0,6	2,1	nb	19,6	10,7	3,1	0,3
yC6	nn	3,80	3,10	0,1	0,3	0,5	1,7	nb	16,2	10,5	2,6	0,2
yC7	nn	3,90	3,10	nn	0,1	0,3	0,9	nb	18,8	4,8	1,2	0,3

Tabelle 1.4: Schwermetallgehalte

Horizont	Im Königswasseraufschluss							Im NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> -Aufschluss				
	Fe	Mn	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd	
	g · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	
<i>1</i>	<i>33</i>	<i>34</i>		<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>						
L	8,9	215	145	288	0,86	58,9	20,5	0,24	8,57	1,20	<0,1	
Of	14,4	306	279	247	0,70	81,0	24,9	0,55	7,64	0,54	<0,1	
Oh	34,1	343	552	265	0,42	115,6	27,5	2,59	1,54	0,61	<0,1	
Oh-Ah	24,2	325	316	209	0,38	105,4	21,1	2,01	0,50	0,71	<0,1	
yC1	10,9	93	80	74	0,12	30,8	10,6	0,55	0,73	0,32	<0,1	
yC2	12,4	42	81	65	0,10	31,6	7,8	<0,1	1,50	0,69	<0,1	
yC3	12,6	22	53	50	0,06	24,6	6,3	0,10	1,14	0,82	<0,1	
yC4	14,6	90	35	77	0,22	44,3	12,4	0,08	1,75	0,62	<0,1	
yC5	13,7	173	28	72	0,18	47,3	13,7	0,17	0,80	0,42	<0,1	
yC6	13,3	20	29	55	0,02	38,5	12,2	0,14	1,31	0,73	<0,1	
yC7	15,7	25	76	46	0,02	44,7	5,7	<0,1	1,07	1,01	<0,1	

Tabelle 1.5: Eisen- und Manganfraktionen

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub> /Mn <sub>d</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		µg · g <sup>-1</sup>	µg · g <sup>-1</sup>	
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>
L	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Of	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b
Oh	11	30	0,4	128	245	0,5
Oh-Ah	8	21	0,4	142	245	0,6
yC1	1	11	0,1	25	51	0,5
yC2	1	9	0,1	12	23	0,5
yC3	1	17	0,1	15	28	0,5
yC4	1	17	0,1	35	59	0,6
yC5	1	18	0,0	179	196	0,9
yC6	1	21	0,0	12	29	0,4
yC7	1	20	0,1	12	14	0,9

Profil 2 – Essen – Stoppenberg, ehemaliges Kohlenlager Zeche Zollverein

Lage: Essen Stoppenberg, Messtischblatt,

Rechts- und Hochwert 25 72 300; 57 06 12; Höhe über NN: ~ 50 m

Relief: auf großer Fläche fast eben

Nutzung: Sukzessionsfläche mit beginnender Sukzession, Naherholung

Ausgangsgestein: Bergematerial des Steinkohlebergbaues

Substrattyp: oj-n(yeb)Kippschutt aus Bergematerial

Humusform: noch nicht entwickelt

Bodentyp: Rohgley, grobe Phase; WRB: Spolic Technosol

Grundwasserstand am 20.8.1999: 58 cm u. GOF

Tabelle 2.1: Bodenansprache

Horizont	Tiefe	Farbe (n. Munsell)	Humus- form	Bo- den-art	Humus- gehalt	Carbonat- gehalt	Gefüge	Verfesti- gungsgrad	Durch- wurzelung	Sonstiges
	cm									
<i>1</i>	<i>2</i>		<i>3</i>	<i>11</i>						
yC <sub>1</sub>	0-2	2,5 Y 2/1	Noch nicht ent- wickelt	Su,gr4	nb	c <sub>0</sub>	ein	Vf3	W1	Vf2
	2-6	2,5 Y 2/1		Su,gr4	nb	c <sub>0</sub>		Vf3		
yC <sub>2</sub>	6-11	2,5 Y 2/1		Su,gr4	nb	c <sub>0</sub>	ein	Vf3	W0	Vf2
	11-15	2,5 Y 2/1		Su,gr4	nb	c <sub>0</sub>		Vf3		
yC <sub>3</sub>	15-30	2,5 Y 2/1		G,Gr	nb	c <sub>0</sub>	ein	Vf3	W0	Vf2
	30-45	2,5 Y 2/1		G,Gr	nb	c <sub>1</sub>		Vf3		
yC <sub>4</sub>	45-65	2,5 Y 2/1		G,Gr	nb	c <sub>1</sub>	ein	Vf3	W0	Ve2
	74-78	2,5 Y 2/1		G,Gr	n	c <sub>1</sub>		Vf3		

Tabelle 2.2: Physikalische und chemische Bodenkennwerte

Horizont	Tiefe	Skelett	EC	Salz	Glühverlust	P <sub>(DL)</sub>	K <sub>(DL)</sub>
	cm	Mas-%	mmho/cm	Mas-%	Mas-%	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>					
yC1	-2	44,7	0,102	0,033	28,9	2,8	9,4
	-6	69,5	0,173	0,055	20,8	4,4	11,8
YC2	-11	78,8	0,138	0,044	27,5	1,8	10,8
	-15	80,5	0,330	0,108	18,7	2,0	11,2
yC3	-30	89,1	0,294	0,094	21,1	2,5	12,8
	-48	84,4	0,205	0,066	21,2	2,5	14,8
yC4	-65	94,8	0,200	0,064	17,7	4,3	19,4
	-78	30,4	0,082	0,026	71,4	7,9	8,2

Tabelle 2.3 – Chemische Bodenkennwerte

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	KAK <sub>eff</sub> /KAK <sub>p</sub>
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(CaCl <sub>2</sub> )	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%	cmol <sub>c</sub> · g <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>				<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
yC1	nn	4,70	4,30	0,2	0,2	1,0	2,3	n.b.	34	6,8	3,7	0,54
	nn	4,70	4,40	0,2	0,3	1,3	2,5	n.b.	32	7,9	4,3	0,54
YC2	nn	4,20	4,00	0,2	0,3	1,1	1,3	n.b.	27	4,9	2,7	0,55
	nn	4,00	3,80	0,3	0,4	1,0	1,3	n.b.	27	4,9	3,0	0,61
yC3	nn	4,00	3,90	0,1	0,2	0,9	1,1	n.b.	31	3,6	2,4	0,66
	0,2	5,60	5,20	0,2	0,4	1,3	2,1	n.b.	37	5,7	4,1	0,72
yC4	0,6	7,10	6,60	0,1	0,6	1,8	3,8	n.b.	56	6,8	6,3	0,93
	0,3	7,40	6,30	0,3	0,2	0,4	0,7	n.b.	28	2,5	1,6	0,64

Tabelle 2.4: Schwermetallgehalte

Im Königswasseraufschluss

Im NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> -Aufschluss

Horizont	Fe	Mn	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
	g · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>									
<i>1</i>	<i>33</i>	<i>34</i>		<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>					
yC1	19,4	214	49	85	0,14	48,2	19,8	<0,1	0,43	0,29	<0,1
	24,2	329	36	77	0,08	56,6	27,3	<0,1	0,20	0,50	<0,1
yC2	24,8	275	35	59	0,02	58,3	24,6	0,14	0,32	0,51	<0,1
	29,2	279	49	68	0,04	67,3	26,9	0,17	0,28	0,29	<0,1
yC3	26,8	374	41	65	0,02	67,7	33,0	0,15	0,42	0,49	<0,1
	23,4	584	59	152	0,32	70,2	42,0	0,29	0,35	0,62	<0,1
yC4	19,5	373	43	90	0,18	62,3	39,9	0,22	0,34	0,71	<0,1
	5,4	116	32	74	0,24	25,6	9,6	0,09	0,20	0,13	<0,1

Tabelle 2.5: Eisen- und Manganfraktionen

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub> /Mn <sub>d</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		µg · g <sup>-1</sup>	µg · g <sup>-1</sup>	
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>
yC1	4	14	0,2	107	139	0,77
	3	17	0,2	132	211	0,63
yC2	3	17	0,2	139	192	0,72
	4	21	0,2	145	208	0,70
yC3	3	22	0,1	264	329	0,80
	3	11	0,2	407	542	0,75
yC4	2	8	0,3	247	294	0,84
	2	3	0,5	37	33	1,12

Profil 3 – Ehemalige Zeche Mathias Stinnes 1/275 in Essen - Karnap

Lage: Essen Karnap, Messtischblatt,

Rechts- und Hochwerte: 25 70 150; 57 11 225 Höhe über NN :~ 40 m

Relief: eben, auf Kuppe

Nutzung: ca 20 jähriger Forst aus Acer pseudoplatanus, Tilia cordata und Carpinus Betulus

Ausgangsgestein: Anschüttung von Zechenschutt aus Bergematerial (Sand-, Silt-, Tonsteine) mit hohen Feinkohleresten, Schamottsteinen, eventuell Kohleschlämme und Flugaschebeimischungen.

Substrattyp: oy -Yb; verkipptes Material technogenen Ursprungs.

Humusform: Mull

Bodentyp: Syrosem im Übergang zum Regosol; WRB: Spolic Technosol

Es liegen Ergebnisse aus Probenahmen der Jahre 1996, 2008 und 2009 vor.

Tabelle 3.1: Profil 3a - 1996, Bodenansprache

Horizont	Tiefe cm	Farbe (n. Munsell)	Humus- form	Bodenart	Humus- gehalt	Carbonat- gehalt	Gefüge	Verfesti- gungsgr.	Durch- wurzel.	Sonstiges
1	2		3	11						
Ah	-7	10YR 10/2	Mull	SI3,mGr1	h1	c0	kr	Vf1	fW5gW2	
jC1	-23	10 yR 4/4		SI3, fGr2	h0	c1	Sub2	Vf2	fW3gW1	Vereinzelt Regenwürmer
jC2	-100	5 Y 3/1		SI4, fGr2, z.T. fX, 20 cm Ø	h0	c4	pl über sb	Vf2	fW2	Vereinzelt Kohle, Zie- gel, Schamott, Berge

Tabelle 3.2: Physikalische und chemische Bodenkennwerte.

Horizont	Tiefe		Skelett	d <sub>B</sub>	d <sub>B</sub> Fein- boden	pH	pH	rH	N <sub>org</sub>	P <sub>(DL)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cm		Mas-%	g · cm <sup>-3</sup>		(H <sub>2</sub> O)	(CaCl <sub>2</sub> )		Mas-%	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
1	2	3	11			22	23		34	36	37
Ah	-7	0-5	8,5	1,17	7,4	6,8	1,07	25,1	0,305	18,8	47,8
jC1	-23	10-20	18,1	1,67	7,6	7,0	1,37	15,2	0,09	24,1	39,7
jC2		24-34	46,8	1,31	8,3	7,5	0,40	16,6	0,075	59,0	31,9
		45-53	69,5	1,54	8,3	7,5	0,46		0,06	64,2	44,1
		60-69	66,0	1,50	8,3	7,4	0,51		0,07	70,4	42,2
		70-80	69,3	1,32	8,4	7,3	0,41		0,05	64,3	35,3
		-100	90-100	45,4	1,24	8,3	7,0	0,68		0,055	60,3

Tabelle 3.3: Physikalische Bodenkennwerte

Horizont	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>	
	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	mm	cm · s <sup>-1</sup>	cm · d <sup>-1</sup>
1	12	13	14	15	16	17	19	20
Ah	16,7	10,0	3,1	10,9	40,8	13,2		3230
jC1	10,9	6,1	2,2	6,9	26,1	8,3		2790
jC2	8,7	4,9	7,3	7,2	28,1	12,2		1480

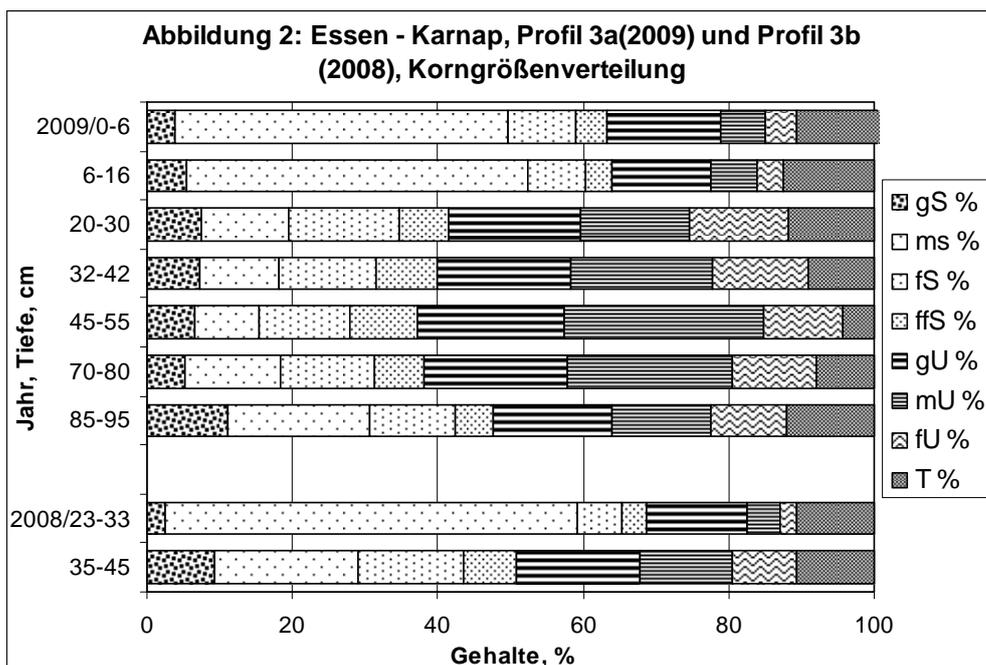
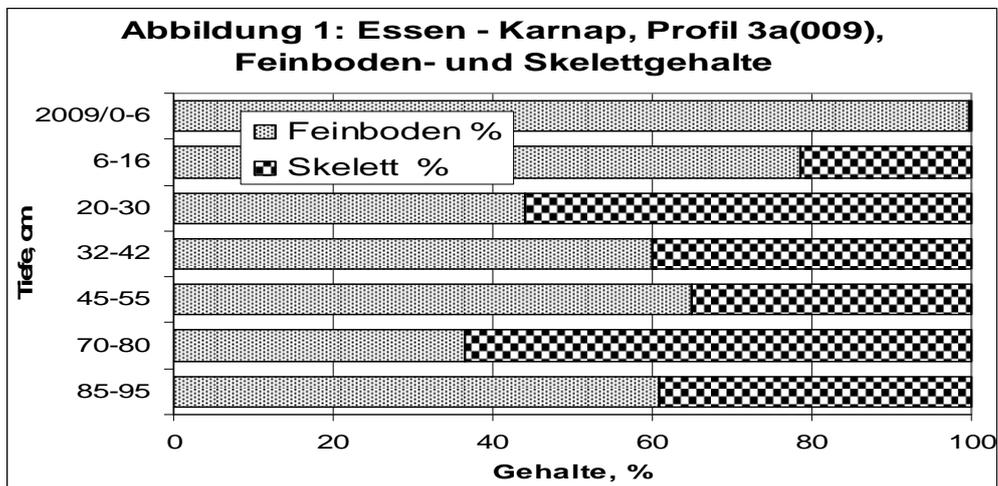
Tabelle 3.4: Profil 3b,c - 2008/9, Korngrößenverteilung

Horizont	Tiefe cm	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							T	d <sub>B</sub> g · cm <sup>-3</sup>
			gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Prof.3b(2008)											
Ah	-2										1,19
	-5										1,44
	-10										1,43
	-15										1,54
	-33										1,83
	-50										1,44
Prof.3c(2009)											
Ah	-5	0,4	3,8	45,9	9,2	4,4	15,7	6,1	4,2	11,4	1,15
jyC <sub>1</sub>	-18	21,4	5,4	46,9	8,1	3,6	13,5	6,5	3,6	12,4	1,32
jyC <sub>2</sub>	-32	56,0	7,4	12,0	15,3	6,9	18,1	15,0	13,4	11,8	1,29
	-42	39,9	7,2	10,9	13,5	8,3	18,4	19,4	13,3	8,9	1,28
	-55	35,2	6,5	9,0	12,3	9,3	20,2	27,5	11,0	4,1	1,16
jyC <sub>3</sub>	-70	63,6	5,3	13,0	13,1	6,8	19,6	22,6	11,7	8,0	1,20
jyC <sub>4</sub>	-95	39,0	11,2	19,3	11,9	5,3	16,3	13,5	10,5	12,1	1,25

Tabelle 3.5: Chemische und physikalische Bodenkennwerte

Horizont	Carbonat	pH	d <sub>B</sub>	PV-nat <sup>1)</sup>	LK-nat <sup>1)</sup>	nFK-nat. <sup>1)</sup>
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	g · cm <sup>-3</sup>	Vol.%	Vol.%	Vol.%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>23</i>	<i>11</i>	<i>29</i>		
Prof.3b(2008)						
Ah	0,0	-	1,19	55,1	13,0	42,1
	0,0	-	1,44	45,5	10,9	34,6
	0,1	-	1,43	46,1	14,6	31,5
	0,0	-	1,54	41,9	9,7	32,2
	0,2	-	1,83	31,0	10,5	20,4
	1,0	-	1,44	45,6	26,2	19,3
Prof.3c(2009)						
Ah	0,0	6,43	1,15	56,42	20,28	36,14
gyC <sub>1</sub>	0,1	6,52	1,32	50,19	20,86	29,32
gyC <sub>2</sub>	0,7	7,33	1,29	51,38	25,01	26,36
	0,7	7,33	1,28	51,82	15,74	36,07
	0,8	7,44	1,16	56,14	12,90	43,24
gyC <sub>3</sub>	1,2	7,55	1,20	54,85	24,41	30,44
gyC <sub>4</sub>	0,7	7,49	1,25	52,83	26,21	26,62

<sup>1)</sup> Berechnet aus den feldfeuchten Proben der Probenahme im Januar; Annahme einer Reindichte von 2,65 g<sup>l</sup> \* cm<sup>-3</sup>.



Profil 4 –Ehemaliger Güterbahnhof/Gleispark Essen- Frintrop

Lage: Essen Frintrop, Rechts- und Hochwert:25 62 700, 56 06 075 Höhe über NN: :~ 40 m

Relief: große ebene Fläche

Nutzung: Ruderalfläche, Bahnhofsbiotop, Naherholung;

Ausgangsgestein: gebrochene und klassierte Schlacke über Aschen, Schlämmen und Bergematerial des Steinkohlebergbaues

Substrattyp: Flache Schlacken- und Aschenlagen über Bergematerial über tiefer Asche.

Humusform: nicht bestimmbar.

Bodentyp: Partikel Intrusol; schwach pseudovergleyt und verbraunt. WRB: spolic technic Cambisol.

Auf dem Gelände des heutigen Gleispark Frintrop war bis in die 1960er Jahre einer der größten Rangierbahnhöfe des Ruhrgebietes vorhanden. Ange-schlossen an die Köln-Mindener Eisenbahn wur-den über diesen Güterbahnhof Unmengen indus-trieller Produkte transportiert. Heute ist bis auf die ehemaligen Gleisbett-Bereiche nicht mehr viel von der einstigen Betriebsamkeit zu sehen und doch prägen die ehemaligen Industriegüter das Gelände. Neben den Gleisschottern tragen die durch Ladungsverluste entstandenen besonderen Bodenverhältnisse (locker-schotterig, wasser-durchlässig, verdichtet, stauend etc.) zur Ausprä-gung einer bemerkenswerten Vegetationsentwick-lung bei. So kommt abgesehen von der Golddistel (*Carlina vulgaris*) auf den trockenen Gleisschot-tern die Frühe Segge (*Carex praecox*) auf etwas verdichteten Bodenbereichen vor. Offene Berei-che, auf denen Höhere Pflanzen nur spärlich Fuß fassen konnten, werden von Flechten besiedelt, darunter etwa Vertreter der Schildflechten (Gat-tung *Peltigera*) oder der Becher- bzw. Rentier-flechten

(Gattung *Cladonia*). Da sich das Gelände in den offenen Bereichen bei Sonneneinstrahlung stark erwärmt, sind Blauflügelige Ödlandschrecke (*Oe-dipoda caerulescens*) und Blauflügelige Sand-schrecke (*Sphingonotus caerulans*), hier beheimat-et. Der Gleispark Frintrop ist durch Fußwege gut erschlossen und wird von den Bewohnern des Stadtquartiers aber auch darüber hinaus stark fre-quentiert ein schönes Beispiel dafür, dass offene Industriebrachen sowohl Lebensraum für seltene und gefährdete Arten sind, als auch einen Mehr-wert für die hier lebende Bevölkerung bedeuten." Die Bodengesellschaft wie auch die Vegetation wird durch die Bahnanlage strukturiert. Typisch die Schotterlagen unter den Gleisen. Die Schotter werden begrenzt durch Pfade aus Aschen für das Rangierpersonal. Am Übergang zwischen beiden Flächen gedeihen besonders Birken. So entstehen alleearartige, streifenförmige Vegetationsmuster, die sich in großer Zahl aneinander reihen. Das Bodenprofil wurde im nord-westlichen Teil des Güterbahnhofes auf einem Gleis angelegt.

Tabelle 4.1: Bodenansprache

Horizont	Tiefe	Farbe (n. Munsell)	Humus- form	Bo- den-art	Humus- gehalt	Carbo- nat- gehalt	Ge- fü- ge	Verfesti- gungs- grad	Durch- Wurze- lung	Sonstiges
	cm									
<i>1</i>	<i>2</i>		<i>3</i>	<i>11</i>						
B1,1	-2		nb							Schlacken
B1,2	-5									
B1,3	-10	7,5YR1,7/1		Sl2x4	h4	C2	sub1-	1-2	gW2fW4	
B2	-16	10YR1,7/1		Ltsx4	h4	C2	sub2	2	gW2fW4	
BvC1	-22	2,5Y1,7/1		Lt2x4	h4	C2	sub2	2	gW3fW4	Aschen, schwach verwittert
BvC2	-33	7,5YR7/1		Lt2x5	h2	C3	sub2	2	gW1fW2	
Sw1	-44	2,5Y2/1		Tlx5		C0	ein2	2		Bergematerial und Steinkohle unter Stauwassereinfluss
Sw2	-65	2,5Y2/1		Tlx5		C0	ein3/ koh3	3		
Swd	-98	5Y2/1		Ttx4		C1	ein3/ koh3	3		Schwach verdich- tetes Bergematerial
BvC	-110	10Y2/1		Su2x4		C0	ein2	2		Asche

Tabelle 4.2: Korngrößenverteilung, physikalische Kennwerte

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)								d <sub>B</sub>	nat GPV <sup>1)</sup>	nat nFK <sup>1)</sup>	nat LK <sup>1)</sup>
	cm	Mas-%	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU	T	cm · s <sup>-1</sup>	Vol. %		
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>				<i>4</i>		<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
B1,1	-2	70.6	-	-	-	-	-	-	-	-	1,53			
B1,2	-5	80.6	-	-	-	-	-	-	-	-				
B1,3	-10	88.6	30,9	29,5	9,8	5,7	8,6	4,1	6,2	5,2		42,3	8,4	33,9
B2	-16	89.0	27,4	30,6	6,6	3,2	4,2	6,1	9,7	12,0	1,61	39,2	14,5	24,7
BvC1	-22	75.8	20,5	43,2	6,8	2,8	3,1	0,0	3,6	20,0	na			
BvC2	-33	75.9	41,4	17,4	4,9	2,3	1,9	7,7	8,2	16,2	1,53	42,2	16,2	26,0
Sw1	-44	84.6	40,2	22,0	4,9	0,8	0,0	7,8	12,3	12,1	1,49			
Sw2	-65	88.6	47,0	10,7	4,5	2,2	6,6	5,2	9,6	14,3	n.a.	43,9	16,8	27,1
Swd	-98	92.2	-	-	-	-	-	-	-	-	1,73	34,6	18,6	16,0
BvC	-110	46.7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,05	60,6	26,1	34,5

<sup>1)</sup> Berechnet aus den feldfeuchten Proben der Probenahme im Januar; Annahme einer Reindichte von 2,65 g cm<sup>-3</sup>.

Tabelle 4.3: Chemische Kennwerte

Horizont	Carbonat	pH	pH	EC	C <sub>org</sub>	N <sub>org</sub>	S	C <sub>org</sub> /N <sub>org</sub>	P <sub>(DL)</sub>	K <sub>(DL)</sub>
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(CaCl <sub>2</sub> )	mmho/cm	Mas-%	Mas-%	Mas-%		mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>l</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>		<i>29</i>					
B1,1	2,28	6,95	6,49	0,12	8,51	0,26	0,12	32,7	2,9	1,3
B1,2	2,91	7,43	7,01	0,15	12,71	0,33	0,31	38,5	8,17	1,8
B1,3	2,58	7,64	7,26	0,19	7,75	0,20	0,32	38,8	25,2	3,1
B2	6,32	7,62	7,27	0,19	8,51	0,23	0,27	37,0	34,8	3,5
BvC1	4,35	8,02	7,39	0,11	10,82	0,20	0,43	54,1	34,0	2,1
BvC2	1,09	7,00	6,78	0,10	31,72	0,62	0,53	51,2	2,5	2,0
Sw1	1,42	7,03	6,64	0,10	34,27	0,51	0,48	67,2	7,9	2,6
Sw2	0,91	6,84	6,58	0,11	31,26	0,51	0,56	61,3	1,6	2,1
Swd	0,89	6,70	6,44	0,10	30,35	0,51	0,47	59,5	8,5	2,3
BvC	0,46	6,00	5,91	0,14	18,14	0,19	0,00	95,5	7,4	1,5

Tabelle 4.4: Schwermetallgehalte im Königswasseraufschluss

Horizont	Fe	Mn	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni
	g · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>					
<i>l</i>	<i>33</i>	<i>34</i>		<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	
B1,1	141,0	3000	1170	4200	9,73	4510	768
B1,2	77,9	4330	1190	2510	7,53	3770	601
B1,3	132,0	15200	1130	7420	8,39	2560	327
B2	260,0	7070	600	2190	7,45	618	184
BvC1	58,5	3420	291	793	2,95	240	39
BvC2	29,0	188	141	275	1,31	76	19
Sw1	8,8	366	153	238	1,31	84	25
Sw2	38,3	245	21	382	1,51	91	23
Swd	13,1	338	917	516	2,02	110	26
BvC	52,2	4390	9290	7540	14,00	1180	45

#### 4.5 Mülheimer Bodenschätze

Die Mülheimer Bodenschätze umfassen bisher 11 Objekte.

1 – Am Standort Unterbodenwelten I finden Bodenentdecker im Bereich der Mendener Höhen Einblicke in den Ackerboden auf Parabraunerden als Grundlage der menschlichen Ernährung. Eine tüt öffnet den Anblick eines Ackerbodens.

2 – Unterbodenwelten II – der Waldboden bringt dem Bodenentdecker Bodenbestandteile, Nährstoffkreisläufe und Bodenfunktionen näher. Mehrere Türen zeigen die verschiedenen Horizonte eines Waldbodens.

3 – Unterbodenwelten III zeigt die Geschichte der Ruhraue bis zur heutigen Überbauung des Standortes mit Sportplatz und Sporthalle.

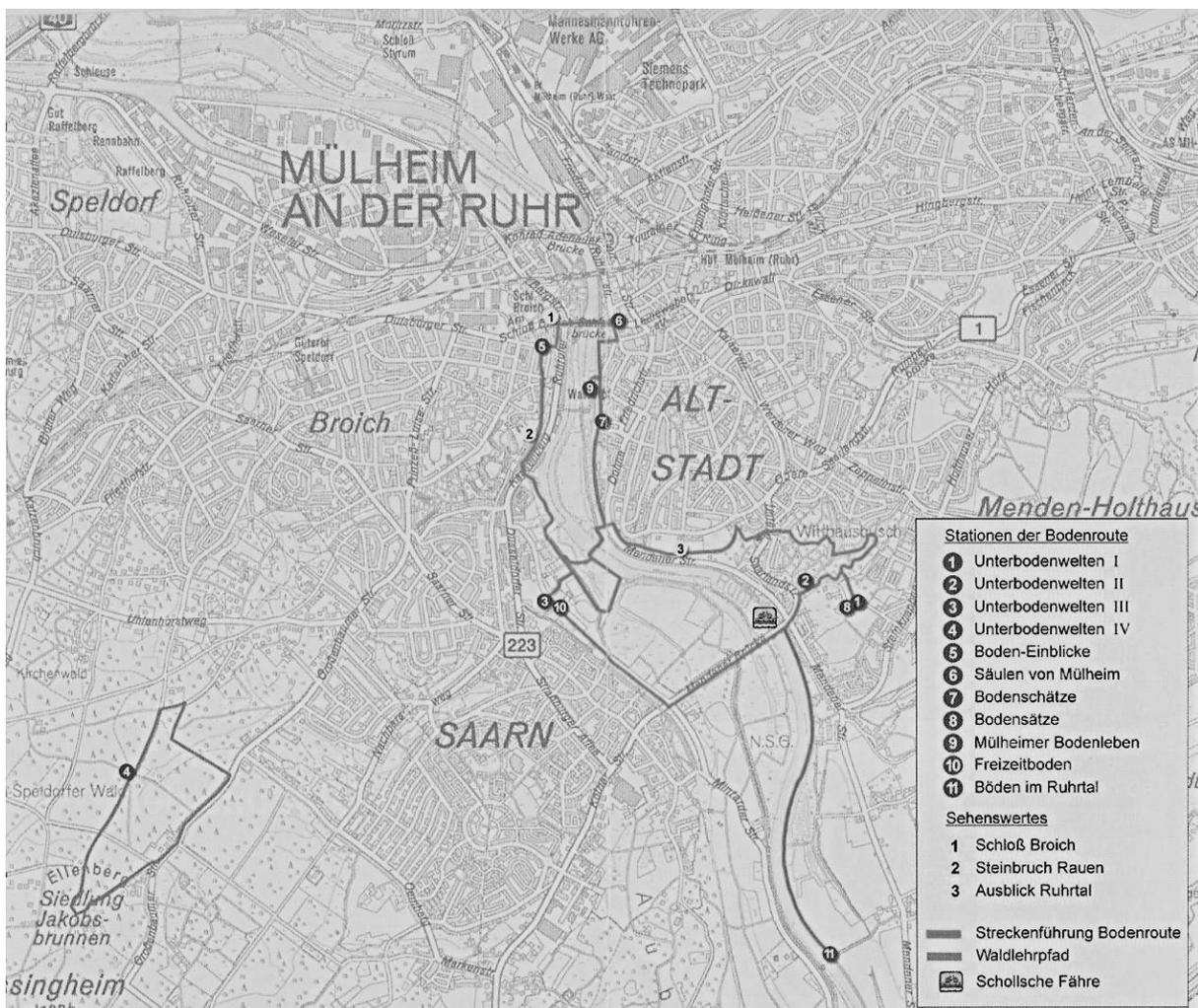
- 4 – Unterbodenwelten IV zeigt den Waldboden und behandelt besonders schutzwürdige Böden.  
 5 – Bodeneinblicke vermitteln eine Vorstellung wie Böden Wasser speichern und Stoffe filtern können.  
 6 – Die Säulen von Mülheim zeigen den Straßenboden und bringen Versiegelung und Bodenverbrauch durch städtische Flächennutzung ins Gespräch  
 7 – Die Bodenschätze: gelegen am Leinpfad der Ruhr nahe dem Wasserbahnhof zeigen die 3 Reichtümer Mülheims: Kohle und Erze, mit denen es besonders Handel getrieben hat, und die sehr fruchtbaren Böden auf Lößlehm.  
 8 – Bodensätze. Hier kann sich der Besucher auf einer Bank ausruhen. Die Station lädt zum Zuhören der ‚Bodensätze – Gedichte über Böden‘ bei einem herrlichem Blick über das Ruhrtal ein.

9 – Mülheimer Bodenleben an der Ruhrschleuseninsel des Mülheimer Wasserbahnhofes zeigt in einer Zeitreise den langen Entwicklungsprozess der Böden in Mülheim anhand eines Ruhrauenbodens auf.

10 – Freizeitboden. Neben dem Standort 3 werden anhand von Lackprofilen

11 – die Station Böden im Ruhrtal informiert über die Entstehung des Ruhrtals, Geologie und Böden Die 11 Stationen sind zu einem 15 km langen Rundweg verbunden, der sowohl zu Fuß als Ganzes oder durch entsprechend Verkehrsanbindung in Teilen begangen oder mit dem Fahrrad besucht werden kann.

Weitere Informationen sind zu finden unter <http://bodenschaezle.muelheim-ruhr.de>



**Karte 3: Mülheimer Bodenschätze**

## 5 Literatur

### **ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT (Vorsitz: W. Burghardt)**

(1997): Empfehlungen des Arbeitskreises Stadtböden der Deutsch. Bodenkdl. Ges. für die bodenkundliche Kartierung urban, gewerblich, industriell und montan überformter Flächen (Stadtböden). 2. Aufl.. Teil 1: Feldführer. Sekretariat büro für bodenbewertung, Rehsenweg 75, 24148 Kiel.

**BLETTGEN, M. & W. BURGHARDT (1997):** Untersuchungen zur Regenwasserversickerung in bestehenden Wohngebieten. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., Bd. 85/III, 1291-1294.

**BURGHARDT, W. (1995):** Zur Gliederung von Stadtböden und ihrer Substrate. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 76, 997-1000

**BURGHARDT, W. (1997):** Skelettgehalte in Böden aus technogenen Substraten. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Ges., Bd. 85/III, 1115-1118.

**BURGHARDT, W. (2001):** Soils of low age as specific features of urban ecosystem. Soil Anthropization VI Proceedings, International Workshop Bratislava 2001, ed. J. Sobocka. Soil Science and Conserv. Reserch Institute, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, Slovakia, 11 – 17.

**BURGHARDT, W. (2001):** Humusgehalte in Stadtböden. Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Bd.96/II, 477-478

**BURGHARDT, W. (2003):** Diskussionspapier bisher bekannter Stadtböden. Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Ges., Bd.99, 3 - 4.

**BURGHARDT, W., B.BÖHM, CH.**

**DORNAUF u. R.RABEARISOA (1998):** Verteilung von Stoffen aus Einträgen in Stadtböden. Bodenschutz 3, 92-97.

**BURGHARDT, W., B. MOHS u. G. WINZIG (HRSG) (1999):** Regenwasserversickerung und Bodenschutz. Fachtagung des Fachausschusses Regenwasserversickerung im Bundesverband Boden e.V.. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 148 S.

**BURGHARDT, W., M.NIGGEMEYER (2002):** Quality of stony soils and their remediation by humus formation – results from the field trial on shales from hard coal mining of Waltrop, Ruhr area. In AL-AWADHI, N.M., TAHA, F.K.: new technologies for soil reclamation and desert greenery. Amherst Scientific Publishers, Amherst, Massachusetts USA, 255 – 268.

**GLA-NRW - (1984):** Bodenkarte von NRW 1:50000, Blatt L 4508 Essen. Geologisches Landesamt NRW, Krefeld.

**HERRMANN, S. (1997):** Eignung anthropogen beeinflusster Waldstandorte im Essener Norden für Ersatzmaßnahmen im Sinne des Landschafts-gesetzes NRW – Ein Bewertungsverfahren aus bodenkundlicher Sicht. Diplomarbeit Fb.9 Bio- u. Geowissenschaften der Universität Essen, 203 S..

**HÖKE, S (2003):** Identifizierung, Herkunft, Mengen und Zusammensetzung von Exstäuben in Böden und Substraten des Ruhrgebiets. Essener Ökologische Schriften, Bd. 20 (2003), 400 S., Westarp-Wissenschaften, 400 S.

**INDUSTRIEWALD NRW (2008):**  
<http://www.industriewald-ruhrgebiet.nrw.de>

**KOMOSSA, M., A. HAGEDORN u.**

**W.BURGHARDT (2002):** Ekranolithe – Böden unter Straßen. Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Ges., Bd.99, 13 - 14.

**KVR – Kommunalverband Ruhrgebiet(1985):** Klimaanalyse der Stadt Essen. KVR, Essen.

**MURL – Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein - Westfalen (1986):** Naturschutz und Landschaftspflege in Nordrhein – Westfalen. Bewertungsgrundlagen für Kompensationsmaßnahmen bei Eingriffen in die Landschaft. MURL, Düsseldorf.

**SCHOLTEN, P., CONZE, D. & W.**

**BURGHARDT (1999):** Gipshaltige Carbonatosole einer Eisenhütten-Schlackenwirtschaft. Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Bd.91/II.

**SCHRAPS, W.G. (1989):** Zur Systematik anthropogener Böden im Ruhrgebiet. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkunl. Gesellschaft 61, 145-148.

**STADT ESSEN (1989):** Wald in Essen. Waldentwicklungsprogramm Essener Norden. Grünflächenamt, Stadt Essen.

**TU-DORTMUND:** IBA revisited - Eine Neubetrachtung der Internationalen Bauausstellung Emscherpark Fachgebiet Städtebau, Stadtgestaltung und Bauleitplanung;  
<http://www.raumplanung.uni-dortmund.de/stb/ibatest/projektstruktur.html>

**WEIS, D. (1964):** Geologische und geographische Grundzüge des Stadtgebietes. In: Illustrierter Wirtschaftsspiegel, Städtebuch Essen. Almanach Verlags-Gesellschaft, Darmstadt, 10-15.

**DBG - Exkursion G6 – Stadtböden im Ruhrgebiet; Nachtrag fürs Download**

Tabelle 1.2 bitte ersetzen durch 1.2 und 1.2f

Tabelle 1.2: Physikalische Kennwerte

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der humusfreien Feinerde)								d <sub>B</sub>	kf	
	cm		Mas-%	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU			T
L	- 0.5	nb	nb									nb	nb
Of	- 3	nb	nb									nb	nb
Oh	- 8	3	nb									nb	nb
Oh-Ah	- 11	28	9,0	28,1	19,7	1,6	16,7	9,6	4,3	10,9	nb	1510	
yC1	- 21	60	8,3	6,8	4,1	2,5	9,5	14,1	21,9	32,8	1,43	3530	
yC2	- 40	52	5,5	5,8	6,2	1,3	8,6	16,6	19,7	36,0	1,41	8610	
yC3	- 44	88	19,2	13,7	5,0	4,2	11,5	12,8	13,4	20,1	1,07	9440	
yC4	- 47	73	nb									4840	
yC5	- 73	67	9,6	5,8	2,6	1,3	5,6	16,2	18,7	40,3	1,59	4880	
yC6	-83	70	6,9	5,7	3,1	2,1	7,2	11,9	21,4	41,8	1,26	nb	
yC7	-100	30	10,7	5,0	2,3	3,2	11,1	18,3	13,5	35,7	1,19	nb	

Tabelle 1.2f: Physikalische und chemische Kennwerte

Horizont	Tiefe	Glühverlust	EC	P <sub>(DL)</sub>	K <sub>(DL)</sub>
	cm				
L	- 0.5	n.b	K.P	42,5	80,9
Of	- 3	n.b	K.P	17,8	44,6
Oh	- 8	30,1	0,260	22,0	13,4
Oh-Ah	- 11	17,9	0,120	19,1	7,4
yC1	- 21	16,9	0,046	6,3	10,5
yC2	- 40	20,1	0,054	7,1	12,7
yC3	- 44	33,9	0,053	9,4	12,1
yC4	- 47	15,5	0,036	1,7	15,9
yC5	- 73	24,9	0,060	2,4	14,9
yC6	-83	23,2	0,071	2,4	13,3
yC7	>100	24,7	0,070	5,8	10,1

Tabelle 2.2 bitte ersetzen durch 2.2 und 2.2f

Tabelle 2.2: Physikalische Kennwerte

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der humusfreien Feinerde)								
	cm		Mas-%	gS	mS	fS	ffS	gU	mU	fU	T
yC1	-2	44,7	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
	-6	69,5	25,3	18,6	7,1	4,1	9,1	11,0	7,3	17,6	

YC2	-11	78,8	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
	-15	80,5	30,3	17,8	6,8	3,3	6,9	11,6	9,1	13,8	
yC3	-30	89,1	35,1	16,7	5,9	3,3	6,6	11,1	12,5	8,8	
	-48	84,4	43,3	18,1	5,2	2,8	6,6	7,0	8,3	8,8	
yC4	-65	94,8	42,9	19,3	5,5	2,6	14,0	0,0	8,2	7,5	
	-78	30,4	40,3	18,2	5,2	2,4	18,8	5,7	5,0	7,4	

Tabelle 2.2f: Physikalische und chemische Bodenkennwerte

Horizont	Tiefe	EC	Salz	Glühverlust	P <sub>(DL)</sub>	K <sub>(DL)</sub>
	cm	mmho/cm	Mas-%	Mas-%	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>2</i>					
yC1	-2	0,102	0,033	28,9	2,8	9,4
	-6	0,173	0,055	20,8	4,4	11,8
YC2	-11	0,138	0,044	27,5	1,8	10,8
	-15	0,330	0,108	18,7	2,0	11,2
yC3	-30	0,294	0,094	21,1	2,5	12,8
	-48	0,205	0,066	21,2	2,5	14,8
yC4	-65	0,200	0,064	17,7	4,3	19,4
	-78	0,082	0,026	71,4	7,9	8,2

Ergänzen:

Tabelle 3.6: Schwermetallgehalte im Königswasseraufschluss

Horizont	Tiefe	Fe	Mn	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Ba	Ca	P
	cm	g · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	g · kg <sup>-1</sup>	g · kg <sup>-1</sup>						
<i>1</i>	<i>33</i>		<i>34</i>		<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>				
Prof.3b(2008)											
	-33	37,7	174	22,5	71	<0,2	16,4	10,3	50	1,87	1,61
	-50	33,1	378	68,6	167	<0,2	64,8	54,8	520	8,14	2,10
Prof.3c(2009)											
Ah	-5	27,0	260	39,0	135	0,39	27,2	18,3	165	3,42	5,13
jyC <sub>1</sub>	-18	26,8	236	32,1	93	0,12	20,7	17,6	173	2,92	1,62
jyC <sub>2</sub>	-32	39,8	394	95,7	188	<0,2	84,8	79,6	602	9,12	2,43
	-42	38,3	378	113,6	242	0,34	87,5	90,3	530	8,32	2,38
	-55	43,0	392	137,7	235	0,62	108,8	109,2	522	9,05	2,90
jyC <sub>3</sub>	-70	40,7	401	120,0	209	0,21	90,8	93,8	524	9,39	2,49
jyC <sub>4</sub>	-95	33,7	376	80,8	200	0,21	69,0	62,5	625	7,02	2,10

## Pedologie und Geoarchäologie im Rheinland

Renate Gerlach<sup>(1)</sup>, Jutta Meurers-Balke<sup>(2)</sup>, Carolin Wygasch<sup>(3)</sup>, Silke Schamuhn<sup>(2)</sup>, Udo Geilenbrügge<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland (LVR-ABR), Bonn, r.gerlach@lvr.de, <sup>(2)</sup>Archäobotanik, Institut für Ur- und Frühgeschichte, Univ. Köln, jutta.meurers@uni-koeln.de, <sup>(3)</sup>Geographisches Institut, RWTH Aachen, carolin.wygasch@geo.rwth.aachen.de

### 1. Einleitung

Das Rheinland umfasst im wesentlichen drei Regionen mit unterschiedlichem Ausgangssubstrat: Die lehmig-sandigen Niederterrassen und Talauenbereiche des Rheins und seiner Nebenflüsse, die weiten lössbedeckten älteren Terrassenflächen in der linksrheinischen Region und die Mittelgebirgsregion mit Nordeifel im Südwesten, Ruhrgebiet und Bergischem Land im Osten, wobei die Randbereiche der letzten beiden noch von Löss bedeckt sind (Abb.1 und 2).

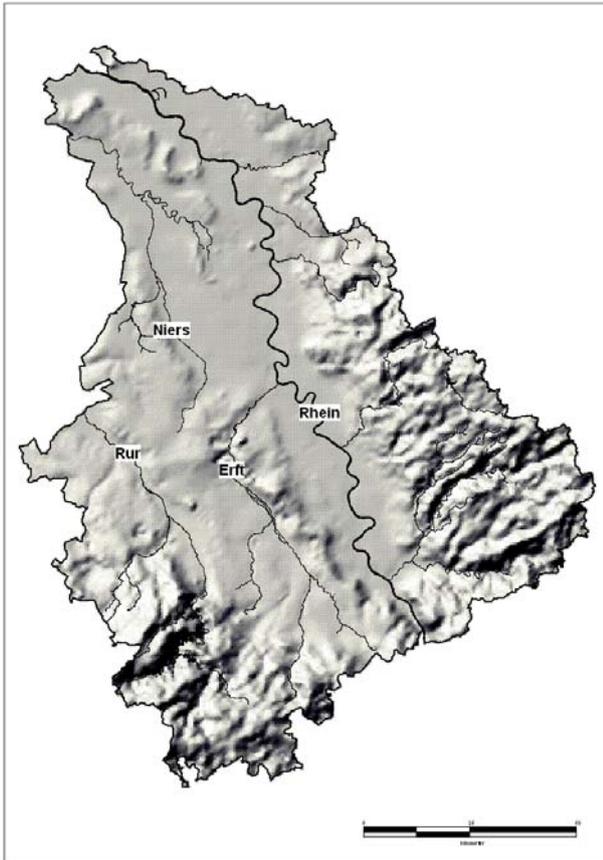


Abb. 1 Höhenmodell des Rheinlandes (LVR-ABR)

Seit mehr als 7.000 Jahren, seit Beginn der Linearbandkeramik um 5.300 v. Chr., siedelt der Mensch im Rheinland und betreibt Ackerbau. Die Region zählt mit ihren Lössböden zu den klassischen Altsiedelgebieten Mitteleuropas – d.h. die längste Zeit im Holozän wurden auch die Böden durch den Menschen verändert, angereichert und degradiert.

Im Rahmen dieser Exkursion werden Standorte und Ausgrabungen aufgesucht, an denen der direkte und indirekte Einfluss des Menschen auf die Bodengenesen erläutert wird. Da im Rheinland pro Woche durchschnittlich 30 Grabungen offen sind, können nicht in allen Fällen die Exkursionspunkte vorab benannt werden. In diesem Exkursionsführer werden die Standorte daher nicht in der Reihenfolge der Fahrtroute, sondern in der Reihenfolge der archäologischen Epochen beschrieben. Die Standorte 1 und 4 werden erst tagesaktuell ausgewählt.

- Standort 1: Neolithikum und „Schwarzerdegenese“
- Standort 2: Eisenzeit und Feuchtböden (Niersaue)
- Standort 3: Geoarchäologie in der Indeau
- Standort 4: Frühe Neuzeit und Bodenstörungen

### 1.1. Anthropogene Bodengenesen seit dem 3. Jahrtausend v. Chr.

Die bäuerliche Besiedlung der Landschaft entfaltet eine enorme geökologische Wirkung. Erste messbare Veränderungen der Geofaktoren Relief, Boden und Gewässer in unseren Breiten sind bereits nach der ersten Besiedlungsphase des Altneolithikums (5.300-4.400 v. Chr.) im Jung- (4.400-3.500), Spät- (3.500-2.800) und Endneolithikum (2.800-2.200 v. Chr.) zu verzeichnen (Abb.2a, 2b).

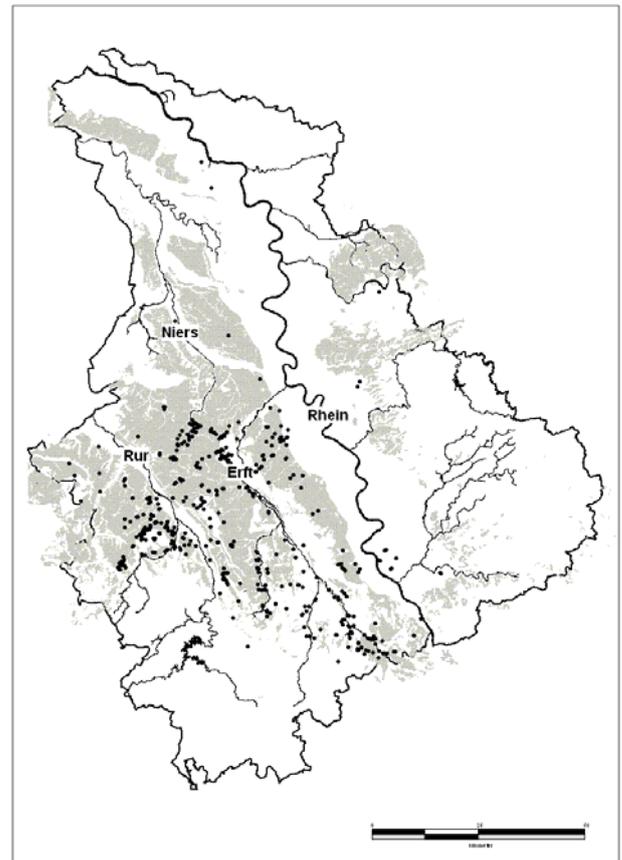


Abb. 2 a) Lössverbreitung (grau) und Fundstellen aus dem Altneolithikum: 5.300-4.400 v. Chr. (Bodenkarte GD NRW, Datenbank des LVR-ABR)

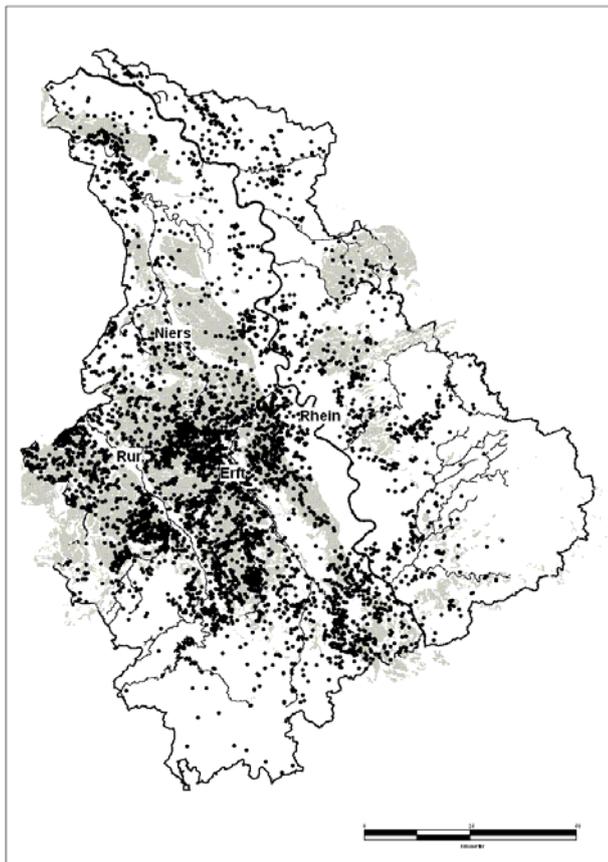


Abb. 2 b) Lössverbreitung (grau) und Fundstellen aus dem Neolithikum gesamt: 5.300-2.200 v. Chr. (Bodenkarte GD NRW, Datenbank des LVR-ABR)

Pflügen mit dem Ard, neue Anbaupflanzen und Intensivierung der Haustierhaltung kennzeichnen die jungneolithische Epoche. Pollenarchive aus dieser Zeit zeigen sowohl für Süddeutschland als auch für Norddeutschland großräumige durch Brandwirtschaft verursachte Landschaftsveränderungen (Rösch 1993, Kalis & Meurers-Balke 1998), die noch bis in das Endneolithikum anhalten. Für das Rheinland belegen die durch Brandrückstände (Black Carbon) dunkel gefärbten „Schwarzerdererelikte“ (s. u.) indirekt ebenfalls häufige Brände (Gerlach et al. 2006). Eine gezielte Brandwirtschaft könnte ein Erklärungsmodell für jene Wirtschaftswälder in den Lössböden des Rheinlands sein, in denen in einem lückigen, lichten Bestand mit hohem Haselbewuchs die Eichen dominierten. Diese „Parklandschaft“ lässt sich archäobotanisch spätestens für den endneolithischen Zeitraum ab 2.800 v. Chr. rekonstruieren (Zimmermann, Meurers-Balke & Kalis 2006) (Abb.3).

Mit der Auflichtung der Landschaft nicht nur auf den Hochflächen, sondern auch am Hang und in den Tälern konnte eine flächig wirksame Kolluviation einsetzen. Erste Kolluvien in den Tiefenlinien der Trockentäler können an die Wende vom Neolithikum zur Bronzezeit um 2.200 v. Chr. datiert werden (Schulz 2006). Überall, nicht nur im Rheinland, wurden nun auch ärmere Böden genutzt, was z. B. auf nährstoffarmen sandigen Ausgangsubstraten, wie in der benachbarten Drenthe-Region (Niederlande), zu einem

irreversiblen Nährstoffentzug und damit zu einer anthropogenen Versauerung (Podsolierung) ehemaliger Braunerden führte (Spek 1996). Es ist davon auszugehen, dass diese anthropogene Podsolierung auch die sandigen Böden des unteren Niederrheins erfasste, die ab dem Jungneolithikum in die Besiedlung (und Bewirtschaftung) einbezogen wurden (Abb. 2b).



Abb. 3 Die rheinische Lösslandschaft im Endneolithikum (2.200-2.800 v. Chr.) (Knörzer et al. 1999)

Das Ende der natürlichen Umwelt und der Beginn der Kulturlandschaft mit ersten Übernutzungsschäden kann daher aufgrund archäobotanischer und geoarchäologischer Ergebnisse bereits sehr früh in das dritte Jahrtausend v. Chr., datiert werden. Fortan ist jede folgende Expansionsphase, wie in der Eisenzeit, der Römerzeit, dem Hoch- und Spätmittelalter und in der Neuzeit, durch eine weitere Intensivierung der Erosionsprozesse im Sedimentarchiv sichtbar.

Schon allein dadurch wurden die Bodeneigenschaften verändert, hinzu kommen Stoffein- und -austräge infolge von Anbau, Ernte und Düngung und die Alterungsprozesse der Böden. In früheren Epochen existierten Vorgängerstadien unserer heutigen Böden, die häufig landwirtschaftlich bessere Eigenschaften aufwiesen. Dort, wo heute z. B. Böden mit negativen Ertragseigenschaften wie Podsolböden (s. o.) kartiert werden, haben urgeschichtliche Bauern wohl noch besser nutzbare, nährstoffreichere Vorgängerstadien angetroffen. Die zunehmende Verbraunung, Verlehmung und Tonverlagerung in den Lössböden kann unter ungünstigen Umständen einen in urgeschichtlicher Zeit noch nutzbaren Standort mit Parabraunerden zu einem pseudovergleyten Standort umkippen lassen.

In der Regel liegen Bilanzen zu Stoffausträgen bei Böden nur im Zusammenhang mit Erosion vor (Bork 1998). Daneben sind aber auch die Stoffausträge durch Ernten und vor allem die Einträge durch Düngungen zu berücksichtigen. Es ist zwar unstrittig, dass ein erntebedingter Nährstoffentzug bereits frühzeitig durch Düngungsmaßnahmen ersetzt werden mussten, nur wann und wie ist bislang weitgehend unklar (McNeill & Winiwarter 2006, Bakels 1997).

## 2. Standorte

### 2.1. Neolithikum und „Schwarzerdegenese“ (aktuelle Grabung)

Seit den 1990er Jahren erlauben lineare Projekte (Gasleitungen, ICE Trasse, etc.) die vermehrte Untersuchung von Befunden außerhalb der eigentlichen Siedlungsstellen im sogenannten off-site Bereich. Befunde, die außerhalb der eigentlichen Siedlungsareale liegen, sind als off-site Befunde dadurch erkennbar, dass sie im archäologischen Sinne völlig fundleer sind, d. h. es fehlen sämtliche Anzeichen eines Siedlungsplatzes wie Keramik, Rotlehmflitter oder Steinartefakte (im Sinne von settlement noise). Die Füllung von off-site Gruben besteht nur aus mehr oder minder humosem Bodenmaterial. Fundleer sind sie aber nur für das Auge, denn tatsächlich birgt das ehemalige Oberbodenmaterial Funde auf molekulaarem Niveau. Nutzland zeichnet sich gegenüber der natürlichen Umgebung fast immer durch eine Anreicherung mit organischen (und anorganischen) Komponenten aus. Organische Markersubstanzen können über die Art der Düngung informieren, denn sie sind im wesentlichen ein Produkt der Dung-, Humus-, Brand- oder Gründüngung und somit auch Indizien für Beackerung, Beweidung oder Brandwirtschaft. Bei der Suche nach spezifischen archäologischen Landnutzungsmarkern hat sich die internationale Forschung in den letzten Jahren auf zwei Stoffgruppen konzentriert: auf pyrogenen Kohlenstoff (verkohlte Pflanzsubstanz) und auf Lipide. Aus Deutschland liegen dazu bislang nur ganz wenige Untersuchungen vor. Eine davon hat sich mit den fossilen „Schwarzerderelikten“ im Rheinland beschäftigt (Gerlach et al. 2006) (Abb.4).

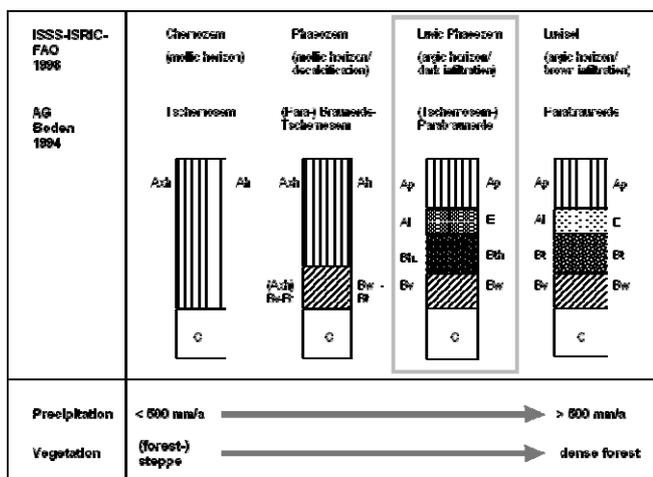


Abb.4 Die „Schwarzerderelikte“ (Luvic Phaeozems) im Rheinland im bodengenethischen Kontext

Erklärt wurden diese „Luvic Phaeozems“ lange Zeit mit einer ehemaligen, natürlich bedingten Verbreitung von Schwarzerden (Chernozems), die sich neo-

lithisch bis nachneolithisch im relativ feuchten Klima des Rheinlandes zu Parabraunerden (Luvisols) wandelten (Schalich 1981). Freilich war das Klima im Rheinland auch in prä-neolithischen Zeiten nie trocken genug (<500mm/a), um eine befriedigende Erklärung für die Bildung dieses an Steppenklimate und -vegetation angepassten Bodentypes abzugeben (Eckmeier et al. 2007).

Aufgrund von Beobachtungen, die in Gasleitungsgräben und auf großen Flächengrabungen gemacht werden konnten, ergaben sich hingegen Hinweise auf eine anthropogene Entstehung (Gerlach et al. 2006). Die Bht-Horizonte waren immer mit Gruben vergesellschaftet; bei Erosion war zwar der Horizont abgetragen, die unteren Partien der Gruben aber häufig noch vorhanden (Abb.6), sie traten unabhängig vom Relief und von Erhaltungsbedingungen auf, waren aber dennoch unregelmäßig verteilt (Abb.5).

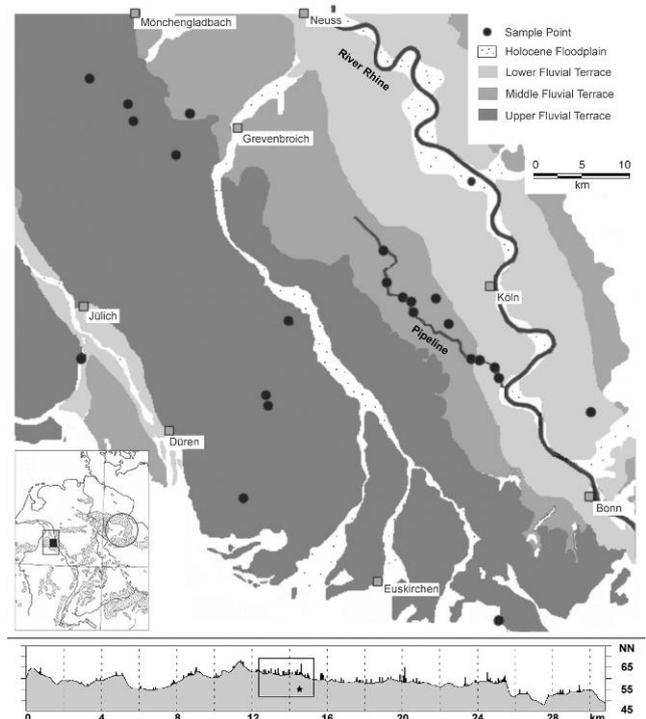


Abb. 5 Oben: Untersuchte „Schwarzerderelikte“ (Luvic Phaeozem). Unten: Verteilung der „Schwarzerderelikte“ auf einer Gastrasse, Höhenprofil. (Gerlach et al. 2006)

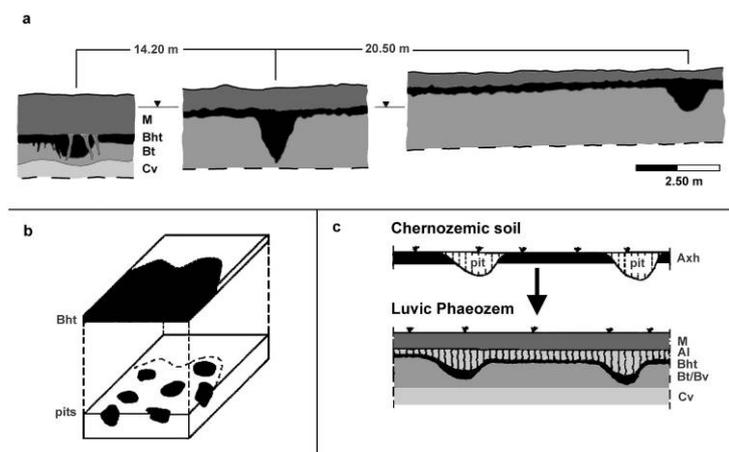


Abb. 6 Bht-Horizonte und Gruben (a und b); Modell der Entstehung (c) (Gerlach et al. 2006)

Dies wurde gestützt durch den organo-geochemischen Nachweis von sub-mikroskopisch kleiner, verkohlter organischer Substanz (pyrogener Kohlenstoff, Black Carbon). Black Carbon ist ein gegen mikrobiellen Abbau sehr resistenter Brandmarker (Schmidt et al. 1999). In den rheinischen „Schwarzerderelikten“ bestand durchschnittlich ein Drittel der organischen Substanz aus Black Carbon (19-46%). Da in unseren durch Laubwälder geprägten gemäßigt feuchten Breiten Brände nur durch den Menschen entfacht werden können, handelt es sich bei den dunklen Bodenresten im Rheinland also nicht wie bisher angenommen um natürliche klimagenetische Böden, sondern um Böden, die durch Brandwirtschaft beeinflusst worden sind. Sie stellen somit Landwirtschaftsrelikte dar. Die AMS-<sup>14</sup>C-Datierungen von sichtbaren Holzkohlestücken und der chemisch isolierten sub-mikroskopischen Black-Carbon-Substanz ergab eine Altershäufung im Jung- und Endneolithikum (Gerlach et al. 2006) (Abb.7).

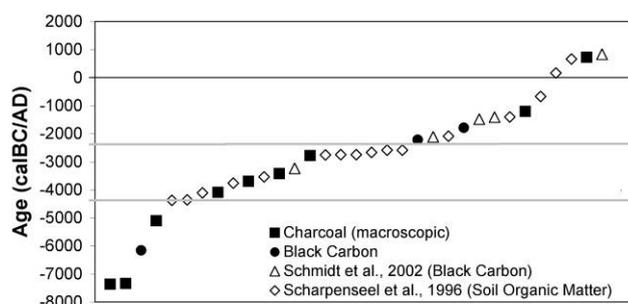


Abb. 7 Radiokarbonalter von mitteleuropäischen Schwarzerden (hell) und rheinischen Schwarzerderelikten (schwarz). Grau umrandet: Jung- bis Endneolithikum (4.400-2.200 v. Chr.). (Gerlach et al. 2006)

Für diesen Zeitraum liegen auch archäobotanische Hinweise auf eine ausgedehnte Brandwirtschaft sowohl in Süd- als auch in Norddeutschland vor (s. o. Rösch 1993, Kalis & Meurers-Balke 1998).

## 2.2. Eisenzeit und Feuchtbodengenese (Niersaue bei Mönchengladbach-Geneicken)

Flüsse verlagerten ihren Lauf und veränderten ihre Eigenschaften. Rodungen veränderten den Grundwasserspiegel und führten zur Entstehung neuer Feuchtbodengebiete. Dies bedeutet aber auch, das Gleye und Niedermoore in urgeschichtlicher Zeit anders verbreitet waren als auf den heutigen Bodenkarten, da sie vielfach erst als Folge der Besiedlung entstanden sind, wie an dem Standort Niersaue bei Mönchengladbach gezeigt werden kann:

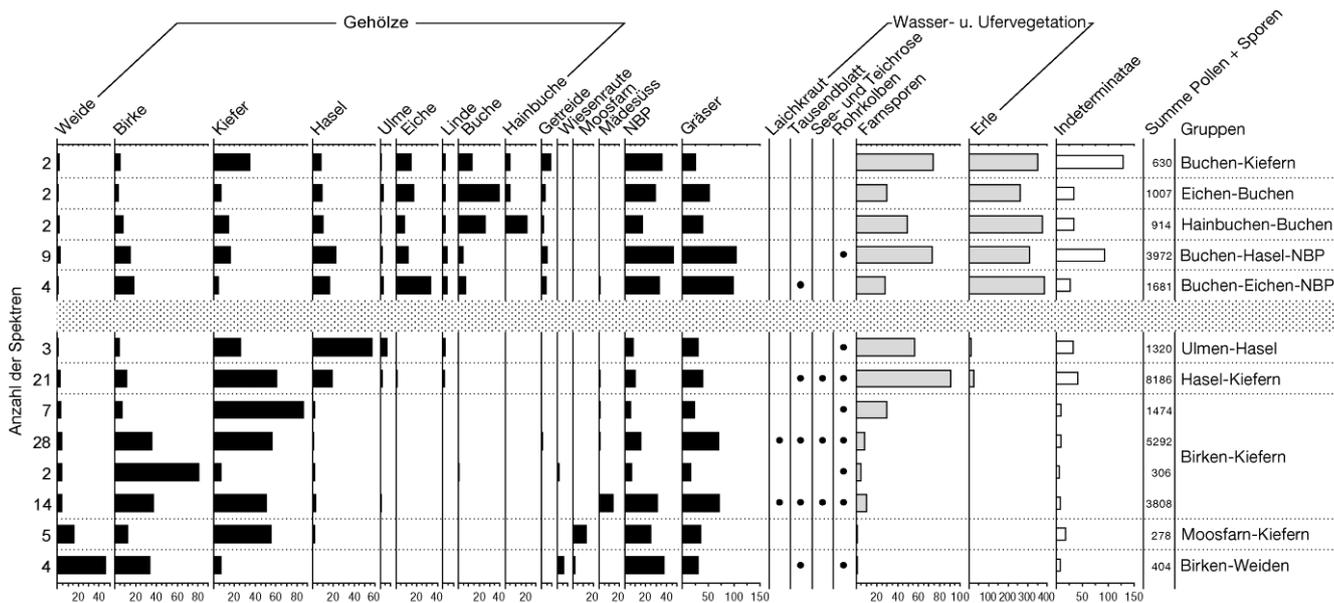
Die Niers ist ein 118 km langer Nebenfluss der Maas, welcher in der Lössregion bei Erkelenz entspringt und unmittelbar hinter der deutsch-niederländischen Grenze bei Gennep in die Maas mündet. Bei Mönchengladbach-Geneicken ist die Niersaue mit Gleyen und Niedermooren rund 700 Meter breit. Seit den 1930er Jahren ist der Verlauf der Niers komplett begradigt und reguliert worden.

Zur Zeit des Mesolithikums (ca. 9.500 - 5.500 BC) – als nach der letzten Kaltzeit die Bewaldung immer dichter wurde – war das flache Nierstal eine wichtige Nord-Süd gerichtete Verkehrs- und Lebensader. Innerhalb der bekannten mesolithischen Plätze längs der oberen Niers im Raum Mönchengladbach ragt der in den 1980er Jahren entdeckte Fundplatz Mönchengladbach-Geneicken insofern heraus, als er nicht nur mit einer Ausdehnung von 30.000 m<sup>2</sup> und bislang gut 2.000 Steinartefakten (u. a. Mikrolithen, Kratzer, Stichel neben einfachen Klingen, Abschlägen, Abspalten sowie Kernen) einer der ausgedehntesten und reichsten Plätze ist, sondern weil er nicht auf einer der trockenen Terrassenkanten am Rande des Tales sondern inmitten der Niederung liegt (Gerlach et al. 1999). Zur Lösung der Frage, ob in unmittelbarer Nähe zu dem mesolithischen Siedlungsplatz auch entsprechend alte Feuchtbodenablagerungen im Untergrund der Niers vorhanden sind, wurden 150 Proben aus 116 Bohrungen pollenanalytisch untersucht. Die ermittelten Pollenspektren lassen sich in zehn Spektrengruppen untergliedern, die in die regionale Waldgeschichte des Rheinlandes eingeordnet werden können (Abb. 8) (Meurers-Balke 1999).

Zusammen mit den Ergebnissen der geoarchäologischen Bohrungen lässt sich eine weit stärker als heute reliefierte Auenlandschaft in der Frühzeit des Holozäns mit wechselnden fließenden und stehenden Gewässern rekonstruieren. Im Zentrum der heutigen Niersaue sind 1-3 Meter mächtige Auenmoorablagerungen aus der Zeit des Spätglazials und des frühen Holozäns, repräsentiert durch die Birken-Weiden-, die Birken-Kiefern- und die Hasel-Kiefern-Spektrengruppen, erhalten. Diese Schichtenfolge entspricht weitgehend der mesolithischen Kulturstufe. Die wasserreiche Zeit zu Beginn des Holozäns endet im Boreal. In den borealen Hasel-Kiefer-Spektren wird die lokale Pollenkomponente von Farnsporen und durch die sich nun etablierende Erle beherrscht. Dies zeigt, dass jetzt recht stabile Verhältnisse vorlagen; die Wasserrinnen waren entsprechend des damaligen Grundwasserstandes weitgehend verlandet, und auf den Gyttyen und Torfen konnte sich nun eine Sumpflvegetation und Erlenbruchwald ausbreiten. Offensichtlich war während des Boreals, des Atlantikums und des Subboreals die Wasserbilanz so ausgeglichen, dass keine weiteren Torfe und Gyttyen gebildet wurden. In der Niersaue herrschten wechselfeuchte, relativ trockene Bedingungen. Zeitweiliges Trockenfallen der bereits im Boreal gebildeten Torfe zeigt der relativ hohe Anteil korrodierter Pollenkörner an (Indeterminatae), bei denen der mikrobielle Abbau der Pollenwände so weit fortgeschritten ist, dass sie keinem bestimmten Pollentyp mehr zugeordnet werden können. Die stabilen Verhältnisse in der Niersaue dauerten etwa 6.000 Jahre. In diesem Zeitraum wurde die jährlich von den Pflanzen produzierte Biomasse direkt durch mikrobiellen Abbau mineralisiert – die Stoffbilanz war also ausgeglichen.

# Mönchengladbach-Geneicken

Spektrengruppen  
ausgewählte Pollentypen



Analysen: I. Closs u. J. Meurers-Balke 1998

Abb. 8: Mönchengladbach-Geneicken: Spektrengruppe ausgewählter Pollentypen (Meurers-Balke 1999)

1. Birken-Weiden-Spektrengruppe (ausgehendes Spätglazial)
2. Moosfarn-Kiefern-Spektrengruppe (Präboreal mit aufgearbeiteten Pollen aus dem Spätglazial)
3. Birken-Kiefern-Spektrengruppe (Präboreal)
4. Hasel-Kiefern-Spektrengruppe (Boreal)
5. Ulmen-Hasel-Spektrengruppe (Jungboreal)
6. Buchen-Eichen-Nichtbaumpollen-Spektrengruppe (frühes Subatlantikum, späte Eisenzeit)
7. Buchen-Hasel-Nichtbaumpollen-Spektrengruppe (Subatlantikum, römische Kaiserzeit)
8. Hainbuchen-Buchen-Spektrengruppe (Subatlantikum, Völkerwanderungszeit)
9. Eichen-Buchen-Spektrengruppe (Subatlantikum, Mittelalter)
10. Buchen-Kiefern-Spektrengruppe (Subatlantikum, ab 19. Jh.)

Erst im frühen Subatlantikum, nach einem langen Hiatus (Abb.8), kam es in der späten Eisenzeit (ca. 200-50 v. Chr., Buchen-Eichen-Nichtbaumpollen-Gruppe) erneut zur Bildung von Auenablagerungen. Es liegt nahe, dies mit menschlichen Aktivitäten in Verbindung zu bringen: Großflächige Rodungen haben zu einem Grundwasseranstieg geführt, denn unter Wald ist die Grundwasserneubildung wesentlich geringer als unter Acker- und Grünland- oder sogar Freiflächen. Die Waldvernichtung führte zu beschleunigter Erosion an den Hängen und damit zur Akkumulation von Auenlehmen in der Aue. Der dadurch gehemmte Wasserabfluss leitete – zusammen mit dem angestiegenen Grundwasser – die Versumpfung der Niersaue ein, wodurch nun wieder Voraussetzungen zur Torfbildung geschaffen waren. Nach den vorliegenden Pollenanalysen dürften die massiven Rodungen in der späten Eisenzeit stattgefunden haben, als Spektren der Buchen-Eichen-Nichtbaumpollen-Gruppe gebildet wurden. In dieser Zeit gab es in der Region so gut wie gar keine naturnahen Wälder mehr; auf den nicht als Acker und Grünland genutzten Flächen befanden sich lichtreiche Restwälder mit Eichen und Birken, also intensiv genutzte Wirtschaftswälder (Meurers-Balke & Kalis

2006). Erst in der bevölkerungsarmen Zeit des frühen Mittelalters - zur Zeit der Völkerwanderungen - kam es zur Wiederbewaldung der schon seit der Eisenzeit geschaffenen Freiflächen und es breiteten sich naturnahe Buchen- und Hainbuchenwälder aus (Hainbuchen-Buchen-Spektrengruppe).

Die mit Hilfe der Geologie und der Pollenanalyse rekonstruierte Geschichte der Niersaue zeigt einen Verlauf, der demjenigen anderer Bachtäler der Niederrheinischen Bucht sehr ähnlich ist: Mächtige Auenablagerungen stammen aus der frühen Nacheiszeit und spätestens im frühen Atlantikum hatte sich ein Gleichgewicht eingestellt, wodurch es zu keinen weiteren Torfbildungen kam. Dieses Gleichgewicht wurde erst durch den wirtschaftenden Menschen und seine großflächigen Waldrodungen gestört, wodurch es vor allem ab der Eisenzeit zu erneuten Auenablagerung und Feuchtbodenbildungen kam. Diese sekundäre Bildung von Feuchtböden hielt mit wechselnder Intensität bis in das 19. und 20. Jahrhundert an. Viele der Feuchtbiopten in unserer Landschaft sind daher kulturbedingte Ökotope.

### 2.3. Geoarchäologie in der Indeaue

Vorgestellt werden Ergebnisse aus dem Projekt „Neue Untersuchungen der holozänen Genese des Unterlaufs der Inde“ im Vorfeld des Tagebau Inden. Das Projekt untersucht schwerpunktmäßig die holozänen Auenablagerungen, die sich grob in Rinnensedimente aus verlandeten Altarmen und mehr oder weniger flächigen Auelehmen, Relikten einzelner Hochfluten, untergliedern lassen. Der Zeitrahmen umfasst den gesamten Zeitraum des Holozäns, vom naturbelassenen Frühholozän bis zur industriellen Nutzung im 19./20. Jh.

Durch die Kombination von archäologischen, sedimentologischen, geochemischen und archäobotanischen Methoden ergeben sich selbst für die ansonsten wenig beachteten jüngsten Sedimente neue Erkenntnisse zur Landschaftsgeschichte, die wiederum Rückschlüsse auf die Beeinflussung des Bodens zulassen. So wurde zwischen der Inde und einem von ihr abgeleiteten sogenannten Mühlenteich ein Profil mit 3,5 m mächtigen Auenablagerungen untersucht (Röpke et al. 2009). Die Sedimentablagerungen gliedern sich in einen unteren schluffigeren Abschnitt mit Verlandungssedimenten und einen oberen, sandigeren Auelehm (Abb. 9).

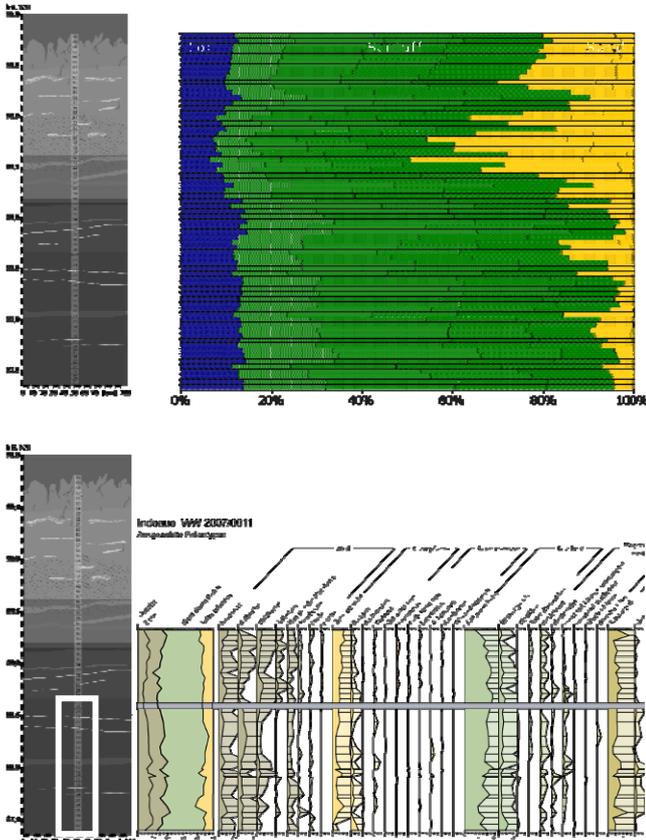


Abb. 9 Profil in der Indeaue  
Oben: Sedimentanalysen  
Unten: Pollenanalyse (Entnahmekasten weiß umrandet)  
(Röpke et al. 2009)

In den Verlandungssedimenten hat sich die lokale Vegetation in Form von pflanzlichen Resten (Früchte und Samen, Pollen) erhalten. Es handelt es sich vor allem um Pflanzen, die auf offenen Wasserflächen anzutreffen sind, wie beispielsweise das Laichkraut, ein typischer Vertreter einer Schwimmblattgesellschaft, wie sie sich auf stehenden oder nur leicht fließenden Gewässern ausbildet. Arten wie das Quirlblütige Tausendblatt und die Seerose lassen auf eine Eutrophierung des Gewässers schließen – eine Folge erhöhten Nährstoffeintrages durch die landwirtschaftliche Nutzung. Zahlreiche Dungsporen, die von den umliegenden Weiden oder auch von mit Mist gedüngten Feldern ins Wasser eingetragen wurden, belegen die Art der Nutzung.

Der hohe Anteil von Gräsern und Kräutern im Pollendiagramm sowie die zahlreichen Pollen von Getreiden – nachgewiesen wurden Weizen, Roggen, Gerste und Hafer – lassen auf das nahezu komplett entwaldete Landschaftsbild schließen, wie es auf den Tranchot Karte von 1805-1807 dokumentiert ist (Abb 10).



Abb. 10 Kartenaufnahme der Rheinlande durch Tranchot und von Müffling 1805-07. Ausschnitt aus dem Blatt Düren. (LVA NRW Historika CD )

In der Aue liegen Wiesen und Weiden, auf den höher gelegenen Lössflächen erstrecken sich Ackerflächen. Pollen des Buchweizens belegen dessen Anbau. Das anspruchslose Knöterichgewächs kann auch auf ärmeren oder ausgelaugten Ackerflächen angebaut werden. Ein deutlicher Hinweis auf eine Erosion, die in vielen Fällen schon den kiesigen Untergrund im Liegenden der Lössdecke erreicht hatte (finale Bodenrosion).

Die Sedimente speichern aber nicht nur Hinweise über die Landnutzung in der näheren Umgebung. In den Auelehmen der unteren Inde kumulieren unterschiedlichste regionale Eintragungen, wie der Pollenniederschlag, Schwermetalle und Holzkohlepartikel

aus Werkstätten und Haushalten. Die Immissionen werden sowohl über die Zuflüsse aus der Eifel und Voreifel als auch äolisch in die Inde und somit in die Auenablagerungen eingebracht. So enthalten alle Proben einen hohen Zink- und Kupfergehalt, der in dieser Höhe den natürlichen Hintergrundwert bei Weitem überschreitet. Als Quelle der Schwermetallbelastung kann die im 16. Jahrhundert im Stolberger Raum aufblühende Messingindustrie ausgemacht werden. Zu dieser Zeit siedelten viele Kupfermeister aus wirtschaftlichen und religiösen Gründen von Aachen nach Stolberg über.

Als weiteres Relikt der Bergbau- und Industriegeschichte am Mittellauf der Inde können die gemessenen Nickel- und Kobaltgehalten gelten. Beide Elemente werden bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe freigesetzt. Auffälligerweise setzen beide erst in den oberen zwei Dritteln der Ablagerungen ein. Im Profil ist somit der Beginn der Steinkohlennutzung fassbar. Reichten vorher die Buchenbestände der näheren Umgebung zur Befeuerung aus, kam es in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu verstärkter Nutzung der Steinkohle. Die Übernutzung des Waldes, insbesondere der Buche als Folge der Holzkohlenherstellung, ist im Pollendiagramm ablesbar. Die vermehrte Nutzung von fossilen Brennstoffen - im Profil gekennzeichnet durch die Ablagerung/ messbaren Gehalte von Nickel und Kobalt - kann mit einem Rückgang der Buchenwerte von zeitweise unter 5 Prozent korreliert werden. Die auffällig niedrigen Baumpollenwerte zeigen an, dass auch in der Eifel der Waldbestand - anders als heute - stark reduziert war. Der massive Raubbau an der Ressource Wald war der stark anwachsenden Bevölkerung sowie der zunehmenden Mechanisierung des beginnenden Industriezeitalters geschuldet. Als Folge des Kahlschlags und der extensiven Beweidung verheideten die ehemals dicht bewaldeten Hänge der Eifel zunehmend.

Erosion an den blanken Hängen und erhöhter Auenlehmeintrag in die Flüsse waren die Folgen für den Boden. Mit dieser (früh-) neuzeitlichen Übernutzung begann die letzte und für viele Bodenprofile „finale“ Phase der Erosionsgeschichte.

#### **2.4. Frühe Neuzeit und Bodenstörungen (aktuelle Grabung)**

Für die Archäologie ist die Unversehrtheit der Oberfläche eine der wichtigsten Quellenfilter. Deshalb ist die Erfassung und Kartierung von Störungen des Bodens auch eine der zentralen Aufgaben der Geoarchäologie im Rahmen der archäologischen Bodendenkmalpflege. Ursprünglich standen dabei vor allem die Probleme von Erosion und Akkumulation im Mittelpunkt. Tatsächlich gibt es aber weit mehr Störungen der Bodenoberfläche als es die bisherigen Kartierungen und bodenkundlichen Aufnahmen vermuten lassen. Nach den Ergebnissen zahlreicher geoarchäologischer Begleitungen von Pipeline-

Baustellen im Rheinland können diese Störungen in erster Linie Materialentnahmen, wie Lehm-, Mergel-, Sand- und Kiesgruben des 19./20. Jahrhundert zugeschrieben werden. In den eher sandigen Bodenlandschaften am unteren Niederrhein kommen noch Erdüngungsmaßnahmen in großem Umfang hinzu. Dadurch wurden nicht nur „gewachsene Bodenprofile“ zerstört sondern auch Boden- und Fundmaterial in großem Umfang verlagert.

#### *Materialentnahmegruben*

Lehm ist als Baumaterial für Fachwerkhäuser von Beginn der Sesshaftigkeit an benutzt worden. Dabei wird der humose Oberboden, der aufgrund seiner Durchwurzelung und organischen Substanz nicht geeignet ist, verworfen und nur das unterliegende Material genutzt. Im bodenkundlichen Sinne sind daher in erster Linie Bv- oder Bt-Horizonte - bei jungholozänem Auenlehm auch das nur initial verwitterte Rohmaterial - betroffen. Während die Lehmentnahme für Fachwerkbauten auf kleine unmittelbar am Bauplatz liegende Flächen beschränkt war, erhöhte sich der Lehmbedarf ab der frühen Neuzeit mit der größeren Verbreitung von Ziegelhäusern deutlich. Waren es zu Beginn des 19. Jh. noch bäuerliche Feldziegeleien, die den Rohstoff in relativ kleinen, dafür aber äußerst zahlreichen Lehmkuhlen gewannen und verarbeiteten, konnte der enorme Bedarf ab der Industrialisierung nur noch mit Hilfe der Ringofenziegeleien (seit 1858) befriedigt werden. Da die Ziegelei bis weit in das 20. Jh. hinein ein Lokalgewerbe blieb, gibt es in allen dicht besiedelten mitteleuropäischen Regionen ausgezielte Landschaften in größerem Umfang (Doege 1997, Momburg 2000).



*Abb. 11 Gasleitungsgraben in der Aue bei Köln: Der ausstreichende Bv-Horizont im Vordergrund zeigt den Abtrag einer Kuppe an. Mit dem Boden wurde die Materialentnahmegrube im Hintergrund verfüllt.  
(Foto: Heike Baumewerd-Schmidt)*

Im durch Löss-, Sand- und Flusslandschaften dominierten Rheinland existierte früher eine Vielzahl solcher ehemaliger Abbaugruben, die heute weder auf topographischen noch auf bodenkundlichen Karten als solche verzeichnet sind. Wenn auch Lehm der Hauptabbauzweck war, wurde auch immer wieder weiteres, unterliegendes Material, wie kalhaltiger Löss (s. Erddüngung) oder Sand und Kies entnommen. Den Äckern, die sich über die früheren Abbaufeldern und Lehmentnahmegruben ausbreiteten, sieht man die Zerstörung vielfach nicht mehr an, da das Loch mit dem verbliebenen Mutterboden und allochthonem Bodenmaterial inkl. verlagerter Artefakte in der Regel rasch wieder verfüllt wurde (Gerlach 2001) (Abb. 12). Derartig angeschüttetes Boden- und Fundmaterial unterscheidet sich auf den ersten Blick und im Bohrstock so gut wie gar nicht von echten Fundplätzen, bzw. von „normalen“ Bodenprofilen.

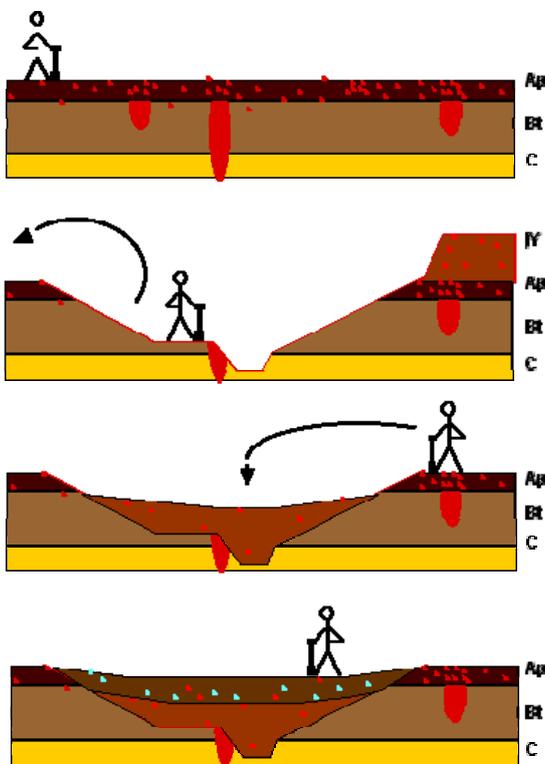


Abb. 12 Schema einer Lehmentnahme und Wiederverfüllung. (Baumewerd-Schmidt & Gerlach 2002)

Mithilfe geomorphologischer Merkmale erschloss sich aber die Möglichkeit, einen Teil der Bodenstörungen kartierbar zu machen (Eckmeier & Gerlach 2002). Der Schlüssel dazu sind abflusslose Hohlformen, die sich bei näheren Untersuchungen in den mitteleuropäischen Löss- und Sandlandschaft überwiegend als unzureichend verfüllte bäuerliche Lehm-, Mergel- oder Sandgruben erwiesen haben (Gerlach 2001, Gillijns et al. 2005). Früher wurden sie als Totteislöcher und Pingos (Sölle) gedeutet. Aber selbst in den Grundmoränenlandschaften belegten historische Recherchen und bodenkundliche Untersuchungen, dass rund die Hälfte der „Sölle“ auf anthropogene

Materialentnahme zurückgeht („Kultursölle“) (Klafs et al. 1973).

Am deutlichsten und vollständigsten lassen sich die abflusslosen Hohlformen mithilfe der GIS-Auswertung eines engmaschigen Gitters von Höhen- und Geländedaten erfassen (Digitale Geländemodelle, DGM) (Gerlach et al. 2008). Dort wo weder Luftbild noch Bodenkarte nennenswerten Störungen in der ländlichen Landschaft erkennen lassen, zeigt ein DGM eine durchlöcherichte Oberfläche (Abb. 13).



Abb 13 Lösslandschaft bei Baesweiler (DGK 1:5.000)  
Oben: Luftbild (LVR NRW)  
Mitte: Digitale Bodenkarte (GD NRW)  
Unten: Digitales Geländemodell (DGM 50)

Die historische Dimension wird durch die Hinzuziehung alter Kartenstände, Luftbilder und Archivdaten ergänzt. Die mit Hilfe dieser Reliefmerkmale ermit-

telbaren Bodenstörungen stellen nur einen Teil der tatsächlich vorhandenen dar. In einer durchaus typischen mitteleuropäischen Flachlandregion wie dem Rheinland werden inzwischen auf gut einem Viertel aller archäologischen Grabungen im ländlichen Raum solche Störungen dokumentiert, von denen aber nur 20 % zuvor im Relief erkennbar waren.

Allein die erkennbaren - und damit die in der Materialentnahmegruben-Datenbank (MatDat) des LVR-ABR kartierbaren - Merkmale machen mehr als 5% der Fläche des Rheinlandes aus (Eckmeier & Gerlach 2002) (Abb. 14).

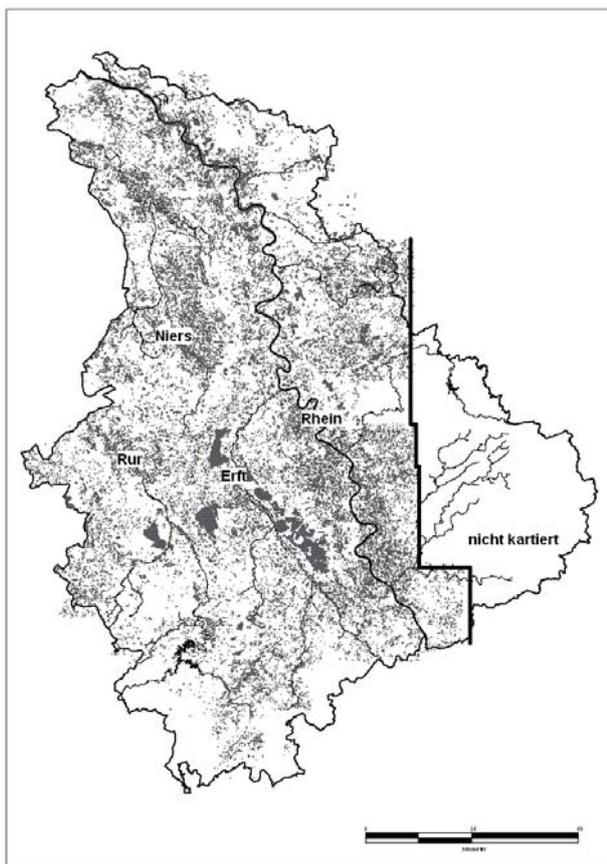


Abb. 14 Materialentnahmegruben im Rheinland. (Datenbank MatDat, LVR-ABR)

### Bodenauftrag durch Erddüngung

Bodenaufträge zum Zwecke der Düngung sind ein weiterer Aspekt beim Thema Bodenstörungen. Die Mergeldüngung ist dafür das bekannteste Beispiel und über antiken Quellen seit mehr als 2 Jahrtausenden belegt (Winiwarter 2006). Diese antiken Vorbilder fanden aber in nachrömischer Zeit in unseren mitteleuropäischen Breiten kaum eine Nachfolge. Dies änderte sich erst mit der frühen Neuzeit und dem Aufkommen eines rationalen, aufgeklärten Landbaus ab dem 18./19.Jh.. Nun berichten historische Quellen über eine Vielzahl von Versuchen, mit Bodenaufträgen, die mit Dung, Pflanzenresten oder Asche versetzt worden sind, die Produktivität zu erhöhen. Diese Erddüngung führte aber nicht unbedingt zu Merkmalen, die eindeutig als Plaggenesche interpretiert werden können.

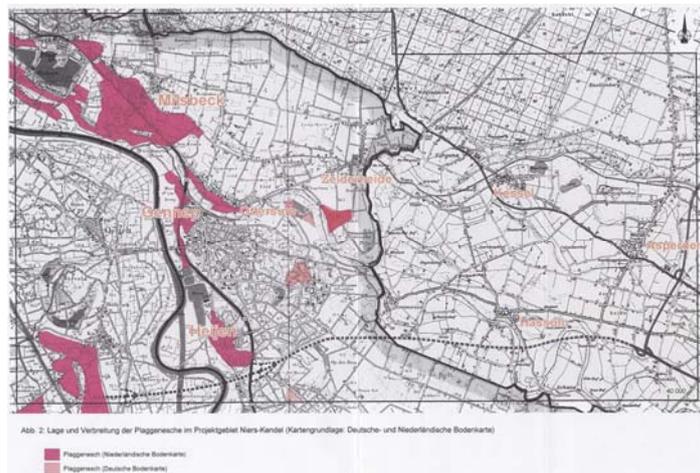


Abb. 15 Plaggenesche im deutsch-niederländischen Grenzgebiet (Kopecky 1998)

Ein Vergleich der deutschen und der niederländischen Bodenkarte im Grenzgebiet bei Gennep erbrachte signifikante Unterschiede. Während auf der niederländischen Seite Plaggenesche kartiert waren, verzeichnete die deutsche Bodenkarte bei gleicher Naturraumausstattung keinerlei Plaggenesche-Böden (Kopecky 1998) (Abb. 15).

Andererseits ist aber eine rege Praxis der „Erddüngung“ gerade auf den Böden im nördlichen Rheinland belegt. Albert Steeger schreibt 1939: „Am Niederrhein gab es vor Jahrzehnten in sandigen Gegenden und bei kleinen Bauern auch neben der Plaggenstreu eine reine Sandstreu in den Ställen, das Ergebnis ist in allen angeführten Fällen dasselbe; durch Auffahren der mit flüssigem oder festem Dünger vermischten Erde auf dem Acker entsteht ein ein gleichmäßig grauer bis grauschwarzer...Boden.“

Er bemerkt aber auch: „Soweit ich sehe, sind bisher solche durch Erddüngung entstandenen künstlichen Ackerböden vom Niederrhein noch nicht beschrieben worden.....Wahrscheinlich sind sie in den sandigen Gebieten des nördlichen Niederrheins weiter verbreitet, bisher aber übersehen worden.“

Der Bodenkundler Hans Mertens (1961) bestätigt die – gegenüber den Bodenkarten - größere Verbreitung von Erddüngungsböden am Niederrhein. Er führt tiefhumose Böden als mögliche Plaggenesche im weiteren Sinne an.

Auf den digitalen Bodenkarten des Geologischen Dienstes sind – anders als auf den analogen Karten - Braunerden mit tiefhumosen Horizont gesondert als „Humusbraunerden“ ausgeschieden worden. Solche Humusbraunerden oder Umbrisole sind aber einem kühl-feuchtem Klima, welches dem Klima des Niederrheins nicht entspricht, zugeordnet. Da klimagene Ursachen ausfallen, liegt es nahe den Menschen als Verursacher anzunehmen, wie es bereits Steeger (1939) und Mertens (1961) vorschlugen.

Profilaufnahmen bei archäologischen Grabungen in denen regelmäßig bei diesem Bodentyp ein fossiler Ap im Liegenden des rezenten Ap angetroffen wurde, bestätigen dies (Abb. 16).



Abb. 16 Grabung Weeze-Vorselaer. Rezenter Ap über fossilem Ap mit Scherven (Markierungen)  
(Foto: Renate Gerlach)

Von dem Bodentyp „Humusbraunerde“ ist nahezu ausschließlich der nördliche, lössfreie Teil des Rheinlandes betroffen, der mit dem Regierungsbezirk Düsseldorf identisch ist. Plaggenesche nehmen im RB Düsseldorf 2%, Humusbraunerden 8% der Fläche ein (Abb. 17). Mit ihnen erhöht sich der Flächenanteil der anthropogenen Düngungs-Böden auf insgesamt 12 %.

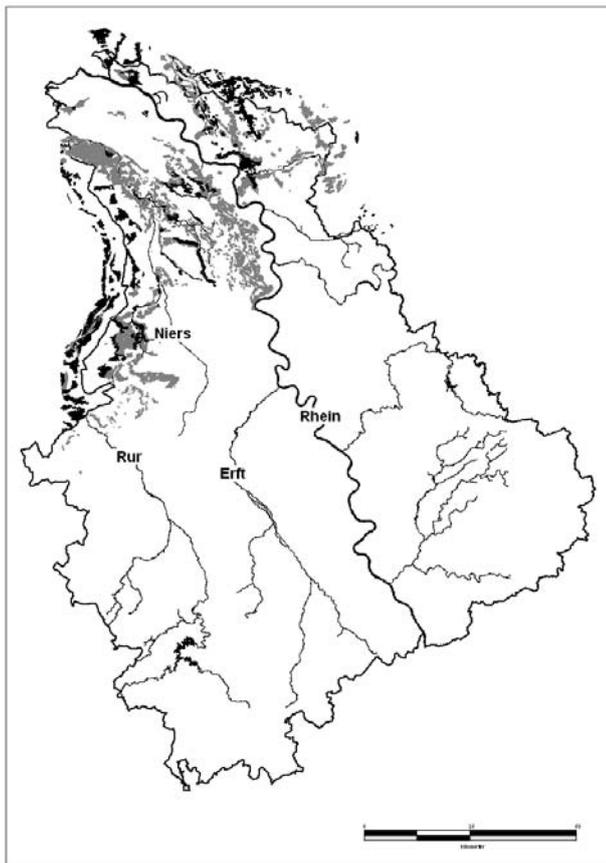


Abb. 17 Verbreitung von Plaggeneschen (dunkelgrau) und „Humusbraunerden“ (hellgrau) im Rheinland. (Digitale Bodenkarte GD NRW)

Aber selbst in den Lösslandschaften sind Erddüngungen, die weit über eine Mergeldüngung hinausgingen, noch bis vor kurzem üblich gewesen. Sie werden in den Bodenkarten teilweise als umgelagerte Böden ausgewiesen. So schreibt Schalich (1968) in den Erläuterungen zur BK25, Blatt Düren, über eine Fläche an der Rur bei Schophoven:

*„Durch einen geringmächtigen Lößlehmauftrag <0,3m> können die Bodeneigenschaften der trocken-empfindlichen sandig-kiesigen Auenböden beiderseits der Rur wesentlich verbessert werden.“*

Fazit: Es ist davon auszugehen, dass der Anteil der anthropogenen Böden mit Anreicherung durch Fremdbodenmaterial (Erddüngungsböden, oder Plaggenböden) weit höher ist, als es die Bodenkarten abbilden können.

### Literatur

Bakels, C.C. (1997): The beginnings of manuring in Western Europe. *Antiquity* 71: 442-445.

Baumewerd-Schmidt, H., Gerlach, R., (2002): Die ausgeziegelte Landschaft. Ausmaß, Folgen und Konsequenzen.- *Archäologie im Rheinland 2001*: 149-152; Stuttgart.

Bork, H.-R., Bork H. & Dalchow, C., Faust, B., Pierr, H.-P., Schatz, T. (1998) Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften.- Gotha, Stuttgart (Klett-Perthes).

Doerge, C (1997) Bauhandwerker und Ziegler im Rheinland. Rheinland Verlag, Köln.

Eckmeier, E., Gerlach, R. (2002): Achtung: Löcher in der Landschaft. Die Materialentnahmegruben-Datenbank.- *Archäologie im Rheinland 2001*: 152-154; Stuttgart.

Eckmeier, E., Gerlach, R., Gehrt, E. & M.W.I. Schmidt (2007): Pedogenesis of Chernozems in Central Europe - a review. *Geoderma* 139: 288-299.

Eckmeier, E., Gerlach, R., Tegtmeier, U. & Schmidt, M.W.I. (2008): Charred organic matter and phosphorus in black soils in the Lower Rhine Basin (Northwest Germany) indicate prehistoric agricultural burning. In: Fiorentino, G. & Magri, D. (Editors): *Charcoals from the Past: Cultural and Palaeoenvironmental Implications. British Archaeological Reports International Series 1807*: 93-103.

Gerlach, R., Heinen, M., Kopecky, B., Vollmer-König, M. (1999): Eine Herausforderung: der mesolithische Fundplatz Geneicken.- *Archäologie im Rheinland 1998*: 35-39; Köln, Bonn

Gerlach, R., (2001): Keinesfalls Ausnahmen. Materialentnahmegruben als Befunderstörer.- *Archäologische Informationen*, 29-38; Bonn.

Gerlach, R. (2006): Holozän: Die Umgestaltung der Landschaft durch den Menschen seit dem Neolithikum. In: Kunow J. & H. Wegner (Hrsg.), *Urgeschichte im Rheinland*, Köln (Verlag des Rheinischen Vereins für Denkmalpflege und Landschaftsschutz): 87-98.

- Gerlach, R., Baumewerd-Schmidt, H., van den Borg, K., Eckmeier, E. & M.W.I. Schmidt (2006): Prehistoric alteration of soil in the Lower Rhine Basin, Northwest Germany – archaeological, <sup>14</sup>C and geochemical evidence. *Geoderma* 136 (1-2): 38-50.
- Gerlach, R., Herzog, I., von Koblenz, J. (2008): Visualizing DEM: The Significance of Modern Landscape Modification in the distribution of Archaeological Finds.- BAR (British Archaeological Reports, International Series, 1805:66-71).
- Gillijns K, Poesen J, Deckers J (2005) On the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe - a case study from central Belgium. *Catena* 60: 43-58
- Kalis, A.J. and Meurers-Balke, J. (1998): Die „Landnam“-Modelle von Iversen und Troels-Smith zur Neolithisierung des westlichen Ostseegebietes - ein Versuch ihrer Aktualisierung. *Prähistorische Zeitschrift*, 73: 1-24.
- Klafs G, Jeschke L, Schmidt H (1973) Genese und Systematik wasserführender Ackerhohlformen in den Nordbezirken der DDR. *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch.* 13: 287-302
- Knörzer, K.H., Gerlach, R., Meurers-Balke, J., Kalis, A.J., Tegmeier, U., Becker, W.D., Jürgens, A. (1999): PflanzenSpuren. Archäobotanik im Rheinland: Agrarlandschaft und Nutzpflanzen im Wandel der Zeiten.- Materialien zur Bodendenkmalpflege im Rheinland, Heft 10: 185 S.; Köln, Bonn.
- Kopecky, B. (1998): Verbreitung der Plaggenesche und deren historische Bedeutung für die Kulturlandschaftsentwicklung der „Niers-Kendel-Region, unver. Gutachten LVR-ABR
- McNeill, J.R. & V. Winiwarter (2006): *Soils and Societies*. The White Horse Press (Isle of Harris, UK).
- Mertens, H. (1961) *Plaggenböden am Niederrhein*. -Westf. Forsch.14.
- Meurers-Balke, J. (1999): Die Pollenanalyse als Instrument zur Datierung von Auenablagerungen.- *Archäologie im Rheinland* 1998, S. 145-149; Bonn.
- Meurers-Balke, J. & A.J. Kalis (2006): Landwirtschaft und Landnutzung in der Bronze- und Eisenzeit. In: J. Kunow & H.-H. Wegner (Hrsg.), *Urgeschichte im Rheinland*, Köln: 267-276. )
- Momburg, R 2000: Ziegeleien überall. Die Entwicklung des Ziegeleiwesens im Mindener Lübbecke Land. *Mindener Beiträge*, Bd. 28
- Röpke, A., Kropp, R., Schamuhn, S., Wygasch, C. (2009, im Druck): Ein Altarm der Inde als Spiegel der Umwelt des späten Mittelalters und der frühen Neuzeit.- *Archäologie im Rheinland* 2008, Stuttgart.
- Rösch, M. (1993): Prehistoric land use as recorded in a lake-shore core at Lake Constance. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2: 213-232.
- Schalich, J. (1981): Boden- und Landschaftsgeschichte in der westlichen Niederrheinischen Bucht. - *Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf.*, 29: 505-518, 7 Abb., 1 Tab.; Krefeld.
- Scharpenseel, H.W., Pietig, F., Schiffmann, H. and Becker-Heidmann, P., 1996. Radiocarbon dating of soils: Database contribution by Bonn and Hamburg. *Radiocarbon*, 38: 277-293.
- Schmidt, M.W.I., Skjemstad, J.O., Gehrt, E. and Kögel-Knabner, I.(1999): Charred organic carbon in German chernozemic soils. *European Journal of Soil Science*, 50(2): 351-365.
- Schmidt, M.W.I., Skjemstad, J.O. and Jäger, C., 2002. Carbon isotope geochemistry and nanomorphology of soil black carbon: Black chernozemic soils in central Europe originate from ancient biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4): art. no.-1123.
- Schulz, W. (2006) *Die Kolluvien der westlichen Kölner Bucht. Gliederung, Entstehungszeit und geomorphologische Bedeutung*. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Universität zu Köln: 226 S.
- Spek, T. (1996): Die bodenkundliche und landschaftliche Lage von Siedlungen, Äckern und Gräberfeldern in Drenthe (nördliche Niederlande).- *Siedlungsforschung. Archäologie-Geschichte-Geographie*.- Bd.14: 95-193; Bonn.
- Steeper, A. (1939): Auf den Spuren frühgeschichtlichen Ackerbaues in Gellep.- *Die Heimat*, 17: 259-270.
- Winiwarter, V. (2006): Prolegomena to a history of soil knowledge in Europe. In: McNeill, J.R. and V. Winiwarter (eds.): *Soils and societies – perspectives from environmental history*. The White Horse Press (Isle of Harris, UK), pp. 177-215
- Zimmermann, A., Meurers-Balke, J. & A.J. Kalis (2006): Das Neolithikum. In: J. Kunow & H.-H. Wegener (Hrsg.), *Urgeschichte im Rheinland* (Köln): 159-202.

#### **Abbildungsnachweis:**

Wenn nicht anders angegeben wurden die Abbildungen von Reiner Lubberich, LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland (LVR-ABR) erstellt.

## Exkursion G8

**Fe- und C-Dynamik von Böden im Bereich aktiver Mofetten in der Vulkaneifel**Stefan Pätzold<sup>1</sup>

Exkursionsroute: Bonn - Ahrtal - Adenau - Nürburgring - Kelberg - Rengen - Mayen - Mendig - Bonn

**Ziel der Exkursion** ist es, den Einfluss oberflächennaher postvulkanischer CO<sub>2</sub>-Ausgasungen auf pedogene Prozesse in Reduktosolen zu demonstrieren. Neben der C- und Fe-Dynamik können auch die Böden aus „Graulehm“ (Genese, Nutzung, ...) am Beispiel der CO<sub>2</sub>-unbeeinflussten Referenzprofile diskutiert werden. Die gezeigten Profile wurden am 10. Mai 2007 dem AK Bodensystematik der DBG vorgestellt.

**Exkursionsraum**

Die vorgestellten Bodenprofile befinden sich alle auf dem Gelände der ehem. Lehr- und Versuchsstation Rengen der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn in Daun (Eifel, Rheinisches Schiefergebirge). Der jetzt in Privatbesitz befindliche Betrieb erstreckt sich von 405 bis 507 m Höhenlage, die nahegelegenen Erhebungen erreichen 620 m. Der mittl. Jahresniederschlag (1951-2000) beträgt 798 mm (Extreme: 509-1086 mm); die mittl. Jahrestemperatur erreicht 7.4 °C (ANONYM 2001). Die für die Höhenlage relativ geringen Niederschläge werden mit der Regenschattenwirkung des 60 km NW gelegenen Hohen Venns (Botrange (B): 694 m NN; ca. 1400 mm Niederschlag) in Verbindung gebracht.

Derzeit wird zum „Lückenschluss“ die Autobahn A1 von Trier-(Dreieck Vulkaneifel)-(Blankenheim)-Köln über die Betriebsflächen (Höhenzug der „Struth“) gebaut. Sofern der Baufortschritt es ermöglicht, wird am Exkursionstag ein Zwischenstopp an einem großen geologischen Aufschluss bei der geplanten Anschlussstelle Kelberg eingelegt.

**Geologie und bodenbildende Substrate**

Die GÜK300 Rheinland-Pfalz weist für Rengen Wechsellagerungen aus Ton-, Silt- und Sandstein in grauer klastischer Fazies (Unterems, Unterdevon) aus, in der nächsten Umgebung auch teilweise rote Klerf-Schichten des Unterems. Als bodenbildende Substrate treten in Rengen überwiegend die für die Eifel typischen „Graulehme“ sowie (Lokal-)Löß auf (KERPEN 1960, SCHRÖDER 1983). Der Begriff „Graulehm“ charakterisiert dabei nicht die Körnung, sondern dient der Abgrenzung zu den „Erden“ i. S. KUBIENAS; nicht primär der Tongehalt von ca. 30-40%, sondern der hohe Anteil an Fließplasma führt zu der außergewöhnlichen Plastizität und der daraus folgenden Gefügeproblematik der Böden aus „Graulehm“ (MÜCKENHAUSEN 1979). MÜCKENHAUSEN (1958, 1979) interpretierte die Böden aus „Graulehm“, die er als „Grauplastosole“ bezeichnete, als Relikte tertiärer Böden bzw. ihrer Umlagerungsprodukte. Nach Untersuchungen von FELIX-HENNINGSSEN (1990) repräsentieren die „Graulehme“ aber nicht den Boden, sondern den Saprolit der mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecke (MTV). Dieser war durch intensive Tiefenverwitterung zu einem grabbaren Substrat mit Gesteinsstruktur geworden. Primärer Chlorit wurde zu unterschiedlichen Anteilen kaolinisiert; daneben treten weitere Mineralneubildungen auf. Nach Abtrag von Teilen der Verwitterungsdecke an die Oberfläche gelangt, wurde die Saprolitstruktur eiszeitlich durch Frostwechsel zerstört, von Solifluktuationsprozessen erfasst und – z.T. mit Lößbeimengung - zu periglaziären Lagen überprägt. An dem optionalen Zwischenstopp bei der BAB-Baustelle kann die Saprolitisierung und die Lagenbildung sehr gut nachvollzogen werden.

Die Basislage ist in Rengen - wie in weiten Teilen des Rheinischen Schiefergebirges (SAUER & FELIX-HENNINGSSEN 2006) - aus solifluidal umgelagerten mesozoisch-tertiären Verwitterungsprodukten der devonischen Sand-, Schluff- und Tonsteine entstanden. Die Skelettbestandteile der lößfreien Basislage sind zumindest basal meist eingeregelt. Wo eine Mittellage ausgebildet ist, enthält sie Material der Basislage mit einer äolischen Komponente; die Mittellage kann ebenfalls skelettreich sein, lagert meist dicht und wirkt dann als Wasserstauer. Die Hauptlage der Rengener Böden enthält Minerale des Laacher See-Ausbruchs (KERPEN

<sup>1</sup> Dr. Stefan Pätzold, Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Bereich Bodenwissenschaften, Nussallee 13, 53115 Bonn; Email: s.patzold@uni-bonn.de

1960, TEICHNER 2002). Die nur wenige Dezimeter mächtige Hauptlage war in Anbetracht der geographischen Lage vielleicht bereits primär kalkfrei; zumindest ist sie heute, ebenso wie die tiefgründigen (bis > 2 m mächtigen) Kolluvien, vollständig entkalkt (PÄTZOLD & TEICHNER 2009). Bei keiner der bisherigen Kartierungen wurde in Rengen kalkhaltiges Material gefunden (KERPEN 1960 und unveröff. Ergebnisse des INRES –Bodenwissenschaften).

### Vulkanismus

Rengen liegt im Westeifel-Vulkanfeld, das viele tertiäre und quartäre Vulkane umfasst. Es befindet sich über einem Mantelplume und gilt als nicht erloschen (SCHMINCKE 2007). Das Ulmener Maar, der jüngste deutsche Vulkan mit einem Alter von 9560 Radiokarbonjahren BP bzw. 8950 korrigierten Warvenjahren BC (ZOLITSCHKA et al. 1995), liegt 10.1 km ESE der gezeigten Bodenprofile. Infolge des Vulkanismus gibt es in der Westeifel gasförmige CO<sub>2</sub>-Austritte (s.u.) und eine Vielzahl von Mineralquellen (MAY 2002).

Absteigendes Grundwasser wird im Rheinischen Schiefergebirge vielerorts mit CO<sub>2</sub> magmatischer Herkunft angereichert. Die so entstehenden kohlenstoffhaltigen Wässer werden in vielen Mineralbrunnen gefördert und verkauft. Mit CO<sub>2</sub> angereicherte Wässer sind spezifisch leichter und steigen daher auf. Neben mesozoisch-tertiärer Verwitterung unter subtropischen Bedingungen können daher entlang der Aufstiegswege azendente hydrogencarbonathaltige Wässer zu Mineralneubildungen in der Verwitterungsdecke führen (SPIES 1986). Oberflächennah lassen sich Saproplit- und CO<sub>2</sub>-Zersatzmaterial aber weder optisch noch mineralogisch unterscheiden (SPIES & FELIX-HENNINGSSEN 1985).

Die gesamte postvulkanische CO<sub>2</sub>-Emission in der Eifel wird auf ca. 1 Mio t a<sup>-1</sup> geschätzt (PUCHELT 1983). Der Gasfluss der Mineralquellen mit freiem Gas in der Umgebung von Rengen wird auf ca. 1\*10<sup>-5</sup> mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> geschätzt; der Geysir-ähnliche „Brubbel“ in Wallenborn (13 km SW) zeigt den höchsten Gasfluss der Westeifel mit ca. 5\*10<sup>-5</sup> mmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> oder 11.3 m<sup>3</sup> pro Ausbruch (MAY 2002).

### Allgemeine Bodenverhältnisse

Die Böden der Lehr- und Versuchsstation Rengen wurden von KERPEN (1960) unter der Betreuung von E. KLAPP (dam. Institut für

Pflanzenbau) und E. MÜCKENHAUSEN (dam. Institut für Bodenkunde) beschrieben und kartiert. Vorherrschende Bodentypen sind Pseudogleye unterschiedlicher Ausprägung, die mit Braunerden und Rankern vergesellschaftet sind. Die von KERPEN (1960) z. T. kartierten „Grauplastosole“ entsprechen nach der heutigen Klassifikation Pseudogleyen, z.T. auch Stagnogleyen. Kolluvien treten – wenn auch von KERPEN nicht ausgewiesen – gleichfalls auf und konnten in die Römerzeit und das Mittelalter datiert werden (PÄTZOLD & TEICHNER 2009).

### Landwirtschaftliche Bodennutzung

Die Lehr- und Versuchsstation Rengen der Universität Bonn in Daun wurde 1930 zur wissenschaftlichen Unterstützung der Urbarmachung von weiten Heide- und Ödlandflächen in der Eifel gegründet (REMY 1935). VON SCHWERZ (1836) beschreibt die damalige Landwirtschaft in diesem Teil der Eifel: *„Der schlechte Untergrund hat hier, wie anderwärts, wohl den meisten Antheil an dem Misslingen der Vegetation. Läßt er, wie das in der Eifel der Fall ist, bei einer seichten Oberkrume, die sich schnell übersättigt, das Winter- und Schneewasser nicht durch, so heben sich die Getreidepflanzen bei dem Wechsel des Frierens und Aufthauens aus der Erde und verderben...“*. Das Gebiet wurde daher als „Schiffelland“ genutzt; dazu v. Schwerz: *„...so bleibt das Schiffeln (Abplaggen) und Brennen das Haupt- und fast einzige Mittel. (...) Das Schiffeln und Brennen wird nach einer 10, 12, 15, 20, 30, ja 50jährigen Ruhe vorgenommen (...). Zuerst wird der Boden mit einem eigenen Pfluge aufgeritzt, dann der Rasen mit der Haue losgehauen. Die Rasenstücke werden so lange an Sonne und Luft umgewendet, geschlagen und gehackt, bis die meiste Erde abgefallen ist. Sind die Rasen endlich trocken genug, so werden sie um ein dürres Reisbund gelegt und dieses angezündet. Asche und Kümmer werden ausgestreut, der Roggen darüber hergesät und mit dem Pfluge untergebracht. Nach diesem Roggen folgt dann noch 2-3mal Hafer, oder einmal Hafer und einmal Buchweizen. (...) Daß ein nasser Sommer, wo die Rasen nicht trocken werden können, eine öffentliche Kalamität für die Eifel sey, glaube ich schon gesagt zu haben.“*

Während auf dem Versuchsgut anfangs Bodenbearbeitung, Düngung und insbesondere Kal-

kung zur Aufwertung der Grünlandnarbe und zur Erhöhung der Getreideerträge im Mittelpunkt des Interesses standen, wurden später spezielle Fragen der Grünlandbewirtschaftung

bearbeitet (ANONYM 2001). In der Region ist heute in Anbetracht der Klima- und Bodenverhältnisse das Grünland neben dem Forst die dominierende Nutzungsform.

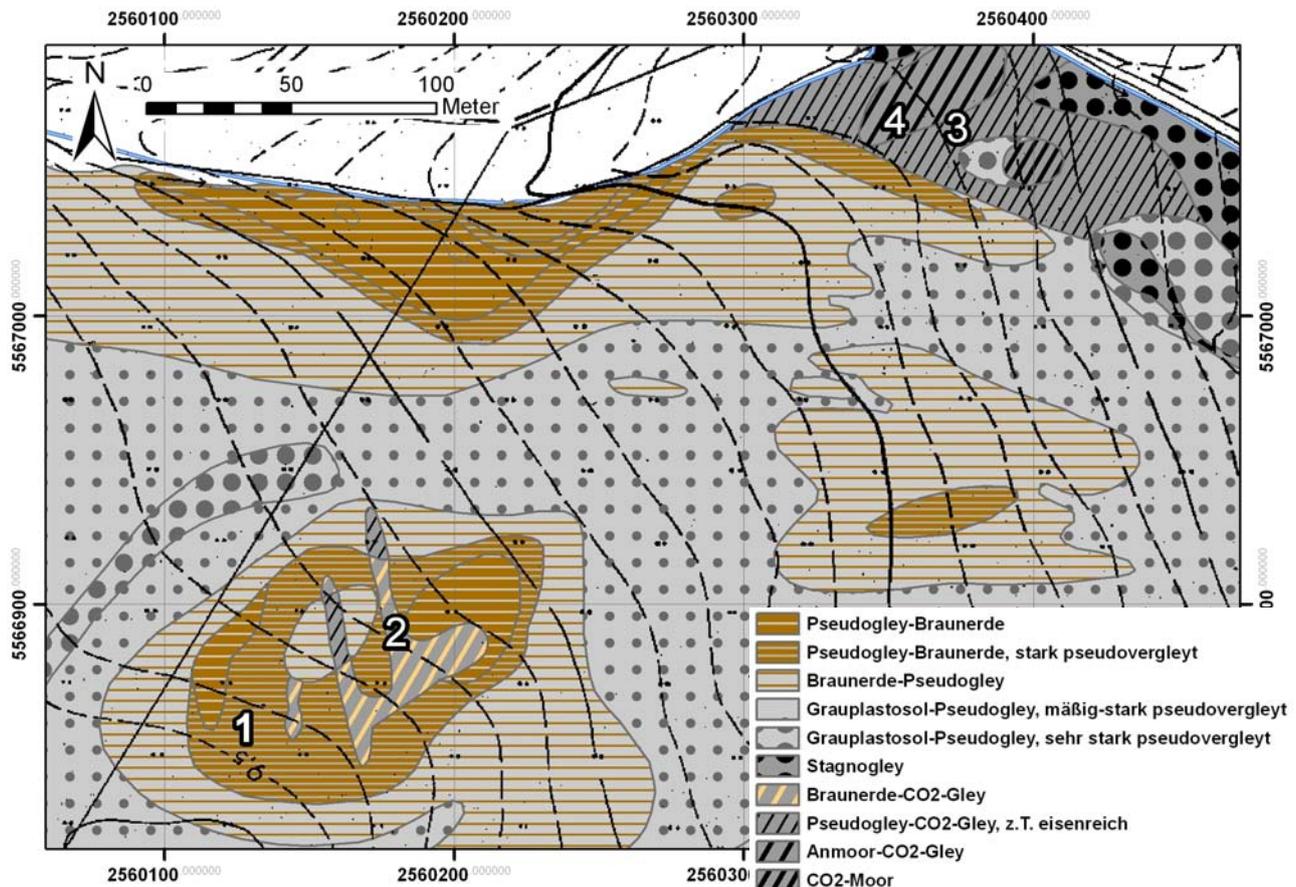


Abb. 1: Ausschnitt der Bodentypenkarte des Versuchsgutes Rengen (nach KERPEN (1960), vereinfacht) mit Lage der Exkursionsprofile G8.1 bis G8.4 (Quelle GIS: INRES-Pflanzenbauwiss.)

### Böden im Bereich der Mofetten

Mofetten sind trockene Austritte von CO<sub>2</sub> aus magmatischen Quellen; sie können mehrere tausend Jahre nach vulkanischen Eruptionen aktiv sein. KERPEN beschrieb auch die CO<sub>2</sub>-beeinflussten Böden, jedoch ohne weitergehende Untersuchungen. Zwei Profilaare werden im Rahmen dieser Exkursion vorgestellt: jeweils ein Profil ohne bzw. mit CO<sub>2</sub>-Einfluss am stauwasserbeeinflussten Oberhang (Profile G8.1 bzw. G8.2 (Abb. 2) und am grundwasserbeeinflussten Hangfuß (Profile G8.3 bzw. G8.4, Abb. 3). Die Profile am Hangfuß haben sich in kolluvial umgelagertem Material entwickelt; darauf deuten der sehr geringe Skelettanteil, Holzkohlefunde und organische Reste hin (s. Profilbeschreibungen). M-Horizonte sind aber nicht ausgebildet, wahrscheinlich infolge eines zu hohen Alters der Kolluvien. Ackerbau und Kolluviation sind auf Teilflächen des Ver-

suchsgutes seit der Römerzeit nachgewiesen (PÄTZOLD & TEICHNER 2009).



Abb. 2: Profile G8.1 (links) und G8.2 (rechts) am stauwasserbeeinflussten Oberhang: Braunerde-Pseudogley und Ockerreduktosol

Die Profilbeschreibungen mit Horizontierung und Analysendaten finden sich am Schluss dieses Beitrages. Bei der Auswahl der Profile wurde auf vergleichbare Nutzung bzw. Vegeta-

tionsform sowie Wasserverhältnisse geachtet, um einen Vergleich der C- und Fe-Dynamik in CO<sub>2</sub>-beeinflussten Böden und unbeeinflussten Referenzprofilen zu ermöglichen. Aus diesem Grund blieben die offenkundig noch stärker CO<sub>2</sub>-geprägten und von KERPEN (1960, vgl. Abb. 1) z.B. als CO<sub>2</sub>-Moor oder Anmoor-CO<sub>2</sub>-Gley bezeichneten Böden hier unberücksichtigt.

Die Profile am Oberhang nannte KERPEN CO<sub>2</sub>-Gley oder Kohlensäuregley und berichtet über Vegetationsschäden auf der damals noch als Acker genutzten Fläche: „*Auffallend ist ein intensiv fahlblaugrauer Horizont, der an einen Reduktionshorizont der Gleye erinnert, von diesem unterscheidet er sich aber durch einen merkwürdigen, metallischen Glanz*“. Bei unseren Untersuchungen konnten wir diesen Horizont am Oberhang jedoch nicht finden.



Abb. 3: Profile G8.3 (links) und G8.4 (rechts) am grundwasserbeeinflussten Hangfuß: Pseudogley-Gley und Reduktosol

Die Anordnung der CO<sub>2</sub>-beeinflussten Böden in „*schmalen, parallel gerichteten Streifen*“ (KERPEN 1960, s. Abb. 1) ist wahrscheinlich auf alte Drainagemassnahmen aus der Frühzeit des Versuchsgutes um 1930 zurückzuführen. In 20 cm schmalen Gräben wurden in ca. 110 cm Tiefe Tonrohre in Gefällrichtung verlegt; anhand der Vegetationsschäden ist zu vermuten, daß der CO<sub>2</sub>-Austritt durch die Lockerung des Graulehmmaterials im Bereich der mit autochthonem Material wiederverfüllten Gräben gefördert wird. Die untersuchten Profile liegen ausserhalb der Drainagegräben.

Im Zuge der intensiven Verwitterung der devonischen Gesteine im Mesozoikum und Tertiär sind die primären Schichtsilicate der Tonfraktion (Muskovit-Illit, Chlorit) verändert worden; wichtige Neubildungen sind Kaolinit und Chlorit-Vermiculit-Wechselagerungsminerale (FELIX-HENNINGSEN 1990); unter dem Einfluss

CO<sub>2</sub>-angereicherter aszendenter Wässer kann in der MTV u.a. auch Siderit auftreten (SPIES 1986). Die Untersuchung der Tonfraktion der Exkursionsprofile zeigt das substratbedingt zu erwartende Mineralspektrum (Tab. 2); Siderit ist in Anbetracht der niedrigen Boden-pH-Werte erwartungsgemäß mittels RDA nicht nachweisbar.

### Bildung von Humusauflagen

Unter dem Einfluss der Mofetten haben sich sowohl am Oberhang als auch am Hangfuß Humusauflagen gebildet. Diese weisen unterschiedliche Mächtigkeiten bis zu 6 cm auf.

Die von magmatischem CO<sub>2</sub> unbeeinflussten Böden (Referenzstandorte) weisen dagegen für langjährige Grünlandnarben typische Humusformen und -gehalte auf (LETTENS et al. 2004, eigene, unveröff. Ergebnisse). Trotz der staunassen Verhältnisse und der schlechten Grabbarkeit des Substrates sind in den Referenzböden hohe Abundanzen von tiefgrabenden Regenwürmern zu beobachten.

Bei allen unseren Feldarbeiten ist aufgefallen, dass Regenwürmer, wahrscheinlich auch andere Bodentiere, in den CO<sub>2</sub>-beeinflussten Böden ausbleiben. In kleineren Depressionen wurden verendete Lauftiere (Käfer, Spinnen etc.) gefunden. KERPEN (1960) machte die gleiche Beobachtung: „*Infolge der Sauerstoffarmut ziehen sich die Bodentiere bis auf wenige, vermutlich spezifische Arten, fast vollkommen zurück. Der Humusabbau ist stark gehemmt. Es bleiben vermüllte Rückstände von früheren Stallmistgaben zurück*“. Infolge des Ausbleibens der Bodentiere weist Profil G8.2 eine viel schärfere Unterkante des rAp auf; nach ca. 50jähriger Bodenruhe ist diese Grenze in Profil G8.1 durch Regenwurmgänge bereits stark aufgelöst.

Durch TRANCHOT wurde die gesamte Fläche 1810/11 als Heide bzw. Ödland kartiert („Bruyère“) während benachbarte Flächen als Acker ausgewiesen sind. Nach einer wahrscheinlich jahrhundertelangen Nutzung als Schiffelland (s.o.) wurde um 1930 nach Umbruch, Kalkung und Düngung Acker- (Oberhang; bis ca. 1957, danach Grünland) bzw. Grünlandnutzung (Hangfuß) etabliert. Aus der früheren Acker- und Düngung ergibt sich auch, dass die Bildung der Humusauflage am Oberhang in 50 Jahren erfolgte. Die Humusauflagen am Unterhang weisen ähnliche Mächtigkeiten auf. Ob bei der Urbarmachung auch hier mit dem Pferd ge-

pflügt wurde, ist unsicher; eine länger andauernde Ackernutzung und tiefere Pflugfurche erscheint in Anbetracht der Grundwasserverhältnisse aber unwahrscheinlich.

Unter dem Einfluss von magmatischem CO<sub>2</sub> ist die Biomasseentwicklung stark reduziert; auch KERPEN (1960) beobachtete Vegetationsschäden bei den Ackerkulturen. Die Biomassebildung der heutigen Grünlandvegetation ist um den Faktor 4,3 bzw. 4,6 verringert (Tab. 1).

Tab. 1: Grünlandaufwuchs in unmittelbarer Umgebung der vorgestellten Bodenprofile: Ergebnisse der Beerntung am 19.06.2006

Profil	Beerntete Fläche (m <sup>2</sup> )	TM-Ertrag (dt ha <sup>-1</sup> )	TM (%)
G8.1	10,2	12,5	36
G8.2	11,9	57,3	25
G8.3	13,9	7,2	37
G8.4	10,6	30,7	28

Umso bemerkenswerter erscheint die starke Anreicherung organischer Substanz auf der Bodenoberfläche in nur 50 a. Im grundwasserbeeinflussten Profil G8.4 geht die Bildung der Auflage bei verminderter Bioturbation mit verringerten C<sub>org</sub>-Gehalten im Mineralboden einher (Abb. 4).

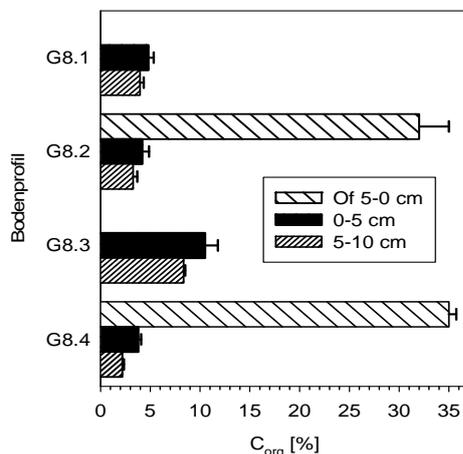


Abb. 4: C<sub>org</sub>-Gehalte in Auflage und Oberboden der Exkursionsprofile (G8.1 und G8.2: Oberhang; G8.3 und G8.4: Hangfuß)

In Profil G8.2 hat sich zwar ebenfalls eine organische Auflage gebildet; die Humusgehalte im Mineralboden sind aber nicht signifikant geringer als im CO<sub>2</sub>-unbeeinflussten Profil G8.1. Dies deutet – homogene C-Verteilung infolge Pflugtätigkeit bis ca. 1957 vorausgesetzt – auf einen verminderten C-Umsatz im Mineralboden bei gleichzeitiger C-

Anreicherung auf der Oberfläche (PÄTZOLD & AMELUNG 2009).

Einige Zehnermeter NE der gezeigten Profile treten in unmittelbarer Nähe der starken CO<sub>2</sub>-Austritte mächtigere organische Auflagen bis hin zu niedermoorartigen Bildungen auf. Hier ist jedoch aufgrund der anderen Vegetationsform (Gebüsch/Nasswiese) mit stark abweichenden C-Inputs zu rechnen.

### Fe-Dynamik

Die Fe-Dynamik ist auf der Aggregat-, der Pedon- und der Landschaftsskala zu betrachten. Die Gesamt-Fe-Gehalte (nur *bulk*-Proben) wurden mittels RFA, dithionitlösliches Fe nach Mehra & Jackson und oxalatlösliches Fe nach Thamm & Schwertmann bestimmt.

Die Fe<sub>t</sub>-Gehalte in Profil G8.1 spiegeln die gleichen Verhältnisse wider, die auch SCHRÖDER (1983) für ein Profil 850 m NNW beschreibt und sind daher als CO<sub>2</sub>-unbeeinflusste Referenz geeignet. Die Profile G8.1 und G8.2 unterscheiden sich in Bezug auf Fe<sub>t</sub> kaum. Dagegen ist das gesamte Profil G8.4 an Fe verarmt; die Go-Horizonte in Profil G8.3 sind Fe<sub>t</sub>-angereichert (s. Profilbeschreibungen am Schluss des Beitrags).

Fe<sub>d</sub> weist in Profil G8.3 das typische Tiefenprofil eines Gleys mit fast 40 g kg<sup>-1</sup> im Go und 1.7 g kg<sup>-1</sup> im Gr auf. Unter CO<sub>2</sub>- und Grundwasserreinfluß (G8.4) beträgt Fe<sub>d</sub> ca. 3,3 g kg<sup>-1</sup> im ungesättigten und etwa 0,2 g kg<sup>-1</sup> im gesättigten Bereich.

Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub>-Verhältnisse < 0,1 treten im Allg. in alten Verwitterungssubstraten auf, die v.a. gut kristallinen Goethit und/oder Hämatit enthalten. Die Hunsrück-Erze der MTV, deren Bruchstücke in die periglaziären Lagen eingearbeitet sind, bestehen aus reinem Goethit (SAUER & FELIX-HENNINGSSEN 2006) und lassen die weiten Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub>-Verhältnisse der Mittel-/Basislage plausibel erscheinen. Profil G8.2 weist im Unterboden trotz insgesamt (substratbedingt) höherer Fe-Gehalte sogar noch weitere Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub>-Verhältnisse auf; der CO<sub>2</sub>-Einfluss führt in diesem Profil also nur zu einer selektiven Abreicherung von Fe<sub>o</sub> und nicht zu wesentlichen Änderungen der Gehalte an gut kristallinem Fe. Da die Staunässe zudem v.a. die oberen Horizonte betrifft, dürfte hier die zusätzliche Reduktionswirkung des CO<sub>2</sub> bedeutender sein. Selbst bei sehr nassen Sw-Horizonten im Frühjahr haben wir in Rengen häufig fast trockene Sd-

Horizonte beobachtet. Die Oxidations- und Reduktionsfarben der Sd-Horizonte stammen oftmals aus der MTV. Es kommen aber auch Böden mit grauen Sd-Horizonten ohne Oxidationsfarben vor.

Der Anteil pedogenen Eisens am Gesamt-Fe schwankt in weiten Bereichen. Am Oberhang liegt  $Fe_d/Fe_t$  zwischen 0,45 und 0,62, mit geringer Variation zwischen den Horizonten und ohne klaren Unterschied zwischen den Profilen mit bzw. ohne  $CO_2$ .

$Fe_d$  ist in Profil G8.4 stark abgereichert, nicht nur absolut, wie oben gezeigt, sondern auch in Bezug auf  $Fe_d/Fe_t$ . In allen Tiefen von Profil G8.3 ist  $Fe_d/Fe_t$  höher als in Profil G8.4. Der zusätzliche  $CO_2$ -Einfluss führt somit zu einer stärkeren Fe-Lösung als das Grundwasser alleine. Die  $Fe_t$ -Verarmung deutet darüber hinaus auf eine Fe-Lösung aus anderen Mineralen als aus pedogenen Oxiden, obwohl letztere offenbar bevorzugt gelöst werden (enges  $Fe_d/Fe_t$ -Verhältnis; PÄTZOLD & AMELUNG 2009).

Das Verhältnis der  $Fe_d$ -Gehalte in der Aggregatschale zu denen im Aggregatkern  $Fe_d(S)/Fe_d(K)$  gibt Auskunft über extra- bzw. intravertierte Fe-Anreicherungen, wie sie für Vergleyung bzw. Pseudovergleyung typisch sind (SCHLICHTING 1973). Die  $Fe_o$ -Gehalte zeigen ähnliche, aber weniger deutlich ausgeprägte Muster (nicht gezeigt). Beide staunassen Profile am Oberhang haben – wie erwartet –  $Fe_d(S)/Fe_d(K)$ -Verhältnisse  $< 1$ , die grundwasserbeeinflussten Horizonte  $> 1$ . In den oberen Horizonten der  $CO_2$ -beeinflussten Böden ist das Verhältnis oftmals etwas weiter; die Fe-Umverteilung ist also stärker ausgeprägt (PÄTZOLD & AMELUNG 2009).

### Schlussfolgerungen

Der vulkanische Einfluss in der Eifel ist nicht nur an Maaren, Vulkankegeln und Mineralwasserquellen nachzuvollziehen. Infolge des jungen, bis ins Holozän währenden Vulkanismus tritt  $CO_2$  trocken in Mofetten aus. Die Böden im Einflussbereich der Mofetten, die nach der deutschen Bodensystematik als Reduktosole anzusprechen sind, weisen charakteristische Merkmale auf. Zu nennen sind insbesondere die Bildung von Humusaufgaben infolge des Ausbleibens von wühlenden Bodentieren und Modifikationen der Redoxverhältnisse. Letztere führen zu einer stärkeren Ausprägung der Pseudovergleyungs- und Vergleyungsprozesse.

Auf der Aggregatskala sind diese Veränderungen vor allem dann deutlich ausgeprägt, wenn Wasser als Transportmedium hinzutritt. Dann treten auch stärkere Fe-Umverteilungen auf der Pedon- und der Landschaftsskala auf.

Zu diskutieren ist, inwiefern die hier gewonnenen Erkenntnisse z.B. (i) in Bezug auf Böden und Pflanzen bei veränderten  $CO_2$ -Konzentrationen in der Atmosphäre (FACE-Experimente, s. z.B. DE GRAAFF et al. 2006), (ii) das C-Sequestrationspotential von Böden (LAL 2004) oder (iii) Leckagen nach künftigen  $CO_2$ -Verpressungen in den Untergrund (Übersicht über laufende Aktivitäten: EU-KOMMISSION 2009) zu interpretieren sind.

### Wingertsberg: Lavastrom-Felsenkeller der Vulkan-Brauerei in Mendig

Die Exkursion endet in der Vulkan-Brauerei in Mendig. Der Vulkanismus in dieser Region, die wie der ca. 4 km nördlich gelegene Laacher See zum quartären Osteifel-Vulkanfeld gehört, begann vor ca. 460 ka (SCHMINCKE 2007). Die Vulkan-Brauerei in Mendig steht auf einem gewaltigen Basalt-Lavastrom, der beim Ausbruch des Wingertsbergs vor ca. 150-200 ka entstand. Nach MEYER (1994) liegt unter einem oberen, für den Mühlsteinabbau genutzten Lavastrom mindestens ein weiterer, dessen „Hartbasalt“ aber nicht genutzt wird. Der obere Basaltstrom ist selbst 15-20 m mächtig und von 10-20 m Löß (direkt, ohne Verwitterungs- oder Bodenbildungs-Anzeichen auf dem Lavastrom aufliegend) und Laacher-See-Tephra bedeckt. Wegen der säulenhaften (ca. 2 m Durchmesser) Erkaltungsstruktur, der Xenolith-Beimengung und der feinen Porosität war dieser Nephelin-Leucit-Tephrit für Mühlsteine sehr begehrt und wurde seit Jahrhunderten untertägig abgebaut. Dadurch entstanden Keller mit ca. 3 km<sup>2</sup> Ausdehnung. Den oberen Abschluss des Stroms bildet kleinsäulige Lava, die als „Deckstein“ verschränkt ist und ein tragfähiges Dach bildet, das nur von gelegentlichen, stehengelassenen Basalt Pfeilern gestützt wird (MEYER 1994). Bis zur Erfindung der Kältemaschine wurden die „Lavakeller“ (konstant 5-8 °C) als Kühl- und Lagerkeller von Brauereien genutzt, die sich wegen der Keller hier ansiedelten. Bei etwa 3000 Einwohnern besaß Mendig zeitweise bis zu 28 Brauereien (<http://www.vulkan-brauhaus.de/brauerei/4/1/>).

Tab. 2: Röntgendiffraktometrisch bestimmter Mineralbestand der Tonfraktion der untersuchten Profile. +++ = Hauptbestandteil, ++ = Nebenbestandteil, + = Spuren. (WL=1,0-1,4 nm Wechsellagerungsminerale; Lepidok. = Lepidokrokit; In Fe-reichen Proben (G8.3) Bestimmung der Tonminerale nach Dithionit-Vorbehandlung)

Profil	Tiefe	Hor.	Illit	Kaolinit	WL	Goethit	Lepidok.
G8.1	10-18	rAp	+++	++	++		
	18-36	Bv	+++	++	+	+	+
	36-54	Sw	+++	++	+	+	+
	54-80	Sd	+++	++		+	
G8.2	0-9	YoAh	+++	++	++		
	21-32	YoBv	+++	++	+		
	41-61	Yo	+++	++		+	
	61-87	SwYr	+++	+		+	
	87-117	SdYr	+++	+			
G8.3	8-13	rAp	+++	++	++	+	
	13-19	Sw1	+++	++	++	++	++
	19-37	Sw2	+++	++	++	++	++
	37-56	SdGso	+++	++	+	+++	
	56-68	Gso	+++	++	++	++	+
	68-88	Gro	+++	++	+	++	++
	88-100	Gr	+++	++	++		
G8.4	0-8	SwAh	+++	++	++		
	8-13	Yro	+++	++	++		
	13-24	Yor	+++	++	++		
	24-35	Yr1	+++	++	++		
	35-60	Yr2	+++	++	+		
	60-82	Yr3	+++	++	++		

**Standortsituation Exkursionspunkt G8.1 („Rengen PTO“)**

Stadt Daun (Ortsteil Rengen), Landkreis Vulkaneifel  
**Lage:** RW: 2560128 HW: 5566857 469 m NN  
 Bearbeiter: Pätzold **Vegetation:** Dauergrünland

**TK25:** 5707 Kelberg  
**Nutzung:** Mähweide  
**Relief:** gestreckter Oberhang

**Profilbeschreibung**

<b>Bodenform: BB-SS Braunerde-Pseudogley aus Hauptlage über Mittellage (Löß + mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke unterdevonischer Ton- und Silt- und Sandsteine) (Basislage?)</b>			
Nr.	Horizontsymbol	Grenze	Horizontbeschreibung (Munsellfarben nach orig. amerik. Munsell Soil Color Chart)
1	<b>Ah (rAp)</b>	0-18 (10-18)	Stark humoser, schluffiger Lehm, dunkel gräulich braun (10YR4/2); Krümelgefüge, stark-sehr stark (z.T. nesterartig) durchwurzelt (Wf4-5); Übergang zum Bv durch viele Wurzel-/Wurmgänge aufgelöst
2	<b>Bv</b>	18-36	Schwach humoser, mittel schluffiger Ton, gelblichbraun (10YR5/6); Subpolyeder, 5-20 mm, Wf 4, keine Fleckung); Übergangsbereich zum Sw: Subpolyeder bis kleine Polyeder, ≤ 30 mm, z.T. mit Cutanen, mittel durchwurzelt (Wf3, z.T. in Aggregatklüften)
3	<b>Sw</b>	36-54	Sehr schwach humoser, mittel schluffiger Ton, „Graulehm“ (Mittel-/Basislage); 100% Rost-/Bleichfarben: Blassbraun (10YR 6/3) mit Ox.-Fleckung (50-30%, rötlichgelb 7,5YR6/6), Cutane vom Bv hereinzie-

<b>4</b>	<b>Sd</b>	54-80+	hend; Polyeder, 30-50 mm, Ton-Humus-Cutane auf Agg.-oberflächen; mittel durchwurzelt (Wf3, z.T. in Aggregatklüften), deutlicher, welliger Übergang zum Sd
			Sehr schwach humoser, mittel schluffiger Ton, „Graulehm“, Matrix grau (10YR6/1); weniger Oxidationsfarben (10%, rötlichgelb 7,5YR6/8); Kohärentgefüge (Makrogrobfüge: Rissgefüge mit vertikal orientierter, plattiger Struktur)
<b>Anmerkungen</b>			Differenzierung des Ah in Ah und rAp möglich, Corg-Gehalte jedoch nicht signifikant unterschiedlich, s. Abb. 4; <i>Bodenart im Oberboden gem LK-NRW: uL</i>

**Physikalische und chemische Analysen Profil G8.1**

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- u. humusfr. Feinerde)							(mS+fS)/(gU+mU)	Ti/Zr (RFA)
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11a</i>	<i>11b</i>
Ah (rAp)	0-18		4	6	6	26	21	11	26	0,258	19
Bv	18-36		4	4	4	23	20	11	35	0,195	18
Sw	36-54		3	2	4	21	19	11	39	0,143	19
Sd	54-80+		3	2	4	20	20	14	37	0,143	23

Horizont	Carbonat	pH	KAK <sub>pot</sub>	Austauschbare Kationen (% d. Basen)					BS
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Na	K	Mg	Ca	(H+) Al	%
<i>1</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>
Ah (rAp)	n.n.	5,2							
Bv	n.n.	4,9							
Sw	n.n.	4,4							
Sd	n.n.	3,9							

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
	Mas-%	Mas-%		mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	<i>38</i>	<i>39</i>
Ah (rAp)	3,7	0,331	11	9 B	30 D	21,6	4,87	10,7	0,455	3,23	0,385
Bv	0,8	< 0,01		1,0	8	24,9	4,17	11,9	0,351	3,00	0,130
Sw	0,4	< 0,01		0,5	11	24,9	2,85	11,2	0,254	2,48	0,013
Sd	0,3	< 0,01		1,1	8	20,6	2,37	11,4	0,208	1,68	0,017

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;  
<sup>#</sup>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt; Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer NRW; Al<sub>d</sub>, Mn<sub>d</sub>, Fe<sub>t</sub>: aus bulk-Proben S. Zenker, Fe<sub>o</sub>, Fe<sub>d</sub>: bulk-Daten + Aggregatuntersuchung L. Eßer

**Standortsituation Exkursionspunkt G8.2 („Rengen PTm“)**

Stadt Daun (Ortsteil Rengen), Landkreis Vulkaneifel **TK25:** 5707 Kelberg  
**Lage:** RW: 2560179 HW: 5566891 467 m NN **Nutzung:** Mähweide  
**Bearbeiter:** Pätzold **Vegetation:** Dauergrünland **Relief:** gestreckter Oberhang

**Profilbeschreibung**

<b>Bodenform: sXXx Pseudovergleyter Ockerreduktosol aus Hauptlage (Löß, MTV) über Mittellage (Löß + mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke unterdevonischer Ton- und Silt- und Sandsteine) (Basislage?)</b>			
Nr.	Horizontsymbol	Grenze	Horizontbeschreibung (Munsellfarben nach orig. amerik. Munsell Soil Color Chart)
1	Of	6-0	Organische Auflage, Sehr dunkel grünlichbraun (10YR3/2); extrem stark durchwurzelt/Wurzelfilz (Wf 6); scharf abgegrenzt gegen den
2	Yo-Ah	0-9	Stark humoser, schluffiger Lehm, dunkelbraun (10YR3/3), 10-30% Rostfleckung (dunkel rötlichbraune (5YR3/3) Beläge auf Agg.- oberflächen.; Subpolyeder ≤ 12 mm, sehr stark durchwurzelt (Wf5, in Strängen), diffuser Übergang zum
3	Yo-rAp	9-21	Stark humoser, schluffiger Lehm, braun (10YR4/3), nur 1-2% Rostfleckung; Subpolyeder ≤ 12 mm, stark durchwurzelt (Wf 4), in Strängen; infolge fehlender Wurgänge scharfer Übergang zum
4	Yo-Bv	21-32	Mittel humoser, schluffiger Lehm, homogen gelblichbraune Matrix (10YR5/4), keine Rostflecken, um die Feinwurzeltgänge jedoch gebleicht/5% ganz schwach heller gefleckt; kleine Subpolyeder, ≤ 10mm, mittel durchwurzelt (Wf3; an Aggregatoberflächen intensiv, im Aggregatinneren nicht); diffuser Übergang zum
5	Sw-Yo	32-41	Schwach humoser, mittel schluffiger Ton, hell bräunlichgrau (10YR6/2) und gelblichbraun (10YR5/6; Ox.-Farben 50-70%; Aggregatinneres deutlich roter); Polyeder 10-30 mm, mit deutlichen Cutanen; in Agg.-klüften schwach durchwurzelt (Wf2kl); diffuser Übergang zum
6	Yo	41-61	Sehr schwach humoser, mittel schluffiger Ton, gelblichbraun (10YR5/4) bis grau (10YR 6/1); 5-10% Ox.-Farben, im Aggr.-innern nur kleine Rostflecken, etwas dichter als Sw-Yo; Polyeder 30-50 mm, Cutane; Wurzeln ausschließlich in Agg.-klüften u. z.T. in Strängen, dann Wf 4, im Aggr.-innern keine Wurzeln (Wf 0), im Mittel schwach durchwurzelt (Wf2); diffuser Übergang zum
7	Sw-Yr	61-87	Sehr schwach humoser, mittel schluffiger Ton, grau (10YR6/1) bis hellgrau (10YR7/2; Cutane); kräftige, orangefarbene (pedogene) Fleckung (10-30% jedoch auch durch Saprolitbruchstücke); Fleckung gleichmäßiger verteilt als im Yo; Kohärentgefüge, bei Austrocknung schlecht ausgeprägte Polyeder 20-30 mm und Prismen (z.T. 50-150 mm hoch); schwach durchwurzelt (Wf 2kl und in Strängen); Graulehm, viele Saprolitstücke; scharfer Übergang zum
8	Sd-Yr	87-123+	Sehr schwach humoser, mittel schluffiger Ton, durchgängig grau (10YR6/1) bis hellgrau (10YR7/2; Cutane), auch im Aggr.-innern; bis auf größere Saprolitbruchstücke keine Ox.-farbene (5-10%); Kohärentgefüge/Rissgefüge (vertikal orientierte, plattige Struktur), Cutane nur schwach ausgeprägt; keine Wurzeln (Wf0); aktuell trocken, Wasseraustritt an Klüften zw. Aggregaten; Graulehm mit Saprolitbruchstücken

**Anmerkungen** Bodenart im Oberboden gem LK-NRW: uL

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;

# P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt; Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer NRW; Al<sub>d</sub>, Mn<sub>d</sub>, Fe<sub>c</sub>; aus bulk-Proben S. Zenker, Fe<sub>o</sub>, Fe<sub>d</sub>; bulk-Daten + Aggregatuntersuchung L. Eßer

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- u. humusfr. Feinerde)							(mS+fS)/ (gU+mU)	Ti/Zr (RFA)
			Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11a	11b
Of	6-0										
Yo-Ah	0-9		3	7	7	28	18	11	26	0,326	17
Yo-rAp	9-21		3	7	7	25	19	10	29	0,309	17
Yo-Bv	21-32		3	8	6	25	19	9	29	0,320	18
Sw-Yo	32-41		3	3	5	22	16	12	39	0,322	21
Yo	41-61		3	2	4	21	16	13	40	0,211	22
Sw-Yr	61-87		2	2	6	23	19	14	34	0,169	22
Sd-Yr	87-123		2	2	6	26	18	14	32	0,167	24

Horizont	d <sub>B</sub> g · cm <sup>-3</sup>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV Vol.-%	k <sub>f</sub> cm · d <sup>-1</sup>
		>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm		
1	12	13	14	15	16	17	19
Of	0,72	23	2	37	16	78	42,5
Yo-Ah	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	91,4
Yo-rAp	1,39	17	3	16	16	52	n.b.
Yo-Bv	1,28	18	4	20	18	60	5,1
Sw-Yo	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Yo	1,68	11	2	3	30	45	1,7
Sw-Yr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sd-Yr	1,69	11	1	11	22	45	2,8

Horizont	Carbonat Mas-%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Austauschbare Kationen (% d. Basen)					BS %
				Na	K	Mg	Ca	(H +) Al	
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Of	n.n.	4,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Yo-Ah	n.n.	4,6	15,8	0,3	20	9,0	71	n.b.	37
Yo-rAp	n.n.	4,5	14,1	0,3	22	9,0	69	n.b.	35
Yo-Bv	n.n.	4,4	11,5	0,5	22	11,9	65	n.b.	28
Sw-Yo	n.n.	4,3	9,6	0,3	17	12,1	71	n.b.	47
Yo	n.n.	4,3	9,1	0,4	17	12,0	70	n.b.	55
Sw-Yr	n.n.	4,0	8,4	0,8	15	9,4	75	n.b.	39
Sd-Yr	n.n.	3,7	9,9	1,5	24	9,7	65	n.b.	13

Horizont	C <sub>org</sub> Mas-%	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>c</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>c</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
				mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g · kg <sup>-1</sup>
1	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Of	30,5	2,8	11	66,5	126,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Yo-Ah	2,58	0,20	13	28,1 D	44,4 E	25,5	8,54	15,0	0,568	3,50	0,199
Yo-rAp	3,54	0,29	12	8,9	31,7	27,7	8,08	15,5	0,521	3,68	0,251
Yo-Bv	1,29	0,12	11	3,2	25,0	29,3	6,74	15,3	0,440	4,24	0,136
Sw-Yo	0,61	< 0,1		1,8	24,0	27,8	2,44	15,2	0,161	2,98	0,057
Yo	0,34	< 0,1		0,7	21,8	26,7	2,03	15,6	0,130	2,31	0,060
Sw-Yr	0,29	< 0,1		1,2	12,5	24,0	1,25	13,4	0,093	1,75	0,056
Sd-Yr	0,23	< 0,1		2,6	7,6	20,4	0,935	12,6	0,074	1,43	0,036

**Standortsituation Exkursionspunkt G8.3 („Rengen PNo“)**

Stadt Daun (Ortsteil Rengen), Landkreis Vulkaneifel

TK25: 5707 Kelberg

Lage: RW: 2560373 HW: 5567065 457 m NN **Nutzung:** Ausgleichsfläche (seit 2005, davor Mähweide)

Bearbeiter: Pätzold

**Vegetation:** Dauergrünland**Relief:** konkaver Unterhang**Profilbeschreibung****Bodenform:** SS-GG Pseudogley-Gley aus kolluvial umgelagertem Material der Haupt- und Mittellage (Löß + mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke unterdevonischer Ton- und Silt- und Sandsteine)

Nr.	Horizontsymbol	Grenze	Horizontbeschreibung (Munsellfarben nach orig. amerik. Munsell Soil Color Chart)
1	Aa	0-13	Anmooriger, schluffiger Lehm, dunkel gräulichbraun (10YR4/2), ohne Fleckung; Krümelgefüge; sehr stark durchwurzelt (Wf5)
2	Sew	(13-19)	Nicht durchgängig vorhanden. Überwiegend hellgrau (10YR7/2), 30-50% gelbe Rostflecken (10YR7/6); kleine Subpolyeder ≤ 10 mm, in Agg.-klüften sehr stark durchwurzelt (Wf5kl), im Aggregatinneren mittel durchwurzelt (Wf3)
3	Sw	13-37	Mittel humoser, mittel schluffiger Ton; bräunlichgelb (10YR6/8); Wurzelgänge gebleicht, Aggregatoberflächen nur z.T. mit Rostflecken, Oxidationsfarben 70-90%; Subpolyeder und Polyeder 5-30 mm, gleichmäßig mittel durchwurzelt (Wf3)
4	Sd-Gso	37-68	Schwach humoser, schwach schluffiger Ton, gelb (10YR7/8); Wurzelgänge gebleicht, Ox-Farben 90%, Eisenkonkretionen (Gso) vor allem an Aggregatoberflächen; Kohärentgefüge mit subpolyedrischer-polyedrischer Struktur, schwach durchwurzelt (Wf2)
5	Gro	68-88	Sehr schwach humoser, schwach toniger Lehm, gelb (10YR7/8) und sehr blass braun (10YR7/3); Kohärentgefüge, Wf 1, deutlich mehr Reduktionsfarben, Ox-Farben 50-70%, an Aggregatklüften leuchtend rote Beläge
6	Gr	88-110	Sehr schwach humoser, mittel schluffiger Ton, sehr blass braun (10YR8/2), Kohärentgefüge, keine Wurzeln (Wf0)
<b>Anmerkungen</b>		Bodenart im Oberboden gem LK-NRW: uL	

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe cm	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- u. humusfr. Feinerde)							(mS+fS)/ (gU+mU)	Ti/Zr (RFA)
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11a	11b
Aa	0-13		<1	4	10	32	16	9	29	0,291	17
Sw	13-37		<1	5	13	21	14	8	39	0,513	17
Sd-Gso	37-68		<1	1	7	20	14	8	50	0,237	17
Gro	68-88		<1	3	16	25	14	8	35	0,466	15
Gr	88-110		<1	1	<1	39	16	9	35	0,018	14

Horizont	Carbonat	pH	KAK <sub>pot</sub>	Austauschbare Kationen (% d. Basen)					BS
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Na	K	Mg	Ca	(H+) Al	%
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Aa	n.n.	4,8	20	1	3	9	87		78
Sw	n.n.	4,3	9	0,4	2	14	84		40
Sd-Gso	n.n.	4,2	11	2	6	37	55		36
Gro	n.n.	4,0	8	3	7	40	49		47
Gr	n.n.	3,9	9	2	6	45	48		46

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
	Mas-%			mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
1	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Aa	8,1	0,74	11	15 C	32 D	24,7	7,34	13,9	0,530	4,07	0,354
Sw	1,1			0,5	4	80,3	8,83	34,9	0,253	4,16	0,245
Sd-Gso	0,8			0,5	8	137	9,83	37,4	0,263	4,95	0,154
Gro	0,3			3	8	39,5	8,79	28,2	0,311	1,85	0,058
Gr	0,4			4	9	11,8	1,51	1,66	0,913	1,07	0,020

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;

<sup>#</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt; Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer NRW  
Al<sub>d</sub>, Mn<sub>d</sub>, Fe<sub>t</sub>: aus bulk-Proben S. Zenker, Fe<sub>o</sub>, Fe<sub>d</sub>: bulk-Daten + Aggregatuntersuchung L. Eßer

**Standortsituation Exkursionspunkt G8.4 („Rengen PNM“)**

Stadt Daun (Ortsteil Rengen), Landkreis Vulkaneifel **TK25:** 5707 Kelberg  
**Lage:** RW: 2560355 HW: 5567076 457 m NN **Relief:** konkaver Unterhang  
 Bearbeiter: Pätzold **Vegetation:** Dauergrünland **Nutzung:** Ausgleichsfläche (seit 2005, davor Mähweide)

**Profilbeschreibung**

<b>Bodenform: XXn Normreduktosol aus kolluvial umgelagertem Material der Haupt- und Mittellage (Löß + mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke unterdevonischer Ton- und Silt- und Sandsteine)</b>			
Nr.	Horizontsymbol	Grenze	Horizontbeschreibung (Munsellfarben nach orig. amerik. Munsell Soil Color Chart)
1	Of	5-0	Organische Auflage: Ca. 0,5-1 cm hellgrauer Wurzelfilz; 4-4,5 cm Of-Material, sehr dunkel gräulichbraun (10YR3/2), extrem stark von Feinwurzeln durchzogen (Wf6)
2	Sw-Ah	0-8	Stark humoser, mittel schluffiger Ton, gräulichbraun (10YR5/2), 5-10% Rostflecken; 30% Red.-farben, mittlere Subpolyeder ( $\leq 10$ mm); in Agg.-klüften extrem stark durchwurzelt (Wf6kl, in Matten); keine Regenwürmer
3	Yro	8-24	Stark humoser, mittel toniger Lehm, grau (10 YR6/1), <1% Ox.-farben; graubraune Cutane an Rissen des Makrogefüges Aggregatoberfläche fahl braun, Oxidationsfarben entlang von Wurzelgängen/Poren, Fleckung ansonsten nicht einheitlich feststellbar (homogener als Sw-Ah); mittlere bis grobe Polyeder und Prismen (10-30 mm; vertikal orientierte, plattige Struktur), unterhalb von 13 cm Übergang zu Kohärentgefüge (Polyeder lassen sich beliebig weit herunterbrechen), Agg.-klüfte sehr stark bis extrem durchwurzelt (Wf5-6kl in Matten), Agg.-inneres nicht durchwurzelt (Wf0), im Mittel Wf3, nach unten abnehmende; vereinzelt Holzkohle
4	Yor	24-35	Mittel humoser, mittel schluffiger Ton, hellgrau (10YR7/1); vereinzelt Oxidationsflecken; Kohärentgefüge, graubraune, „schmierige“ Cutane ziehen bis in den Yor, hören dann aber auf; sehr schwach durchwurzelt (Wf1kl), schokoladenbraune Kluffflächen vom unteren Teil des Yro bis in ca. 30cm Tiefe
5	Yr1	35-60	Schwach humoser, schwach sandiger Lehm, hellgrau (10YR7/1); Kohärentgefüge, im feuchten Zustand dunkle, goldbraune Cutane auf Rissen des Makrogefüges; keine Wurzeln (Wf0)
6	Yr2	60-82	Mittel humoser, mittel schluffiger Ton, hellgrau (10YR7/1); Kohärentgefüge, keine Wurzeln (Wf0), Blatt- und Holzreste, geschichtet (limnisch?)
7	Yr3	82-100	Schwach humoser, schluffiger Lehm, hellgrau (10YR7/1); Kohärentgefüge, keine Wurzeln (Wf0), Blatt- und Holzreste, graue Cutane
<b>Anmerkungen</b>			
im ganzen Profil: Makrogefüge = Rissgefüge Kolluviale Genese: organische Reste im Yr2, nahezu skelettfrei an linker Profilwand: O; (5-0 cm); SwAh (0-5 cm); Yro (5-11 cm), 11-18 cm stark geädertes Part mit starker Rotfärbung = lokale Stelle (Eisenanreicherung) → 18 cm Tiefe; entspricht der Grenze 24 cm (Yr1) an der rechten Seite der Profilwand; Bodenart im Oberboden gem LK-NRW: utL			

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;

# P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt; Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer NRW; Al<sub>d</sub>, Mn<sub>d</sub>, Fe<sub>o</sub>, Fe<sub>e</sub>: aus bulk-Proben S. Zenker, Fe<sub>o</sub>, Fe<sub>e</sub>: bulk-Daten +Aggregatuntersuchung L. Eßer

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- u. humusfr. Feinerde)							(mS+fS)/ (gU+mU)	Ti/Zr (RFA)
			Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11a	11b
O	5-0										
Sw-Ah	0-8		1.0	4.0	10	27	18	9	31	0,333	16
Yro	8-24		0.3	1.8	6	23	15	10	44	0,315	20
Yor	24-35		0.0	1.0	8	25	16	9	41	0,205	16
Yr1	35-60		0.5	1.5	20	36	14	6	22	0,219	13
Yr2	60-82		0.5	2.5	15	25	17	8	31	0,420	15
Yr3	82-100		0.0	2.0	12	35	16	9	27	0,414	15

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	k <sub>r</sub>
		g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm		
1	12	13	14	15	16	17	19
O	0,33	45.6	1.1	30.6	16.6	93.9	82,0
Sw-Ah	1,23	11.1	2.2	21.1	24.1	58.5	1,0
Yro	1,15	8.8	0.8	22.0	31.7	63.2	5,9
Yor	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Yr1	1,08	14.0	1.7	28.1	23.5	67.3	1,7
Yr2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Yr3	1,20	17.6	4.2	27.1	13.1	62.1	0,7

Horizont	Carbonat	pH	KAK <sub>pot</sub>	Austauschbare Kationen (% d. Basen)					BS
				Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Na	K	
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28
O	n.n.	4,0	39,9	0,8	6	10	83		62
Sw-Ah	n.n.	4,1	15,5	0,9	15	11	73		30
Yro	n.n.	3,9	19,0	1,2	26	9	63		19
Yor	n.n.	4,0	17,0	0,7	26	10	63		18
Yr1	n.n.	4,3	7,6	3,0	29	11	57		30
Yr2	n.n.	4,0	12,7	2,7	32	6	59		15
Yr3	n.n.	3,8	9,7	2,7	29	5	64		11

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
				mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
1	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
O	27,6	2,464	11		31	n.b.	n.b.	n.b.		2,24	0,184
Sw-Ah	3,8	0,268	14	30 D	34 D	17,0	4,39	7,04	0,624	2,81	0,028
Yro	3,2			53	38	9,06	2,15	3,27	0,656	4,16	0,010
Yor	1,6			133	39	9,66	1,09	1,69	0,646	2,66	0,001
Yr1	0,6			70	35	6,65	0,137	0,236	0,583	2,08	0,0004
Yr2	1,2			57	28	8,75	0,024	0,091	0,263	3,87	0,003
Yr3	1,0			43	14	8,33	0,011	0,199	0,056	1,99	0,007

## Danksagung

Frau Dipl.-Geogr. Lena Eßer und Herr Dipl.-Ing. agr. Stefan Zenker haben im Rahmen ihrer Diplomarbeiten zu den vorgestellten Ergebnissen beigetragen. Die Analysen wurden in den Laboren des INRES-Bodenwissenschaften durchgeführt; allen Beteiligten wird hierfür gedankt. Die RFA-Analysen wurden von Dr. S.-O. Franz und Frau Dr. Hoffbauer im Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie der Uni Bonn durchgeführt. Herrn Dr. G. Milbert (GD-NRW, Krefeld) gebührt Dank für die fruchtbare Diskussion sowie die Daten zum benachbarten Brauneisengley, die im Rahmen dieses Beitrages nicht dargestellt, auf der Exkursion aber zur Diskussion gestellt werden. Herrn Gaber und seinem Team vom Versuchsgut Rengen wird für die verlässliche Hilfsbereitschaft sowie Herrn Dr. J. Schellberg für die Überlassung der GIS-Dateien gedankt. Herrn Hosters danke ich für die weitere Unterstützung der Untersuchungen.

## Literatur

- ANONYM 2001: Lehr- und Versuchsstation Rengen - Forschung und Lehre in der Grünlandwirtschaft. – Hrsg. v. Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau, Univ. Bonn (Selbstverlag), 103 S.
- DE GRAAFF, M.-A., v. GROENIGEN, K.-J., SIX, J., HUNGATE, B. & v. KESSEL, C. (2006): Interactions between plant growth and soil nutrient cycling under elevated CO<sub>2</sub>: a meta-analysis. *Global Change Biology* 12, 2077-2091.
- EU-KOMMISSION (2009): [http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs/index_en.htm)
- ESSER, L. (2007): Räumliche Verteilung von pedogenem Eisen in der Umgebung aktiver Mofetten – dargestellt am Areal der Lehr- und Versuchsstation Rengen (Westeifel). Unveröff. Diplomarbeit, INRES-Bodenwissenschaften, Universität Bonn.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. (1990): Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke im Rheinischen Schiefergebirge – Aufbau, Genese und quartäre Überprägung. *Relief Boden Paläoklima* 6, Borntraeger Berlin, Stuttgart.
- KERPEN, W. (1960): Die Böden des Versuchsgutes Rengen, Kartierung, Eigenschaften und Standortwert. – *Forschung und Beratung, Reihe B*, 5 [Zugl. Diss. Universität Bonn 1960], 316 S.
- R. LAL (2004): Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304, 1623-1627
- LETTENS, S., VAN ORSHOVEN, J., VAN WESEMAEL, B. & B. MUYS (2004): Soil organic and inorganic carbon contents of landscape units in Belgium derived using data from 1950 to 1970. *Soil Use and Management* 20, 40-47.
- MAY, F. (2002): Quantifizierung des CO<sub>2</sub>-Flusses zur Abbildung magmatischer Prozesse im Untergrund der Westeifel. Shaker Verlag, Aachen, 170 pp.
- MEYER, W. (1994): *Geologie der Eifel*, 3. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1958): Bildungsbedingungen und Umlagerung der fossilen Böden der Eifel. *Fortschr. Geol. Rheinland und Westfalen* 2, 495–502.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1979): Die Paläoböden der Eifel in Abhängigkeit von der Geomorphologie. *Z. Geomorph. N.F.* 33, 16–24.
- PÄTZOLD, S. & W. AMELUNG (2009): Fe-redistribution and C-storage in soils with ascending carbon dioxide from magmatic gas springs in the West Eifel (Germany). In Vorbereitung.
- PÄTZOLD, S. & D. TEICHNER (2009): Die Böden am Rabenberg bei Rengen (Daun/Westeifel) als Archiv der Landschafts- und Nutzungsgeschichte. *Decheniana* 162, angenommen.
- PUCHELT, H. (1983): Carbon Dioxide in the Rhenish Massif. In: K. FUCHS et al. (eds.) *Plateau Uplift. The Rhenish Shield – A Case History*, Springer-Verlag Berlin, S. 153.
- SAUER, D. & P. FELIX-HENNINGSSEN (2006): Saprolite, soils, and sediments in the Rhenish Massif as records of climate and landscape history. *Quaternary Intern.* 156–157, 4–12.
- SCHLICHTING, E. (1973): Pseudogleye und Gleye - Genese und Nutzung hydromorpher Böden. In: *Pseudogley & Gley – Genesis and Use of Hydromorphic Soils*. *Transactions Comm. V and VI of the Int. Soc. Soil Sci.* (ed. by E. Schlichting and U. Schwertmann). Verlag Chemie (Weinheim), 1-6.
- SCHMINCKE, H.-U. (2007): The Quaternary Volcanic Fields of the East and West Eifel (Germany). In: *Mantle Plumes. A Multidisciplinary Approach*. Ed. By J.R.R. RITTER and U.R. CHRISTENSEN, Springer Verlag Berlin, Heidelberg.
- SCHRÖDER, D. (1983): Geologie, Geomorphologie und Böden des Trierer Raumes: Böden. In: *Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1983 in Trier*. *Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges.* 37, 159-284.
- SPIES, E.-D. (1986): Vergleichende Untersuchungen an präpleistozänen Verwitterungsdecken im Osthunsrück und an Gesteinszersatz durch ascendente (Thermal-)Wässer in der Nordosteifel (Rheinisches Schiefergebirge). *Dissertation Universität Bonn*, 182 S.
- SPIES, E.-D. & P. FELIX-HENNINGSSEN (1985): Geologisch-mineralogische Untersuchungen der tiefgründig kaolinisierten Unterdevongesteine im Osthunsrück und der nordöstlichen Eifel.- *Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges.* 43, 931-936
- TEICHNER, D. (2002): Einfluß der historischen Landnutzung in der Eifel auf Böden in Hanglage – dargestellt anhand einer Catena auf dem Versuchsgut Rengen. Unveröff. Diplomarbeit, Institut für Bodenkunde, Universität Bonn.
- VON SCHWERZ, J. N. (1836): *Beschreibung der Landwirtschaft in Westfalen und Rheinpreussen*. Zweiter Theil. – Hoffmann'sche Verlags-Buchhandlung (Stuttgart 1836), 307 S.; Faksimile-Druck ohne Jahresangabe, Bonn (Rhein. Landwirtschafts-Verl.).
- ZENKER, S. (2007): Kohlenstoffspeicherung in Grünlandböden unter dem Einfluss postvulkanischer CO<sub>2</sub>-Ausgasungen in Rengen/Eifel. Unveröff. Diplomarbeit, INRES-Bodenwissenschaften, Universität Bonn.
- ZOLITSCHKA, B., NEGENDANK, J.F.W., LOTTERMOSER, B.G. (1995): Sedimentological proof and dating of the Early Holocene volcanic-eruption of Ulmener Maar (Vulkaneifel, Germany). *Geol. Rundsch.* 84 (1), 213-219.

## Weiterführende Literatur

- ROGALL, M. (2007): 500 Jahre untertägiger Basaltabbau in Niedermendig: Ein Überblick zur Abbaugeschichte und heutigen Problematik. *Z. z. Geschichte des Berg- und Hüttenwesens – Fischbacher Hefte* – 13, H. 2, 28-45.

## **G9: Bodenschätzung in der Niederrheinischen Bucht, einem stark anthropogen geprägtem Naturraum**

Hans Joachim Betzer<sup>1</sup>, Christian Petzold<sup>2</sup>

### **Zielsetzung der Exkursion**

Auf dieser Exkursion werden typische Böden der Niederrheinischen Bucht, die zugleich als Musterstücke der Bodenschätzung eingerichtet wurden, vorgestellt. Im Zentrum stehen dabei Böden, die durch typische konkurrierende Landnutzungen (Rohstoffgewinnung, Industrie, Besiedlung, intensive Landwirtschaft) gravierende Veränderungen erfahren haben. Die Spanne reicht von stofflichen Einträgen, die nur analytisch nachzuweisen sind, über Erosion, Grundwasserabsenkung und Bergsenkung bis hin zu den Rekultivierungsflächen der Rheinischen Braunkohletagebaue. Besondere Aufmerksamkeit erfahren dabei die wachsenden Anforderungen an die Schätzung als auch an die Bodenkartierung, den veränderten Bodenverhältnissen und Ertragsbedingungen gerecht zu werden. Dies gilt in besonderem Maß für die Rekultivierungsflächen.

### **Exkursionsroute, Exkursionsgebiet und Exkursionspunkte**

Von Bonn aus fahren wir auf der A555 durch die Niederterrassenlandschaft des Rheins zum Exkursionspunkt 1 bei Rodenkirchen/Rondorf

- Profil G9.1 - IS3D 46/52; Bänderparabraunerde aus Niederterrassensand

Über Hürth führt der Weg auf die Ville, einen Höhenzug zwischen Rhein und Erft, der großflächig von Braunkohletagebauten umgestaltet wurde. Hier erläutert G. Dumbeck (RWE Power) verschiedene Rekultivierungstechniken anhand der

---

<sup>1</sup> Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
- Landesbetrieb -  
De-Greifstr. 195 – 47803 Krefeld  
[poststelle@gd.nrw.de](mailto:poststelle@gd.nrw.de)

<sup>2</sup> Finanzverwaltung NRW  
Finanzamt Leverkusen  
Haus - Vorster - Straße 12 – 51379 Leverkusen  
[Christian.Petzold@FA-5230.fin-nrw.de](mailto:Christian.Petzold@FA-5230.fin-nrw.de)

### Musterstücke

- Profil G9.2 - L4Lö 73/79; Pararendzina aus Spüllöss über Auftragssand und
- Profil G9.3 - L4Lö 65/70; Pseudogley-Pararendzina aus Auftragslöss (Absetzer) über Auftragssand.

Trotz zwischenzeitlicher Tieflockerung leidet dieser Standort (G9.3) wie die Profilmorphologie und bodenphysikalische Untersuchungen zeigen, unter Verdichtung und Staunässe.

Von den Rekultivierungsflächen geht es nach Gymnich in das Tal der Erft. Wegen der jahrzehntelangen Sümpfung im Vorfeld der Braunkohletagebaue fließt die Erft in ihren bindigen Auensedimenten rinnenartig über dem ansonsten grundwasserfreien pleistozänen Terrassenkörper des Rheins. Hierdurch können die ehemals nassen, absoluten Grünlandstandorte in der Aue nun beackert werden.

- Profil G9.4 - T4Al 53/57; Pseudogley-Reliktgley in Auenlage aus Auenablagerungen der Erft

Nach dem Mittagessen in einer Gaststätte in Türnich fahren wir quer durch die intensiv ackerbaulich genutzte Jülicher Lössbörde in das Aachener Steinkohlerevier, wo der historische Bergbau über 200 Jahre lang – von 1800 bis 1997 – industriell Steinkohle gefördert hat. Hier liegt das Musterstück in einer zeitweilig vernässten Mulde, die durch Reliefänderungen über abgebauten Kohleflözen entstanden ist.

- Profil G9.5 - L5 Lö 60/59; Kolluvisol-Pseudogley aus kolluvialem Löß

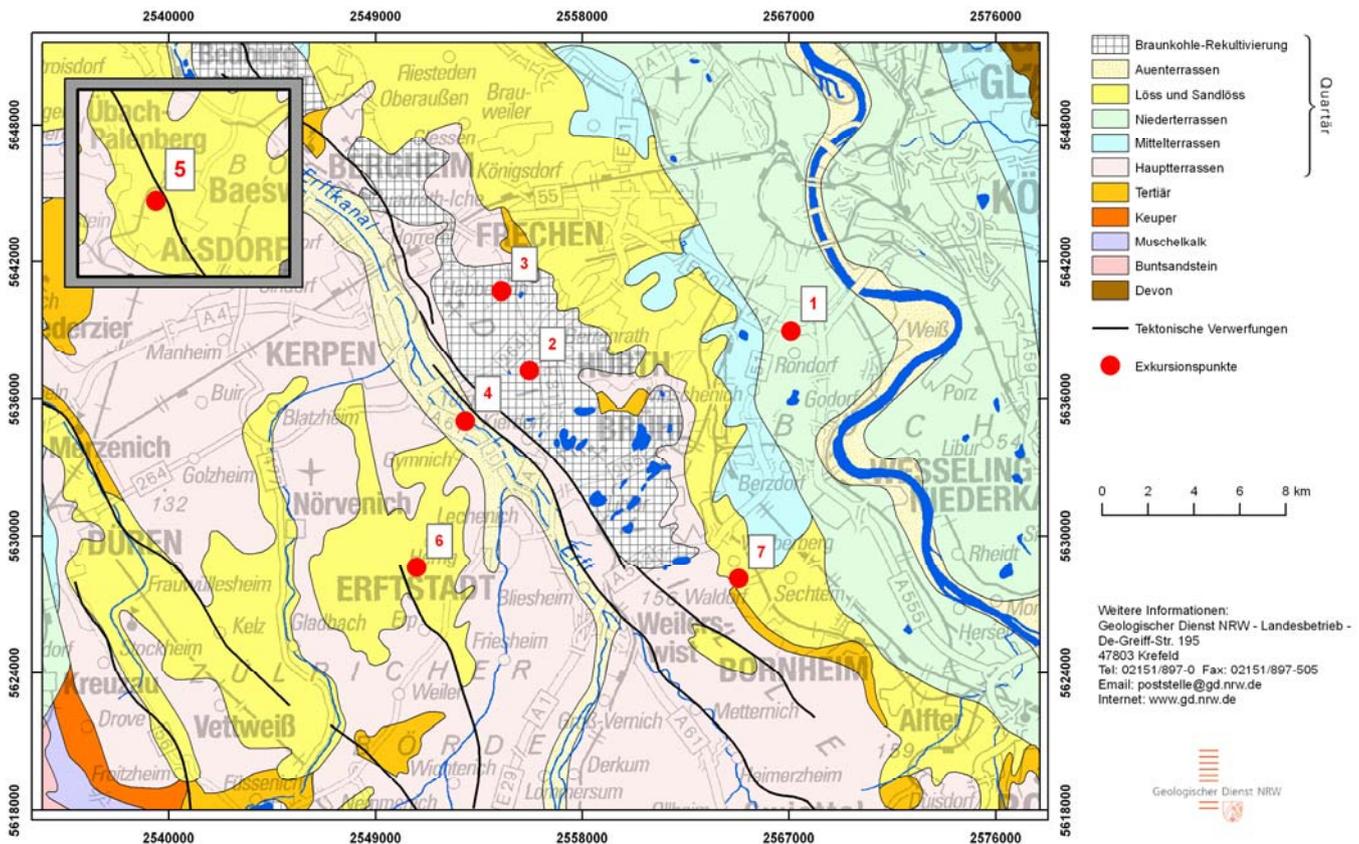
Von Alsdorf aus geht es auf der A4 am Tagebau Inden vorbei nach Erftstadt. Im Regenschatten, der Eifel haben sich weniger tief entkalkte Lössflächen mit Schwarzerderrelikten erhalten. Besucht wird das höchstbewertete Musterstück in NRW:

- G9.6 - L1 Lö 92/103; Tschernosem-Parabraunerde aus Löß über Hauptterrasse

Über den Villerücken führt der Weg zu den erosionsgefährdeten Vorgebirgsböden bei

## Geologie der südlichen Niederrheinischen Bucht

Herausgegeben vom Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen



Bornheim. Hier demonstriert die Landwirtschaftskammer NRW die Verwendung eines digitalen Beratungsinstruments zum vorsorgenden Erosionsschutz, das auch auf den Schätzungsdaten und der „Bodenkarte 1 : 5 000 auf der Grundlage der Bodenschätzung“ aufbaut.

- G9.7 – Darstellung des Programms „Erosionsmanagement in der Landwirtschaft“

Für Zugreisende hält der Bus zwischen 19.00 Uhr und 19.30 Uhr am Bonner Hauptbahnhof, danach geht es zurück nach Bonn zum Abfahrtsort.

### Profilbeschreibung und Analysen

Auf den folgenden Seiten werden die Profilbeschreibung, die Profilkennzeichnung sowie die Ergebnisse der physikalischen und chemischen Analysen zu den Exkursionspunkten vorgestellt. Abweichend von den einheitlichen Vorgaben wird für diese Exkursion das

Ergebnis der Schätzung durch den Schätzungsbeirat und die aus den Ergebnissen der Pipettmethode von Köhn berechnete Korngrößenverteilung nach Kopecky vorangestellt. Diese Darstellung bezieht sich auf die aktuell ermittelten Korngrößen an Hand der bodenkundlichen Profilbeschreibung. Sie kann im Einzelfall geringfügig von den Analysen zum Zeitpunkt der Anlage der Musterstücke abweichen.

Die Profilbeschreibung und Analysen für den letzten Punkt (G9.7) sowie ergänzende Informationen zu den übrigen Profilen/Musterstücken werden den Exkursionsteilnehmern in einem separatem Exkursionsführer übergeben.

## Exkursionspunkt G9.1: Musterstück 5219.02

### Ergebnis Schätzungsbeirat

Horizont Mächtigkeit (dm)	Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feuchte	Sonstige s	Bodenart	Schätzung
<i>1</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>	<i>57</i>	<i>58</i>	<i>59</i>
2,5 3,0 4,5	h 2						S, 1 1 f S S, 1 1	SI 3 D 35 / 38

### Korngrößen nach Kopecky

Horizont	Abschlamm- bares	Staubsand	Feinsand	Grobsand	Steine	Bodenart
	< 0,01	0,01 - 0,05	0,05 - 0,1	0,1 - 2,0	> 2,0	
<i>1</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>
1	10,9	8,2	10,4	70,5	n. b.	SI
2	9,1	2,3	5,1	83,5	n. b.	S
3	8,9	7,1	12,3	71,7	n. b.	S

### Profilbeschreibung

**Bearbeiter:** Joachim Betzer **TK25:** 5107 Brühl **Datum:** 09.11.2006  
**Lage:** RW: 2567110 HW: 5638980 52 m NN **Kreis:** Erftkreis  
**Jahresmitteltemperatur:** 10,3°C **Niederschlag:** 681,2 mm  
**Relief:** Terrasse **Nutzung:** Acker

Hor. Nr.	Horizont-/ symbol	Ober-/ Unter- grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	0-40cm	schwach lehmiger Sand, nesterweise feinsandiger Mittelsand und schwach toniger Sand, sehr schwach kiesig; gräulich gelbbraun (10YR 4/2); schwach humos; mittleres Subpolyederggefüge; mittlere Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte mittlere Durchwurzelung <i>Fluvi-Sand (SI2 ki1)</i>
2	Bbt + Bv <sub>1</sub>	-90cm	feinsandiger Mittelsand mit Bändern aus tonigem und schwach tonigem Sand; trüb gelborange (10YR 6/4); humusfrei; Einzelkorngefüge; mittlere Lagerungsdichte; sehr schwache Durchwurzelung <i>Fluvi-Sand (MSfs)</i>
3	Bv + Bbt <sub>1</sub>	-115cm	schwach lehmiger Sand, mit Bändern aus tonigem Sand, sandig-lehmigem Schluff und feinsandigem Mittelsand; braun (7,5YR 4/4); grobes Subpolyederggefüge; mittlere Lagerungsdichte; sehr schwache Durchwurzelung <i>Fluvi-Sand (SI2)</i>
4	Bbt + Bv <sub>2</sub>	-125cm	Mittelsand mit Bändern aus tonigem Sand und schwach-lehmigem Sand; trüb orange (7,5YR 6/4); Einzelkorngefüge; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Fluvi-Sand (Ms)</i>

5	Bv + Bbt <sub>2</sub>	-140cm	schwach schluffiger Sand, nesterweise schwach lehmiger Sand und schwach toniger Sand; braun (7,5YR 4/4); grobes Subpolyederggefüge; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Fluvi-Sand (Su2)</i>
6	elCvc	-200cm	feinsandiger Mittelsand, in Feinschichtung mit mittelsandigem Grobsand und schwach lehmigem Sand; trüb orange (7,5YR 6/4); mittel carbonathaltig; Einzelkorngefüge und Schichtgefüge; mittlerer Anteil harter Kalkkonkretionen in Wurzelbahnen; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Fluvi-Carbonat -Sand (MSfs)</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	LLd: f-s(St)
<b>Bodenformen- bezeichnung:</b>	Bänderparabraunerde aus Fluvi-Sand (aus Niederterrassensand des Rheins)
<b>WRB:</b>	Cutanic, Lamellic Luvisol (Hypereutric, Arenic)
<b>Anmerkungen:</b>	

### Physikalische und chemische Analysen G9.1

Horizont	Tiefe cm	Textur (Mas-% der kalk- und humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub> g cm <sup>-3</sup>
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Ap	-40	1,6	47,5	30,0	7,3	4,1	3,7	5,8	
Bbt + Bv <sub>1</sub>	-90	0,5	71,6	16,0	2,0	1,2	1,2	7,5	
Bv + Bbt <sub>1</sub>	-115	1,8	43,6	36,8	7,3	2,4	1,5	6,6	
Bbt + Bv <sub>2</sub>	-125	2,2	79,1	14,2	0,6	1,3	0,6	2,0	n. b.
Bv + Bbt <sub>2</sub>	-140	5,2	43,3	33,6	8,7	3,0	2,3	3,9	
elCv	-200	4,4	51,0	33,4	5,8	1,8	1,7	1,9	
Bbt-Bänder	40-90	0,5	67,4	18,8	1,1	1,0	1,0	10,2	
fS- u. U- Bänder	125-145	0,6	19,8	59,2	11,2	3,6	2,4	3,2	

Horizont	Carbonat Mas-%	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> ) (Proben 1 - 5, 7 = KAK <sub>eff.</sub> ; Proben 6, 8 = KAK <sub>p</sub> )					BS %
				Na	K	Mg	Ca	H + Al	
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Ap	0,14	7,5	7,4	<0,005	0,44	0,40	8,21	<0,01	99
Bbt + Bv <sub>1</sub>	0,18	7,7	7,2	<0,005	0,41	0,37	5,08	<0,01	99
Bv + Bbt <sub>1</sub>	<0,1	7,8	7,0	<0,005	0,34	0,37	4,60	<0,01	99
Bbt + Bv <sub>2</sub>	0,14	7,8	6,9	<0,005	0,17	0,17	2,38	<0,01	98
Bv + Bbt <sub>2</sub>	<0,1	8,0	6,9	<0,005	0,26	0,27	3,94	<0,01	99
elCv	5,64	8,8	8,1	<0,005	0,28	0,28	5,82	<0,01	100
Bbt-Bänder	0,19	7,4	6,9	<0,005	0,54	0,54	5,99	<0,01	99
fS- u. U- Bänder	8,51	8,4	7,8	<0,005	0,36	0,36	6,57	<0,01	100

**(Fortsetzung G9.1)**

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	KAK <sub>eff</sub> / KAK <sub>p</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>
	cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup>		Mas-%	Mas-%	g·100 <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>36</i>
Ap		9,1		0,7	0,04	0,07
Bbt + Bv <sub>1</sub>		5,9		<0,1	<0,01	
Bv + Bbt <sub>1</sub>		5,4		<0,1	<0,01	
Bbt + Bv <sub>2</sub>		2,8	n. b.	<0,1	<0,01	n. b.
Bv + Bbt <sub>2</sub>		4,5		<0,1	<0,01	
eICv	2,4			<0,1	<0,01	
Bbt-Bänder		7,1		n. b.	n. b.	
fS- u. U-Bänder	3,5			<0,1	<0,01	

n.b. = nicht bestimmt

**Exkursionspunkt G9.2: Musterstück 5224.04**

**Ergebnis Schätzungsbeirat**

Horizont	Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feuchte	Sonstige	Boden-	Schätzung
Mächtigkeit (dm)						s	art	
<i>1</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>	<i>57</i>	<i>58</i>	<i>59</i>
3,0	h 1	ka 4					L, fs 3	<b>L</b>
5,0 – 6,0		ka 4 – ka 3					L, fs 3	<b>4</b>
1,0 – 2,0							Ki, s 4	<b>Lö</b> <b>73 / 79</b>

**Korngrößen nach Kopecky**

Horizont	Abschlamm-	Staubsand	Feinsand	Grobsand	Steine	Boden-
	bares					
	< 0,01	0,01 - 0,05	0,05 - 0,1	0,1 - 2,0	> 2,0	Kopecky
<i>1</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>
jAp	28,1	52,9	14,1	4,9	n. b.	sL
jelC	28,7	55,0	13,8	2,5	n. b.	sL
jelC	28,7	52,6	14,2	4,5	n. b.	sL
II jilC <sub>1</sub>	9,9	4,7	5,3	80,1	n. b.	S
II jilC <sub>2</sub>	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	
II jilC <sub>3</sub>	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	

n.b. = nicht bestimmt;

**Profilbeschreibung**

**Bearbeiter:** Joachim Betzer/ Reinhold Roth **TK25:** 5106 **Datum:** 30.10.2006  
 Kerpen  
**Lage:** RW: 2555730 HW: 5637218 133 m NN **Kreis:** Erftkreis  
**Jahresmitteltemperatur:** 10,3°C **Niederschlag:** 681,2 mm  
**Relief:** Plateau **Nutzung:** Acker

HorNr.	Horizon t-/ symbol	Ober-/ Unter- grenze	Horizontbeschreibung
1	jAp	0-35cm	toniger Schluff, sehr schwach kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 5/3), in Flecken trüb gelborange; schwach humos; sehr schwach kohlehaltig (Braunkohle); mittel carbonathaltig; mittleres Subpolyederggefüge; sehr kleine weiche Eisen-/Mangankonkretionen mit geringem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>verspülter Carbonat-Schluff (Ut3)</i>
2	jelC	-85cm	toniger Schluff, feingeschichtet mit schwach und stark tonigem Schluff, sehr schwach kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 5/4); sehr schwach kohlehaltig (Braunkohle); stark carbonathaltig; Kohärentgefüge; sehr kleine weiche Eisen-/Mangankonkretionen mit geringem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>verspülter Carbonat - Schluff (Ut3)</i>
3	II jilC <sub>1</sub>	-105cm	schwach toniger Sand, mittel kiesig, Spaltenfüllung mit tonigem Schluff, Bänder aus schwach schluffigem Ton; trüb gelbbraun (10YR 4/3), in Bändern braun, in Adern gelblichbraun; schwach kohlehaltig (Braunkohle); Kohärentgefüge; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>gekippter Skelett führender Sand (St2 ki3)</i>
4	II jilC <sub>2</sub>	-130cm	grobsandiger Mittelsand mit Bändern aus schwach tonigem Sand, schwach kiesig; grünlich gelbbraun (10YR 6/2); sehr schwach kohlehaltig (Braunkohle); Einzelkorngefüge; mittlere Lagerungsdichte <i>gekippter Skelett führender Sand (MSGs, ki2)</i>
5	II jilC <sub>3</sub>	-200cm	grobsandiger Mittelsand, schwach kiesig; grünlich gelbbraun (10YR 5/2); sehr schwach kohlehaltig (Braunkohle); Einzelkorngefüge; geringe Lagerungsdichte <i>gekippter Skelett führender Sand (MSGs, ki2)</i>

**Profilkennzeichnung**

<b>Bodenformensymbol:</b>	<b>RZ: os-eu(Lo,Lol)//oj-(k)s(t,lpq)</b>
<b>Bodenformenbezeichnung</b>	Pararendzina aus verspültem Carbonat-Schluff (aus Löss, Lösslehm) über tiefem gekipptem Skelett führendem Sand (aus tertiären Sande und pleistozänen Terrassensanden)
<b>WRB:</b>	Haplic Regosol (Brunic, Calcaric, Siltic, Transportic)
<b>Anmerkungen:</b>	RWE-Nassrektivierung von 1965

## Physikalische und chemische Analysen G9.2

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der kalk- und humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub>
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	g cm <sup>-3</sup> .
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
jAp	0-35	0,4	2,1	3,3	52,8	20,0	4,7	16,7	n. b.
jelC	-60	0,1	1,0	2,0	52,9	22,9	5,3	15,8	n. b.
jelC	-85	0,1	1,3	4,6	51,8	20,5	5,7	16,2	1,56
II jilC <sub>1</sub>	-105	15,0	54,4	15,0	4,1	2,4	1,9	7,2	n. b.
II jilC <sub>2</sub>	-130	15,6	58,2	14,3	3,5	2,2	1,1	5,1	1,60
II jilC <sub>3</sub>	-200	17,9	60,3	9,7	4,0	2,2	1,3	4,6	n. b.

Horizont	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>	
	>50µm	50-	10-0,2µm	<0,2µ	Vol.-%	mm	cm · s <sup>-1</sup>	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
jAp					n. b.			
jelC	2,4	3,6	26,9	9,3	42,3	30,5	6,5 x 10 <sup>-5</sup>	5,6
II jilC <sub>1</sub>					n. b.			
II jilC <sub>2</sub>	24,3	2,5	10,4	2,4	39,6	12,9	6,9 x 10 <sup>-3</sup>	597,7
II jilC <sub>3</sub>					n. b.			

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
jAp	3,72	8,0	7,6	0,09	0,55	0,79	9,0	<0,01	100
jelC	5,02	8,3	7,7	0,04	0,24	0,58	8,7	<0,01	100
jelC	5,30	8,2	7,7	0,03	0,25	0,71	8,4	<0,01	100
II jilC <sub>1</sub>	0,12	7,9	7,2	<0,02	0,08	0,31	3,7	<0,03	99
II jilC <sub>2</sub>	0,12	7,9	6,9	<0,02	0,05	0,19	1,7	0,10	94
II jilC <sub>3</sub>	<0,1	7,8	6,9	<0,02	0,07	0,21	1,7	<0,03	98

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO<sub>4</sub>)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>
jAp	10,5		0,7	0,07	10	0,065
jelC	9,6		0,2	0,01		
jelC	9,4		0,2	0,01		
II jilC <sub>1</sub>		4,2	0,2	<0,01	n. b.	n. b.
II jilC <sub>2</sub>		2,1	<0,1	<0,01		
II jilC <sub>3</sub>		2,0	<0,1	<0,01		

n.b. = nicht bestimmt

### Exkursionspunkt G9.3: Musterstück 5224.02

#### Ergebnis Schätzungsbeirat

Horizont Mächtigkeit (dm)	Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feuchte	Sonstige s	Boden- art	Schätzung
<i>1</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>	<i>57</i>	<i>58</i>	<i>59</i>
3,5 2,5 – 3,5 3,0 – 4,0	h 1 – h 2	ka 4 ka 4 ka 4			v 1 v 3 – v 4		L, fs 3 L,fs3,ki1 L,fs3,ki1	<b>L</b> <b>4</b> <b>Lö</b> <b>65 / 70</b>

#### Korngrößen nach Kopecky

Horizont	Abschlamm- bares	Staubsand	Feinsand	Grobsand	Steine	Boden- art
	< 0,01	0,01 - 0,05	0,05 – 0,1	0,1 – 2,0	> 2,0	
<i>1</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>
1	26,7	49,2	13,4	10,7	n. b.	sL
2	29,6	51,5	13,3	5,6	n. b.	L
3	28,2	49,1	12,5	10,2	n. b.	sL
4	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	

#### Profilbeschreibung

**Bearbeiter:** Joachim Betzer/ Reinhold Roth **TK25:** 5006 Frechen **Datum:** 31.10.2006  
**Lage:** RW: 2554506 HW: 5640709 115 m NN **Kreis:** Erftkreis  
**Jahresmitteltemperatur:** 9,9°C **Niederschlag:** 632,7 mm

Hor. Nr.	Horizont-/ symbol	Ober-/ Unter- grenze	Horizontbeschreibung
1	jAp	0-35cm	toniger Schluff, sehr schwach kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 5/3); schwach humos; mittel carbonathaltig; mittleres Subpolyedergefüge; sehr kleine weiche Eisen-/Mangankonkretionen mit geringem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>gekippter Carbonat-Schluff (U13 ki1)</i>
2	Sw-jelC	-65cm	toniger Schluff, schwach kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 5/4); mittel carbonathaltig; sehr schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge; hohe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte schwache Durchwurzelung <i>gekippter Skelett führender Carbonat-Schluff (U13 ki2)</i>
3	Sd-jelC	-105cm	toniger Schluff, schwach kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 5/4); mittel bis stark carbonathaltig; mittleres Plattengefüge; hohe Lagerungsdichte; sehr schwache Durchwurzelung in Wurm- und Wurzelröhren <i>gekippter Skelett führender Carbonat-Schluff (U13 ki2)</i>

4	II jilC <sub>1</sub>	-145cm	grobsandiger Mittelsand und schwach lehmiger Sand, örtlich Linsen aus schwach schluffigem Ton und stark tonigem Schluff, stark kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 5/4); sehr schwach kohlehaltig (Braunkohle); Kohärentgefüge; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>gekippter Skelettsand (MSGs und SI2, ki4)</i>
5	II jilC <sub>2</sub>	-200cm	grobsandiger Mittelsand und schwach lehmiger Sand, stark kiesig; braun (10YR 4/4); sehr schwach kohlehaltig (Braunkohle); Kohärentgefüge, mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>gekippter Skelettsand (MSGs und SI2, ki4)</i>

#### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	<b>SS-RZ:</b> oj-(k)u(Lo,Lol)//oj-ks(t,lpq)
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Pseudogley-Pararendzina aus gekipptem Skelett führendem Carbonat-Schluff (aus Löss, Lösslehm) über tiefem gekipptem Skelettsand (aus tertiären Sanden und pleistozänen Terrassensanden)
<b>WRB:</b>	Stagnic Regosol (Calcaric, Densic, Siltic, Transportic)
<b>Anmerkungen:</b>	RWE-Rekultivierung von 1965

#### Physikalische und chemische Analysen G9.3

Horizont	Tiefe cm	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- und humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub> g ·
			gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
jAp	0-35		2,1	5,9	3,8	49,2	18,5	5,8	14,7	n. b.
Sw-jelC	-65		1,5	2,5	2,2	50,5	20,5	5,9	16,9	1,68
Sd-jelC	-105	n. b.	3,8	4,5	2,7	47,1	20,5	5,1	16,3	1,74
II jilC <sub>1</sub>	-145		26,6	41,3	14,5	7,5	4,3	2,4	3,4	n. b.
II jilC <sub>2</sub>	-200		34,1	35,7	12,1	7,1	3,8	2,8	4,4	n. b.

Horizont	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>	
	>50µm	50-	10-	<0,2µm	Vol.-%	mm	cm · s <sup>-1</sup>	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
jAp					n. b.			
Sw-jelC	6,2	3,1	18,7	10,0	38,1	21,8	1,7 x 10 <sup>-4</sup>	14,5
Sd-jelC	2,8	2,4	17,3	12,9	35,4	19,7	1,4 x 10 <sup>-5</sup>	1,2
II jilC <sub>1</sub>					n. b.			
II jilC <sub>2</sub>					n. b.			

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
jAp	3,04	7,8	7,5	0,03	0,54	0,74	9,40	<0,01	100
Sw-jelC	3,98	8,2	7,7	0,07	0,23	0,69	8,90	<0,01	100
Sd-jelC	4,28	8,3	7,7	0,06	0,27	1,08	7,30	<0,01	100
II jilC <sub>1</sub>	0,11	8,4	7,8	<0,02	0,07	0,41	2,94	<0,01	98
II jilC <sub>2</sub>	0,11	8,1	7,8	<0,02	0,06	0,44	3,00	<0,01	98

**(Fortsetzung G9.3)**

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
jAp	10,7		0,8	0,09	9	0,052	
Sw-jelC	9,9		0,3	0,03			
Sd-jelC	8,7		0,2	0,03	n. b.	n. b.	n. b.
II jilC <sub>1</sub>		3,5	<0,1	<0,01			
II jilC <sub>2</sub>		3,6	<0,1	0,05			

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>i</sub>	Al <sub>i</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>				
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>
jAp	1,3	7,9	0,2	1,1	<0,3			
Sw-jelC	1,5	8,2	0,2	1,2	<0,3			
Sd-jelC	1,4	7,7	0,2	1,0	0,3	n. b.	n. b.	n. b.
II jilC <sub>1</sub>	0,4	2,9	0,2	0,5	<0,3			
II jilC <sub>2</sub>	0,7	7,4	0,1	0,8	0,4			

n.b. = nicht bestimmt;

## Exkursionspunkt G9.4: Musterstück 5224.06

### Ergebnis Schätzungsbeirat

Horizont Mächtigkeit (dm)	Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feuchte	Sonstige s	Boden- art	Schätzung
<i>1</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>	<i>57</i>	<i>58</i>	<i>59</i>
3,0	h 3						T, 1 3	<b>T</b>
1,5 – 2,0	h 2			ei 2			T, 1 3	<b>4</b>
2,0 – 2,5			gb 3	ei 2			L, t 4	<b>Al</b>
2,5 – 3,5			gb3- gb4	ei 4			L,fs2-kr	<b>53 / 57</b>

### Korngrößen nach Kopecky

Horizont	Abschlamm- bares	Staubsand	Feinsand	Grobsand	Steine	Boden- art
	< 0,01	0,01 - 0,05	0,05 – 0,1	0,1 – 2,0	> 2,0	Kopecky
<i>1</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>
1	67,7	20,6	4,4	7,3	n. b.	T
2	68,5	16,6	4,0	10,9	n. b.	T
3	62,2	27,8	6,2	3,8	n. b.	T
4	50,3	38,7	8,6	2,4	n. b.	LT
5	42,3	46,0	10,4	1,3	n. b.	L
6	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	

### Profilbeschreibung

**Bearbeiter:** Joachim Betzer/ Reinhold Roth      **TK25:** 5106 Kerpen      **Datum:** 06.11.2006  
**Lage:** RW:      HW: 5635035      85 m NN      **Kreis:** Erftkreis  
**Jahresmitteltemperatur:** 9,7°C      **Niederschlag:** 631,7 mm  
**Relief:** Tal der Erft      **Nutzung:** Acker

Hor. Nr.	Horizont/ symbol	Ober-/ Unter- grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	0-35cm	schluffiger Ton, sehr schwach grusig; dunkelbraun (7,5YR 3/2); stark humos; Klumpengefüge; sehr kleine harte Eisen- Mangankonkretionen mit sehr geringem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Fluvi-Ton (Tu3 gr1)</i>
2	arGo-Sw <sub>1</sub>	-60cm	schwach schluffiger Ton; gräulichbraun (7,5YR 4/2); humos; grobes Prismengefüge; kleine harte Eisen- Mangankonkretionen mit mittlerem Anteil; hohe Lagerungsdichte; mittlere Durchwurzelung in Klüften und Spalten <i>Fluvi-Ton (Tu2)</i>

3	arGo-Sw <sub>2</sub>	-70cm	schwach schluffiger Ton; dunkelgrau (7,5YR 4/0); schwach humos; grobes Prismengefüge; kleine weiche Eisen- Mangankonkretionen mit mittlerem Anteil; hohe Lagerungsdichte; schwache Durchwurzelung in Klüften und Spalten <i>Fluvi-Ton (Tu2)</i>
4	aSd-rGo	-90cm	schluffiger Ton; gelblichbraun (10YR 5/6); schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge; sehr kleine weiche Eisen- Mangankonkretionen mit geringem Anteil; hohe Lagerungsdichte; schwache Durchwurzelung in Klüften und Spalten <i>Fluvi-Ton (Tu3)</i>
5	arGo	-115cm	stark schluffiger Ton; leuchtend braun (7,5YR 5/8); sehr schwach humos; grobes Prismengefüge; mittlere Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte sehr schwache Durchwurzelung <i>Fluvi-Ton (Tu4)</i>
6	arGor	-125cm	stark toniger Schluff; grau (5Y 6/1); sehr schwach humos; kleines grobes Prismengefüge; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Fluvi-Schluff (Ut4)</i>
7	arGr	-165cm	toniger Schluff und sandig-lehmiger Schluff und schwach toniger Schluff in Wechsellagerung; dunkel-gräulich gelb (2,5 Y 5/2); schwach carbonathaltig; sehr schwach humos; mittleres grobes Polyedergefüge; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Fluvi-Carbonat-Schluff (Ut3)</i>
8	IiarGor-rBv	-200cm	schwach lehmiger Sand und sandig-lehmiger Schluff im Wechsel; leuchtend rötlichbraun (5YR5/6); carbonatarm; sehr schwach humos; Einzelkorngefüge; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Fluvi-Sand (Sl2)</i>
<b>Bodenformensymbol:</b> SS-arGG: f-t,u,eu(Ufo, Tfo)/f-s, es(Sf)			
<b>Bodenformen- bezeichnung:</b> Pseudogley-Reliktogley in Auenlage aus Fluvi-Ton und -Schluff und -Carbonat-Schluff (aus Auenablagerungen der Erft) über tiefem Fluvi-Sand (aus Flussablagerungen der Erft)			
<b>WRB:</b> Mollic, Stagnic Fluvisol (Humic, Hypereutric, Densic, Siltic, Drainic)			
<b>Anmerkungen:</b> Sümpfungsbereich des Rheinischen Braunkohle-Tagebaus Hambach			

### Physikalische und chemische Analysen G9.4

Horizont	Tiefe	Skelett Mas-%	Textur (Mas-% der kalk- und humushaltigen Feinerde)							d <sub>8</sub> g · cm <sup>-3</sup>
	cm		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Ap	-35		0,4	1,7	7,3	9,2	20,5	23,6	37,3	
arGo-Sw <sub>1</sub>	-60		3,1	4,7	4,4	10,9	12,7	17,4	46,8	
arGo-Sw <sub>2</sub>	-70		1,0	1,5	1,8	22,9	15,9	9,6	47,3	
aSd-rGo	-90	n.b.	0,4	0,9	1,5	32,6	21,3	7,6	35,7	n.b.
arGo	-115		0,0	0,4	1,2	40,2	23,9	7,2	27,1	
arGor	-125		0,0	0,5	1,7	49,0	23,1	5,7	20,1	
arGr	-165		0,1	3,0	6,2	56,1	18,0	4,1	12,4	
IiarGor-rBv	-200		12,9	35,8	15,2	19,6	6,7	2,5	7,2	

**(Fortsetzung G9.4)**

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Ap	0,10	7,5	6,8	0,51	0,39	5,47	38,9	0,20	100
arGo-Sw <sub>1</sub>	0,13	7,6	6,7	0,28	0,34	5,87	32,1	0,18	100
arGo-Sw <sub>2</sub>	0,14	7,4	6,4	0,19	0,34	6,52	27,4	0,16	100
aSd-rGo	<0,1	7,5	6,4	0,11	0,24	4,98	18,5	0,11	99
arGo	<0,1	7,5	6,2	0,06	0,24	3,89	12,3	0,07	99
arGor	0,10	7,3	5,9	0,04	0,23	3,14	9,0	0,06	99
arGr	2,62	8,1	7,4	0,04	0,24	2,54	6,7	<00,1	100
IIarGor-rBv	0,67	7,9	7,5	0,03	0,15	1,24	4,2	<0,01	100

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	KAK <sub>eff</sub> / KAK <sub>p</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>		Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Ap		45,5		2,8	0,28	10	0,105	
arGo-Sw <sub>1</sub>		38,8		1,2	0,11	11	0,064	
arGo-Sw <sub>2</sub>		34,6	n. b.	1,0	0,11	9	0,063	n. b.
aSd-rGo		24,0		0,6	0,04		0,066	
arGo		16,6		0,2	0,02		0,035	
arGor		12,5		0,2	<0,01	n. b.	0,027	
arGr	7,5			0,3	<0,01		0,039	
IIarGor-	4,5			0,2	<0,01			

## Exkursionspunkt G9.5: Musterstück 5202.06

### Ergebnis Schätzungsbeirat

Horizont Mächtigkeit (dm)	Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feuchte	Sonstiges	Bodenart	Schätzung
<i>1</i>	52	53	54	55	56	57	58	59
3,0 3,0 – 3,5 3,5 – 4,0	h 2 h 1 – h 2		gb 2	ei 1 ei3 – ei4 ei2 – ei1			L, fs 3 L, fs 3 L, fs 3	<b>L</b> <b>5</b> <b>Lö</b> <b>60 / 58</b>

### Korngrößen nach Kopecky

Horizont	Abschlammbares	Staubsand	Feinsand	Grobsand	Steine	Bodenart
	< 0,01	0,01 - 0,05	0,05 – 0,1	0,1 – 2,0	> 2,0	Kopecky
<i>1</i>	46	47	48	49	50	51
1	32,4	52,2	13,3	2,1	n. b.	L
2	27,1	55,2	14,6	3,1	n. b.	sL
3	27,0	55,3	13,6	4,1	n. b.	sL
4	27,3	52,5	13,6	6,6	n. b.	sL
5	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	
6	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	

n.b. = nicht bestimmt;

### Profilbeschreibung

**Bearbeiter:** Joachim Betzer **TK25:** 5002 Geilenkirchen **Datum:** 20.09.2007  
**Lage:** RW:2511664 HW:5640799 136 m NN **Kreis:** Heinsberg  
**Jahresmitteltemperatur:** 9,9°C **Niederschlag:** 730 mm  
**Relief:** Mulde **Nutzung:** Acker

Hor. Nr.	Horizont-/symbol	Ober-/Untergrenze	Horizontbeschreibung
1	Sw-Ap	0-35cm	stark toniger Schluff, schwach kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 5/3); humos; feines Bröckelgefüge; sehr kleine weiche Eisenkonkretionen mit geringem Anteil; geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>umgelagerter Skelett führender Schluff (Ut4, ki2)</i>
2	M-Sd	-60cm	toniger Schluff; schwach kiesig-grusig; trüb gelblichbraun (10YR 5/3); schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge; kleine weiche Eisenkonkretionen vorwiegend in Wurzelbahnen mit hohem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; mittlere Durchwurzelung in Klüften und Spalten <i>umgelagerter Skelett führender Schluff (Ut3,gr ki2)</i>

3	II Swd <sub>1</sub>	-80cm	toniger Schluff, schwach kiesig-grusig; trüb gelborange (10YR 6/3); sehr schwach humos; mittleres Prismengefüge; kleine weiche Eisenkonkretionen vorwiegend in Wurzelbahnen mit mittlerem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte sehr schwache Durchwurzelung <i>umgelagerter Skelett führender Schluff (Ut3,gr ki2)</i>
4	II Swd <sub>2</sub>	-135cm	toniger Schluff, schwach grusig; trüb gelborange (10YR 6/3); sehr schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge und Schichtgefüge; kleine weiche Eisenkonkretionen vorwiegend in Wurzelbahnen mit geringem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte sehr schwache Durchwurzelung <i>umgelagerter Skelett führender Schluff (Ut3,gr2)</i>
5	II Swd <sub>3</sub>	-155cm	schluffiger Lehm und toniger Schluff; schwach grusig; trüb gelblichbraun (10YR 5/4); sehr schwach humos; grobes Prismengefüge; kleine weiche Eisenkonkretionen vorwiegend in Wurzelbahnen mit mittlerem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>umgelagerter Skelett führender Schluff (Lu gr2)</i>
6	III fAh + Swd	-200cm	schluffiger Lehm und toniger Schluff, schwach grusig; trüb gelblichbraun (10YR 5/4); sehr schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge; kleine weiche Eisenkonkretionen vorwiegend in Wurzelbahnen mit geringem Anteil; mittlere Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>umgelagerter Skelett führender Schluff (Lu gr2)</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymb:</b>	YK-SS: u-(k)u(Lol)
<b>Bodenformenbez.:</b>	Kolluvisol-Pseudogley aus umgelagert. Skelett führendem Schluff (aus Lösslehm)
<b>WRB:</b>	Haplic Stagnosol (Albic, Hypereutric, Siltic)
<b>Anmerkungen:</b>	Bergsenkungsgebiet

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe cm	Textur (Mas-% der kalk- und humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub> g · cm <sup>-3</sup>
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Sw-Ap	0-35	0,3	0,6	1,7	51,3	20,7	7,6	17,9	n. b.
M-Sd	-60	0,5	1,0	2,3	55,6	20,2	6,3	14,1	1,54
II Swd <sub>1</sub>	-80	0,6	1,4	3,0	51,2	25,4	3,1	15,4	1,52
II Swd <sub>2</sub>	-135	1,6	2,6	3,3	50,7	21,8	5,1	14,9	1,58
II Swd <sub>3</sub>	-155	1,0	1,2	2,0	39,7	28,4	6,5	21,0	1,58
III fAh + Swd	-200								

**(Fortsetzung G9.5)**

Horizont	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	$k_f$	
	>50 $\mu$ m	50-	10-	<0,2 $\mu$ m	Vol.-%	mm	cm · s <sup>-1</sup>	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
Sw-Ap					n. b.			
M-Sd	4,4	3,6	23,8	10,7	42,4	27,4	9,5 x 10 <sup>-5</sup>	8,2
II Swd <sub>1</sub>	4,8	4,5	25,1	9,1	43,6	29,6	11,2 x 10 <sup>-5</sup>	9,7
II Swd <sub>2</sub>	3,3	5,1	24,0	8,7	41,2	29,1	8,3 x 10 <sup>-5</sup>	7,2
II Swd <sub>3</sub>	3,6	3,7	24,3	9,7	41,3	28,0	11,2 x 10 <sup>-5</sup>	9,7
III fAh + Swd								

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Sw-Ap	<0,1	7,4	6,7	0,09	0,72	0,96	8,45	0,06	99
M-Sd	<0,1	6,9	5,8	0,08	0,43	0,60	6,11	0,05	98
II Swd <sub>1</sub>	<0,1	7,0	5,8	0,05	0,32	0,49	5,63	0,03	99
II Swd <sub>2</sub>	<0,1	7,0	5,8	0,05	0,24	0,50	5,53	0,04	98
II Swd <sub>3</sub>	<0,1	6,9	5,6	0,04	0,21	0,71	6,75	0,03	99
III fAh + Swd									

Horizont	KAK <sub>eff</sub>	KAK <sub>eff</sub> / KAK <sub>p</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO<sub>4</sub>)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>		Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Sw-Ap	10,4		1,2	0,08	14	0,070	
M-Sd	7,4		0,9	0,06	15	0,056	
II Swd <sub>1</sub>	6,6	n. b.	0,4	0,04	12	0,036	n. b.
II Swd <sub>2</sub>	6,4		0,3	0,03	12	0,035	
II Swd <sub>3</sub>	7,8		0,3	0,04	8	0,085	
III fAh + Swd							

## Exkursionspunkt G9.6: Musterstück 5224.08

### Ergebnis Schätzungsbeirat

Horizont	Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feuchte	Sonstige	Bodenart	Schätzung
Mächtigkeit (dm)								
<i>1</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>	<i>57</i>	<i>58</i>	<i>59</i>
3,5	h 3						L, fs3, mi	<b>L</b>
2,5	h 2		(swbr)				L, fs3, mi	<b>1</b>
4,0	h 2 – h 1		(swbr)				L, fs 2	<b>Lö</b> <b>92 / 103</b>

### Korngrößen nach Kopecky

Horizont	Abschlamm-bares	Staubsand	Feinsand	Grobsand	Steine	Bodenart
	< 0,01	0,01 - 0,05	0,05 - 0,1	0,1 - 2,0	> 2,0	Kopecky
<i>1</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>
1	29,5	53,2	13,6	3,6	n. b.	sL
2	32,1	52,6	13,0	2,4	n. b.	L
3	37,6	49,0	12,0	1,4	n. b.	L
4	36,4	49,6	12,7	1,3	n. b.	L
5	34,7	48,7	14,0	2,6	n. b.	L
6	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	

### Profilbeschreibung

**Bearbeiter:** Joachim Betzer/Reinhold Roth **TK25:** 5206 Erp **Datum:** 26.10.2007  
**Lage:** RW: HW: 5628601 116 m NN **Kreis:** Erftkreis  
 2550815  
**Niederschlag:** 631,7 mm **Jahresmitteltemperatur:** 9,7°C  
**Relief:** Hangmulde **Nutzung:** Acker

Hor. Nr.	Horizon t-/symbol	Ober-/Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	0-35cm	toniger Schluff, schwach kiesig; braun (10YR 4/4); schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge; mittlere Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte sehr starke Durchwurzelung <i>Skelett führender äolischer Schluff (aus Löss) (Ut3, ki2)</i>
2	Axh-Al	-40cm	stark toniger Schluff, sehr schwach kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 4/3), in Flecken gräulich gelbbraun; schwach humos; mittleres Subpolyedergefüge; mittlere Lagerungsdichte; mittelgroße weiche Eisen-Manganflecken mit mittlerem Anteil; regelmäßig verteilte sehr starke Durchwurzelung <i>äolischer Schluff (aus Löss) (Ut4, ki1)</i>
3	Bt-Axh	-70cm	stark toniger Schluff, sehr schwach kiesig; dunkelbraun (10YR 4/3); in Flecken trüb gelblichbraun und dunkelbraun; sehr schwach humos; grobes Prismengefüge; mittlere Lagerungsdichte; in Wurm- und Wurzelröhren starke Durchwurzelung <i>äolischer Schluff (aus Löss) (Ut4, ki1)</i>

4	Axh-Bt <sub>1</sub>	-90cm	stark schluffiger Ton, sehr schwach kiesig; trüb gelblichbraun (10YR 5/4), in Flecken braun; sehr schwach humos; grobes Prismengefüge; mittlere Lagerungsdichte; in Wurm- und Wurzelröhren mittlere Durchwurzelung <i>äolischer Ton (aus Löss) (Tu4, ki1)</i>
5	Axh-Bt <sub>2</sub>	-105cm	stark schluffiger Ton, sehr schwach kiesig; dunkelbraun (10YR 3/3), in Flecken trüb gelblichbraun; sehr schwach humos; grobes Prismengefüge; mittlere Lagerungsdichte; in Wurm- und Wurzelröhren mittlere Durchwurzelung <i>äolischer Ton (aus Löss) (Tu4, ki1)</i>
6	eIC	-230cm	toniger Schluff, sehr schwach kiesig; trüb gelborange (10YR 6/4); carbonatreich; sehr schwach humos; Kohärentgefüge; mittlere Lagerungsdichte; einzelne Lößkindl; sehr schwache Durchwurzelung <i>äolischer Carbonat-Schluff (aus Löss) (Ut3, ki1)</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	TT-LL: a-(k)u,t(Lo)//a-eu(Lo)
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Tschernosem-Parabraunerde aus z. T. Skelett führendem äolischem Schluff und Ton (aus Löss) über tiefem äolischem Carbonat-Schluff (aus Löss)
<b>WRB:</b>	Cutanic Luvisol (Humic, Hypereutric, Profundic, Siltic)
<b>Anmerkungen:</b>	

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe cm	Textur (Mas-% der kalk- und humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub> g · cm <sup>-3</sup>
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Ap	0-35	0,4	1,3	2,7	51,5	21,9	7,8	14,4	n. b.
Axh-Al	-40	0,2	0,8	1,9	49,7	23,0	6,8	17,6	n. b.
Bt-Axh	-70	0,0	0,5	1,2	46,6	21,1	6,6	24,0	1,46
Axh-Bt <sub>1</sub>	-90	0,0	0,4	1,2	49,6	18,6	4,9	25,3	1,49
Axh-Bt <sub>2</sub>	-105	0,1	0,6	2,7	53,0	13,4	4,8	25,4	1,46
eIC	-230	0,2	0,4	1,5	56,3	19,0	6,2	16,4	1,53

Horizont	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV Vol.-%	nFK mm	k <sub>f</sub>	
	>50µm	50-	10-	<0,2µm			cm · s <sup>-1</sup>	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
Ap					n. b.			
Axh-Al					n. b.			
Bt-Axh	6,5	5,5	19,6	14,3	45,9	25,1	1,9 x 10 <sup>-4</sup>	16,8
Axh-Bt <sub>1</sub>	5,1	3,9	21,1	14,8	45,0	25,0	1,6 x 10 <sup>-4</sup>	13,4
Axh-Bt <sub>2</sub>	7,7	6,4	19,2	12,7	45,9	25,6	1,4 x 10 <sup>-4</sup>	11,8
eIC	2,2	10,0	22,7	8,9	43,8	32,7	0,8 x 10 <sup>-4</sup>	7,2

**(Fortsetzung G9.6)**

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Ap	<0,1	7,3	6,8	0,11	0,71	0,97	10,9	0,07	99
Axh-Al	<0,1	7,9	7,2	0,27	0,37	0,94	10,9	0,07	99
Bt-Axh	0,12	8,1	7,0	0,29	0,28	1,14	13,8	0,09	99
Axh-Bt <sub>1</sub>	0,11	8,0	7,0	0,17	0,34	1,23	15,7	0,10	99
Axh-Bt <sub>2</sub>	0,16	8,0	7,0	0,08	0,24	1,25	15,4	0,10	99
eIC	11,3	8,3	7,7	0,04	0,22	1,21	6,9	<0,10	100

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	KAK <sub>eff</sub> / KAK <sub>p</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO<sub>4</sub>)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>		Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Ap		12,8		1,0	0,10	10	0,059	
Axh-Al		12,6		0,7	0,06	11	0,043	
Bt-Axh		15,6	n. b.	0,5	0,04	14	0,032	n. b.
Axh-Bt <sub>1</sub>		17,5		0,4	0,03	12	0,041	
Axh-Bt <sub>2</sub>		17,1		0,3	0,03	10	0,048	
eIC	8,3			0,3	<0,01	n. b.	0,041	

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Fe <sub>p</sub>	Si <sub>i</sub>	Al <sub>i</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>	Mol				
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>	<i>46</i>
Ap	1,4	8,0	0,2	1,2	0,6	0,8			
Axh-Al	1,9	8,0	0,2	1,3	0,6	0,9			
Bt-Axh	1,5	9,3	0,2	1,8	0,4	1,4	n. b.	n. b.	n. b.
Axh-Bt <sub>1</sub>	1,1	10,8	0,1	1,9	0,4	0,8			
Axh-Bt <sub>2</sub>	1,1	10,3	0,1	1,7	0,5	0,7			
eIC	0,4	6,7	0,1	1,0	<0,3	<0,3			

## **Exkursion G 10**

### **Böden und Weinbau im Ahrtal**

E.-D. Spies, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (Mainz)

S. Lawnik, DLR Mosel, Weinbau und Oenologie (Mayen)

Exkursionsroute: Bonn - Bad Neuenahr - Walporzheim - Ahrweiler - Bad Neuenahr - Bonn

#### **Exkursionsprogramm:**

- Wanderung durch die Weinberge von Walporzheim  
Einführung in Landschaft und Weinbau  
*Bodenprofile:*  
*Kolluvisol aus Lösslehm*  
*Rigosol aus Schiefer/Unterdevon*  
*Rigosol aus kolluvialem Schieferschuttlehm über Kies/Ahr-Niederterrasse*
- Mittagessen in der Winzergenossenschaft Ahrweiler einschließlich Weinprobe
- Besuch des Museums Römervilla in Ahrweiler
- ehemalige Weinbauschule in Ahrweiler  
*Bodenprofil: Rigosol aus Auenlehm über Auensand*
- Bad Neuenahr  
*natürlicher Aufschluss: Lösslehm-Kolluvium über Sandsteinzersatz*  
*Bodenprofil: Parabraunerde-Rigosol aus Lösslehm über Sandsteinzersatz/Unterdevon*

Der vollständige Exkursionsführer ist im Internet unter [www.DBG-Bonn-2009.de](http://www.DBG-Bonn-2009.de) abrufbar und wird darüber hinaus am Exkursionstag an die Teilnehmer verteilt.

## Exkursion H 1: Intensive landwirtschaftliche Bodennutzung in den Kölner Wasserschutzgebieten im Spannungsfeld unterschiedlicher Nutzungsinteressen

A. Wolf

### 1. Zielsetzung

Die Teilnehmer besuchen das Wasserwerk Weiler der RheinEnergie AG und das 126 km<sup>2</sup> große Wasserschutzgebiet „Weiler und Langel/Worringen“ im Nordwesten Kölns (Abb. 1). Bedingt durch die Lage im Randbereich der Stadt Köln, treten hier eine ganze Reihe von Nutzungskonflikten auf. Wesentliche Spannungsfelder aus der Sicht der Wasserversorgung werden dargestellt: der diffuse Eintrag von Schad- oder Störstoffen in das Grundwasser, insbesondere durch die Landwirtschaft, sowie der Bodenverbrauch und die damit verknüpfte Versiegelung durch die Stadtentwicklung und Infrastrukturmaßnahmen.

Dem Boden wird bei der Erläuterung der Nutzungskonflikte eine besondere Rolle zugeschrieben, denn die Konflikte werden sowohl sprichwörtlich, als auch im wahren Sinne „auf, in und um den (selten eigenen, oft fremden, nie neutralen) Boden“ ausgetragen. Dies verdeutlichen die Zahlen der Nutzungserhebungen, die regelmäßig alle 6 Jahre durchgeführt werden. Der Boden als natürliche Lebensgrundlage und lebendiger, sich entwickelnder „Naturkörper“ hat dabei oft keine Fürsprecher, wenn es darum geht, die vermeintlich essentiellen Anforderungen an die Stadtentwicklung in einer urbanen Region umzusetzen. Neben dem Boden ist die Landwirtschaft der große Verlierer im Randbereich der Stadt Köln.

### 2. Die RheinEnergie AG (ehemals GEW Köln AG) als Energie- und Wasserversorger

Die RheinEnergie AG ist ein regionales Energieversorgungsunternehmen für die Strom-, Gas-, Fernwärme- und Wasserversorgung mit

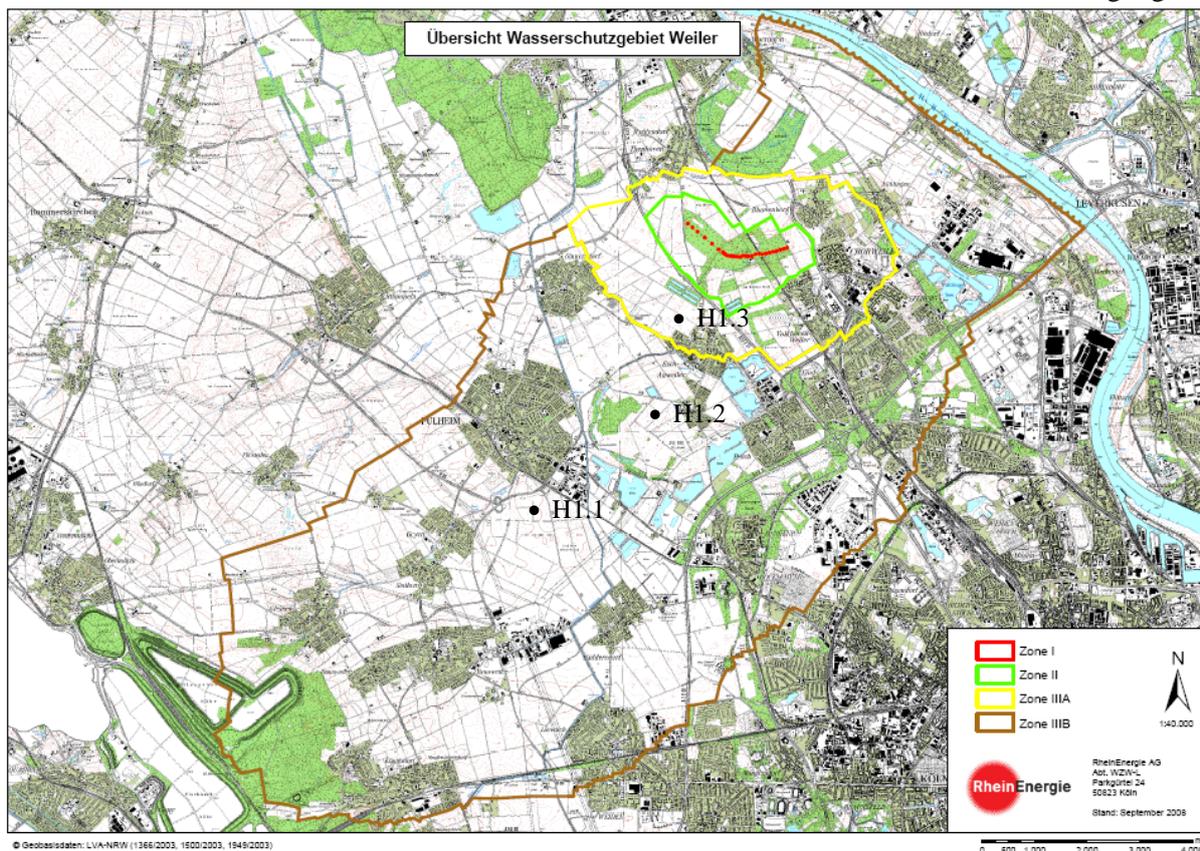


Abb 1: Wasserschutzgebiet Weiler-Langel/Worringen, Exkursionspunkte

Dr. Andreas Wolf  
Bereich Boden Forst- und Landwirtschaft  
RheinEnergie AG  
Parkgürtel 24  
50823 Köln

Sitz in Köln. Das Unternehmen versorgt rund 2,5 Millionen Menschen, Industrie, Handel und Gewerbe mit Energie und Trinkwasser und ist als kommunal verankertes Unternehmen das fünftgrößte Versorgungsunternehmen Deutschlands. Die RheinEnergie AG beschäftigte in 2007 ca. 2.800 Mitarbeiter und zusätzlich 138 Auszubildende. Der Umsatz betrug im glei-

chen Geschäftsjahr 3.018 Mio. € bei einem EBIT von 238 Mio. €

### 3. Das Wasserschutzgebiet „Weiler und Langel/Worringen“

#### Lage und Morphologie:

Das Wasserschutzgebiet „Weiler und Langel/Worringen“ liegt nordwestlich der Stadt Köln bei ca. 40-60 m ü. NN. Es wird geologisch, geomorphologisch und bodenkundlich weitgehend geprägt durch die Niederterrasse und untere Mittelterrasse des Rheins.

#### Klima und Hydrologie:

Unter den Bedingungen eines gemäßigt humiden Klimas mit Durchschnittstemperaturen von 10-11 °C, einer Niederschlagsmenge von 700-800 mm und einer Grundwasserneubildungsrate von 200-240 mm/Jahr werden hier etwa 18 Millionen m<sup>3</sup> Grundwasser pro Jahr gefördert. Möglich wird dies durch die pleistozänen Sande und Kiese, die hier einen 20 bis 30 m mächtigen Grundwasserleiter bilden, der durch relativ undurchlässige tertiäre Feinsande weitgehend abgedichtet wird.

#### Böden:

Hier haben sich im Wesentlichen terrestrische Böden entwickelt, aufgrund der morphologischen Gegebenheiten und des postglazial milden Klimas meist Braunerden und Parabraunerden mit typischer Horizontfolge. Nur in unmittelbarer Rheinnähe finden sich vom Grundwasser und vom Hochwasserregime des Rheins beeinflusste Böden. Wesentliche Substrate der Bodenbildung sind Löß (Mittelterrasse), Hochflutlehme (Niederterrasse) und eingeschränkt Flugsande (Niederterrasse), weshalb die Böden – insbesondere auch aus Sicht der Wasserwirtschaft – deutlich unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Drei typische Böden werden für die weitere Problembeschreibung herangezogen.

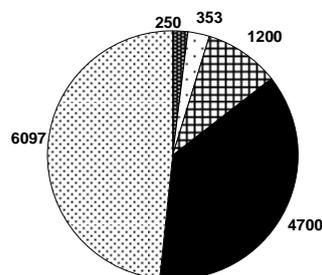
#### Flächennutzung:

Zwei wesentliche Nutzungsarten prägen den Raum: die Landwirtschaft und die Stadtrandbebauung mit Gewerbeansiedlungen und der dazu gehörenden Infrastruktur. Abb. 2 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Flächennutzung in den letzten 20 Jahren.

Im Betrachtungszeitraum nahm die Ackernutzung um rd. 1.290 ha (ca. 20%) ab. Sie wurde

verdrängt von der Wohnbebauung (+ 315 ha), Gewerbeansiedlungen (+ 222 ha), Golfplätzen (+ 139 ha), dem Straßenbau (+ 45,3 ha) und dem Kiesabbau (+ 34 ha), der aufgrund der günstig gelegenen Lagerstätten im Bereich der Niederterrasse intensiv betrieben wird. Diese Nutzungen sind insgesamt mit einer Zerstörung des Bodens verbunden. Positiv aus der Sicht der Wasserwirtschaft ist die Zunahme von Grünlandflächen zu vermerken, die aufgrund der intensiven Pensionspferdehaltung und dem Zwang zu Ausgleichsmaßnahmen angelegt wurden (+ 355 ha).

Nutzung 1988



Nutzung 2008

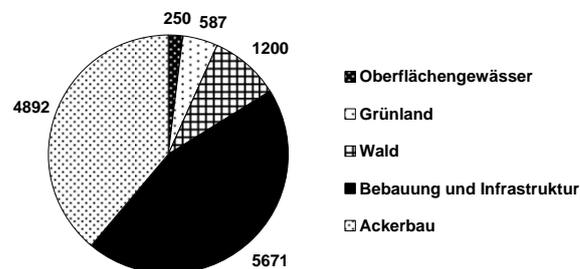


Abb. 2.: Flächennutzung 1998 und 2008 (ha)

#### Kooperation mit der Landwirtschaft:

Seit 1986 arbeiten die Landwirte und die RheinEnergie AG im Wasserschutzgebiet Weiler zusammen, um den Interessenkonflikt zwischen Wasserwirtschaft und Landwirtschaft zu entschärfen. Dieser besteht im Wesentlichen darin, dass durch den intensiv betriebenen Ackerbau Nitrat in das Grundwasser eingetragen wird. Nach eigenen Berechnungen wurden im Jahr 1994 rd. 730 t Nitrat in das Grundwasser eingetragen (ca. 30,8 kg N/ha bezogen auf damals ca. 6.100 ha Ackerfläche). Im Jahr 2008 waren es noch 550 t (ca. 25,3 kg N/ha bezogen auf 5.340 ha Ackerfläche). Die Redu-

zierung der Stoffeinträge aus der Landwirtschaft ist im Wesentlichen auf die im Laufe der Zeit gewachsene Akzeptanz der am Gewässerschutz orientierten Ackerbauberater der RheinEnergie AG und eines Förderprogramms zurück zu führen.

Zu den effizienten Gewässerschutzmaßnahmen in der überwiegend viehlos bewirtschafteten Region zählen das sog. „Kölner Mulchsaatverfahren“ (KMV) und die „erweiterte  $N_{min}$ -Methode“ zu Hackfrüchten, insbesondere Zuckerrüben. Das KMV ist durch strenge Regeln in Bezug auf Begrünung und Bodenbearbeitungstermine definiert und führt in der Praxis zu N-Verminderungen im Bereich von mindestens 60 % bezogen auf die Referenz „Schwarzbrache“ (Abb. 3).

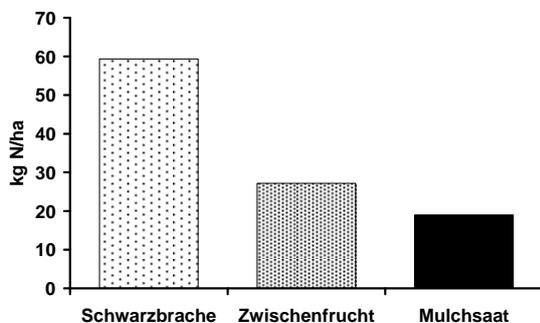


Abb. 3: Herbst- $N_{min}$ -Werte im Vergleich - Schwarzbrache-Zwischenfrucht-KMV (1990-2008)

Die Erweiterung der  $N_{min}$ -Methode durch eine zweite Untersuchung im Mai führt zu einer sehr exakten Düngerbemessung bei Hackfrüchten und damit zu geringeren Stickstoffgehalten im Spätherbst (2004-08 nach Zuckerrüben, Ende November = 34,5 kg N/ha, Kontrolle = 52,1 kg N/ha).

Die Effizienz von Gewässerschutzmaßnahmen ist ganz entscheidend von den Faktoren Bodenart und Klima abhängig, schwankt somit auch in einzelnen Jahren stark.

#### 4. Exkursionspunkte

##### 4.1 Bodenprofile

Es werden drei typische Böden vorgestellt, die für die Wasserwirtschaft aufgrund ihrer bodenphysikalischen Eigenschaften, in Bezug auf ihr Ertragspotential und die N-Austragsgefährdung deutliche Unterschiede aufweisen. An dieser Stelle sei dem Geologischen Dienst NRW für die umfangreichen Profilaufnahmen

und bodenphysikalischen Untersuchungen nochmals recht herzlich gedankt.

Die nachfolgende kurze Charakterisierung der drei Profile wird ergänzt durch eine Standort- und Profilbeschreibung sowie Ergebnisse von physikalischen und chemischen Analysen am Ende des Kapitels (Tab. 1 – 3).

##### H1.1: Parabraunerde aus Löß

Die tiefgründige Parabraunerde hat sich auf einer Lößdecke von > 7 m Mächtigkeit entwickelt. Aufgrund der klimatischen und bodenkundlichen Rahmenbedingungen eignet sich die Fläche hervorragend für eine hoch ertragreiche Ackernutzung.

##### H1.2: Braunerde aus Flugsand

Die Braunerde aus Flugsand weist einen Sandanteil von > 90 M.% auf. Das Ertragspotential der Ackerfläche liegt trotz hoher Intensität der Nutzung bei nur ca. 50-80 % der Fläche H 1.1, abhängig von der angebauten Fruchtart.

##### H1.3: Pseudogley-Braunerde aus Hochflutlehm

Aus einer 12 dm mächtigen Hochflutlehmdecke hat sich eine Pseudogley-Braunerde entwickelt. Sie ist durch zur Tiefe hin zunächst ansteigende Tongehalte gekennzeichnet. Es ist nicht auszuschließen, dass diese zumindest teilweise durch eine Tonverlagerung hervorgerufen worden sind (Schlichting et al., 1995). Damit könnte der hier anstehende Bodentyp auch als Parabraunerde bzw. als Pseudogley-Parabraunerde angesprochen werden. Ein A1-Horizont fehlt jedoch und die im Ap erhöhten Mittelsandanteile deuten auf eine zusätzliche Sedimentationsphase hin. Insgesamt gesehen ist eine systematische Zuordnung in dieser Differenziertheit für wasserwirtschaftliche Fragestellungen sekundär..

Aufgrund der klimatischen und bodenkundlichen Rahmenbedingungen eignet sich die Fläche hervorragend für eine hoch ertragreiche Ackernutzung.

#### 4.2 Langfristige Konsequenzen für die Wassergewinnung im Wasserschutzgebiet Weiler-Langel/Worringen

Für eine nachhaltige Wassergewinnung zur Trinkwassererzeugung sind Langfristprognosen zur Entwicklung der Grundwasserqualität notwendig. Diese werden aus der Grundwasserqualität,  $N_{\min}$ -Untersuchungen im Spätherbst und der Entwicklung der Flächennutzung generiert. Innerhalb der Flächennutzungen spielen insbesondere die Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung und die Bodengüte eine übergeordnete Rolle. Beispielhaft sind nachfolgend für die drei im Rahmen der Exkursion vorgestellten Profile wasserwirtschaftlich relevante Parameter dargestellt. (Tabelle 1).

Tab.1: N-Düngung, N- Entzüge (Körner und Rüben), und Bilanzsaldo über eine Fruchtfolge (3 Jahre), Zuckerrüben, Winterweizen, Wintergerste (kg N/ha) (Wolf, 2001)

	H1.1	H1.2	H1.3
Bodentyp	Parabraunerde	Braunerde	Pseudogley-Braunerde
N-Düngung	497	529	543
Entzug	383	280	386
Bilanzsaldo	+114	+250	+156

Tabelle 2 zeigt die wasserwirtschaftlichen Auswirkungen der unterschiedlichen Bilanzsalden anhand einer N-Modellierung mit dem eindimensionalen Stofftransportmodell HERMES (Kersebaum 1989).

Tab. 2: Durchschnittliche jährliche N- Austräge der Ackerflächen, Sw=Sickerwasser (Wolf, 2001)

	H1.1	H1.2	H1.3
Bodentyp	Parabraunerde	Braunerde	Pseudogley-Braunerde
N-Austrag (kg N/ha)	10-18	43-54	16-22
$NO_3$ im Sw (mg $NO_3$ /l)	38-55	107-124	38-52

Bei einem Flächenanteil von 15 % landwirtschaftlich genutzter, leichter Sandböden im Wasserschutzgebiet ist ihr Anteil am gesamten Nitrateintrag somit sehr bedeutsam. Durch

Beratung und Förderprogramme konnten die N-Einträge aus der Landwirtschaft bisher um geschätzt 110 t  $NO_3$ /Jahr verringert werden. Durch die beschriebenen Nutzungsänderungen, sind weitere Eintragsminderungen um geschätzt 60 t  $NO_3$ /Jahr zu verzeichnen, so dass die Entwicklung aus Sicht der Wasserwirtschaft insgesamt positiv ist. Diese Entwicklung muss jedoch sehr genau beobachtet werden, um negative Tendenzen (massiver Einsatz organischer Dünger, erhöhte Intensitäten) frühzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

#### 5. Literatur

KERSEBAUM, CH. (1989): Die Simulation der Stickstoffdynamik von Ackerböden. Diss. Univ. Hannover, 141 S.

SCHLICHTING, E., BLUME, H. P. & STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. -- Berlin, Wien (Blackwell Verlag), 295 S.

WOLF, A. (2001): Gewässerschonende Landwirtschaft in einem Wasserschutzgebiet nordwestlich von Köln unter Berücksichtigung typischer Ackerböden und Feldfrüchte. Diss. Univ. Bonn, 161 S.

### Tab. 1:Standortsituation Exkursionspunkt H1.1 Parabraunerde

Bearbeiter: A. Wolf TK25: 5006 Pulheim Datum  
 Lage: RW: 2556 HW:5650  
 Nutzung: Acker Vegetation: Hackfrucht/Getreide Relief: Hochfläche, Mittelterrasse

#### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap		<i>schwach humoser, lehmiger Schluff, Bröckelgefüge, mäßig verfestigt, mittlere Lagerungsdichte, mittlere Durchwurzelung (6-10 Feinwurzeln pro dm<sup>2</sup>), gerade, deutliche Übergangszone (1-2 cm) (Löß Ut3, Holozän)</i>
2	Al		<i>sehr schwach humoser, lehmiger Schluff, Polyedergefüge, mäßig verfestigt, mittlere Lagerungsdichte (1,75), schwache Durchwurzelung (3-5 Feinwurzeln pro dm<sup>2</sup>) gerade, sehr undeutliche Übergangszone (&gt;5 cm) (Löß Ut3, Holozän)</i>
3	Bt		<i>sehr schwach humoser, stark lehmiger Schluff, Polyedergefüge, stark verfestigt, hohe Lagerungsdichte (1,85), schwache Durchwurzelung (3-5 Feinwurzeln pro dm<sup>2</sup>), gerade, undeutliche Übergangszone (3-5 cm) (Löß Tu4, Holozän)</i>
4	Bv		<i>stark lehmiger Schluff, Subpolyedergefüge, mäßig verfestigt, mittlere Lagerungsdichte (1,74), sehr schwache Durchwurzelung (&lt;1 pro dm<sup>2</sup>), gerade, deutliche Übergangszone (1-2 cm) (Löß Ut4, Holozän)</i>
5	Cn		<i>schwach lehmiger Schluff, Plattengefüge, mäßig verfestigt, mittlere Lagerungsdichte, (Löß Ut3, Holozän)</i>
6			

#### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformensymbol:</b>	<b>LLn</b>
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Normparabraunerde aus Löß

WRB: Luvisol

sonst. Profilkennz.:

Anmerkungen: Bodenschätzung: L2L6 85/97

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)						
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Ap	0-35	0	3	3	54	22	4	15
Al	35-50	0	1	2	55	21	5	15
Bv	50-90	0	0	1	62	16	2	19
Bt	90-170	0	1	1	54	16	2	26
Cn	170->90	0	0	2	57	24	5	12

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	Vol.-%	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>
Ap								
Al	1,75	6,1	3,2	11,5	19,1	39,9	14,7	10,9
Bv	1,85	8,3	3,2	15,5	13,7	40,7	18,7	5,5
Bt	1,74	4,2	2,4	10,9	24,6	42,1	13,3	10,3
Cn								

Horizont	Car-bonat	pH	C <sub>org</sub>
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	Mas-%
<i>1</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
Ap	n.n.	6,6	1,1
Al	n.n.	6,7	0,5
Bv	n.n.	6,7	0,4
Bt			
Cn			

n.n. = nicht nachweisbar

## Tab. 2: Standortsituation Exkursionspunkt H1.2 Braunerde

Bearbeiter: A. Wolf TK25: 4907 Auweiler Datum  
 Lage: RW:2556 HW:5652  
 Nutzung: Acker Vegetation: Hackfrucht/Getreide Relief: Ebene, Niederterrasse

### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	40	10YR3/2: bräunlich schwarzer, humoser Mittelsand, Einzelkorngefüge, schwach verfestigt, geringe Lagerungsdichte, mittlere Durchwurzelung (6-10 Feinwurzeln pro dm <sup>2</sup> ), gerade, sehr deutliche Übergangszone (<1 cm) (Flugsand Ss, Hölozän)
2	Bv	85	7.5YR4/4: brauner, sehr schwach humoser Mittelsand, Einzelkorngefüge, sehr schwach verfestigt, geringe Lagerungsdichte (1,56), sehr schwache Durchwurzelung (<2 Feinwurzeln pro dm <sup>2</sup> ), wellige, undeutliche Übergangszone (3-5 cm) (Flugsand Ss, Holozän)
3	II Bv	100	7.5YR4/6: brauner, lehmiger Sand, Hüllengefüge, schwach verfestigt, mittlere Lagerungsdichte (1,80), gerade, deutliche Übergangszone (1-2 cm) (Hochflutablagerung S12, Pleistozän)
4	II BvCv	140	7.5YR6/2: gräulich brauner schwach lehmiger Sand, stark lehmiger Sand in Bändern, Einzelkorngefüge, sehr schwach verfestigt, geringe Lagerungsdichte (1,56) (Sand der Niederterrasse S12, Pleistozän)
5			
6			

### Profilkennzeichnung

Bodenformensymbol:	<b>BBn</b>
Bodenformenbezeichnung:	Braunerde aus Flugsand

WRB: Cambisol

sonst. Profilkennz.:

Anmerkungen: Bodenschätzung: S3D 31/34

### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)						
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>9</i>
Ap	0-40	5	56	29	3	3	1	4
Bv	40-85	4	58	32	2	1	1	2
II Bv	85-100	3	44	27	9	4	4	8
IIBvCv	100-140	4	55	26	6	3	1	5

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>r</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	Vol.-%	cm · d <sup>-1</sup>
<i>I</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>
Ap								
Bv	1,56	25,8	5,0	1,7	9,8	42,3	6,7	684
II Bv	1,8	12,0	6,1	6,2	11,1	35,4	12,3	66
IIBvCv	1,56	23,0	4,5	3,2	12,5	43,2	7,7	503

Horizont	Car-bonat	pH	C <sub>org</sub>
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	Mas-%
<i>I</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
Ap		7,1	0,8
Bv		7,1	0,4
II Bv		7,0	0,2
IIBvCv			

**Tab. 3: Standortsituation Exkursionspunkt H1.3 Pseudogley-Braunerde**

Bearbeiter: A. Wolf TK25: 4907 Sinnersdorf Ost Datum  
 Lage: RW:2558 HW:5654  
 Nutzung: Acker Vegetation: Hackfrucht/Getreide Relief: Ebene, Niederterrasse

**Profilbeschreibung**

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	30	10YR3/3: dunkelbrauner, schwach humoser, stark lehmiger Sand, vereinzelt Mittelkies, Bröckelgefüge, mäßig verfestigt, mittlere Lagerungsdichte, mittlere Durchwurzelung (6-10 Feinwurzeln pro dm <sup>2</sup> ), gerade, deutliche Übergangszone (Hochflutlehm S14, Pleistozän)
2	II Sw-Bv	52	7.5YR4/4: brauner, sehr schwach humoser, schwach toniger Lehm, vereinzelt Mittelkies und Grobkies, Subpolyedergefüge, mäßig verfestigt, schwach staunass, Eisen-/Mangankonkretionen, Anteil 1-2%, hohe Lagerungsdichte (1,94), schwache Durchwurzelung (3-5 Feinwurzeln pro dm <sup>2</sup> ), wellige, undeutliche Übergangszone (3-5 cm) (Hochflutlehm Lf2, Pleistozän)
3	II Sd-Bv	85	10YR4/4: brauner, schwach toniger Lehm, Subpolyedergefüge, stark verfestigt, schwach staunass, Eisen-/Mangankonkretionen, Anteil 2-5%, hohe Lagerungsdichte (1,95), schwache Durchwurzelung (3-5 Feinwurzeln pro dm <sup>2</sup> ), wellige, undeutliche Übergangszone (3-5 cm) (Hochflutlehm Li2, Pleistozän)
4	II Bv	120	7.5YR4/4: brauner, sandiger Lehm, Subpolyedergefüge, mäßig verfestigt, hohe Lagerungsdichte (1,84), sehr schwache Durchwurzelung (<2 Feinwurzeln pro dm <sup>2</sup> ), gerade, undeutliche Übergangszone (3-5 cm) (Hochflutlehm Ls3, Pleistozän)
5	III Cv1	130	10YR5/4: trüb gelblich brauner schwach lehmiger Sand und Feinsand, wechsellagernd, Hüllengefüge, sehr schwach verfestigt, geringe Lagerungsdichte (1,53), gerade, deutliche Übergangszone (1-2 cm) (Sand der Niederterrasse S12, Pleistozän)
6	III Cv2	150	10YR6/3: trüb gelboranger Mittel- und Grobsand, Einzelkornggefüge, sehr schwach verfestigt, geringe Lagerungsdichte (1,49) (Sand der Niederterrasse Ss, Pleistozän)

**Profilkennzeichnung**

<b>Bodenformensymbol:</b>	SS-BB
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Pseudogley-Braunerde aus Hochflutlehm über Sanden der Niederterrasse

WRB:

sonst. Profilkennz.:

Anmerkungen: Bodenschätzung: L3D 71/81

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)						
	cm	Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ap	0-30	0	2	14	31	21	12	6	15
II Sw-Bv	30-52	0	0	6	28	23	10	6	28
II Sd-Bv	52-85	0	0	4	20	23	13	10	30
II Bv	85-120	0	0	13	28	18	11	7	23
III Cv1	120-130	0	1	17	57	12	4	2	7
III Cv 2	130-150	0	0	84	12	1	1	0	2

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	Vol.-%	cm · d <sup>-1</sup>
1	11	12	13	14	15	16	17	18
Ap								
II Sw-Bv	1,94	4,8	1,3	18,7	12,8	37,6	20,0	5,7
II Sd-Bv	1,95	4,1	1,7	21,4	10,7	37,9	23,1	5,3
II Bv	1,84	7,7	4,4	14,6	13,0	39,7	19,0	6,3
III Cv1	1,53	14,9	15,1	4,2	11,3	45,5	19,3	391
III Cv 2	1,49	35,3	0,9	1,2	7,3	44,7	2,1	1850

Horizont	Car-bonat	pH	C <sub>org</sub>
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	Mas-%
1	19	20	21
Ap		6,8	0,9
II Sw-Bv		7	0,5
II Sd-Bv		7	0,4
II Bv	2-10		
III Cv1	0,5-2		
III Cv 2	0,5-2		

DBG-Tagung Bonn 2009  
Exkursion H2 (9. September 2009)

## **Bodenheterogenität auf der Feldskala: eine Herausforderung für den Präzisionslandbau**

### **Exkursionsführer**

S. Pätzold und G. Welp  
INRES – Bodenwissenschaften, Universität Bonn, Nußallee 13, 53115 Bonn  
s.paetzold@uni-bonn.de, g.welp@uni-bonn.de

#### **1. Zielsetzung**

Seit 2001 werden im Rahmen des Graduiertenkollegs 722 (Use of Information Technologies for Precision Crop Protection) an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn Techniken zur teilflächenspezifischen Bekämpfung von Krankheiten, Unkräutern und Schädlingen entwickelt und optimiert (<http://www.precision-crop-protection.uni-bonn.de>). Dass diese Thematik mannigfaltige Verknüpfungen mit der räumlichen Heterogenität von Böden auf der Feldskala bietet, wollen wir an konkreten Fallbeispielen demonstrieren.

#### **2. Route**

Während der ca. 30-minütigen Fahrt bietet sich die Gelegenheit, die konkurrierenden Ansprüche unterschiedlicher Nutzungen an die sehr fruchtbaren Böden im Köln-Bonner Raum zu betrachten: Wir durchqueren eine Landschaft, die einerseits durch eine intensive landwirtschaftliche (v.a. Zuckerrüben, Winterweizen) und gartenbauliche Nutzung (intensiver Feld- und Unterglas-Obst- und Gemüsebau, s.a. Centralmarkt Roisdorf) geprägt ist und andererseits den typischen Nutzungskonflikten einer urbanen Region ausgesetzt ist, die nach wie vor ein positives Bevölkerungswachstum aufweist. Stetig wachsende Siedlungen, Verkehrswege, flächenintensive Gewerbegebiete, die ehem. Mülldeponie der 300.000-Einwohner-Stadt Bonn und Großindustrie stellen Flächenansprüche, denen die überaus fruchtbaren Böden regelmäßig zum Opfer fielen und weiterhin fallen.

Erstes Ziel der Exkursion ist ein Aussichtspunkt nahe der Ortschaft Trippelsdorf (Stadt Bornheim/Rhld.) nordwestlich von Bonn. Von diesem Standort bietet sich ein sehr guter Überblick über die geologische und geomorphologische Situation im Exkursionsgebiet. Nach kurzer Weiterfahrt erreichen wir das Hauptziel des Nachmittags, den *Dikopshof*. Die Rückfahrt führt über Wesseling und die BAB 565 nach Bonn zurück (14 km).

#### **3. Exkursionsgebiet**

Vom Aussichtspunkt in Trippelsdorf bietet sich eine hervorragende Aussicht auf die Terrassenlandschaft des Rheins zwischen Köln und Bonn, insbesondere die jüngere Haupt- (Hj3), die untere Mittel- (Mu2) und die Niederterrasse (Klostermann 1992). Die Sedimentation in Kaltzeiten und die Eintiefung des Rheins in (Zwischen-) Warmzeiten sowie die tektonische Hebung des Ville-Horstes haben zum heutigen Relief geführt. Auf der Hauptterrasse (dichtlagernd, infolge fossiler Bodenbildung verkittet, geringmächtige Lößlehmauflage) sind großflächig Pseudogleye verbreitet (Wiechmann und Brunner 1986). Die untere Mittelterrasse datiert wahrscheinlich in die älteste Saalezeit (Klostermann 1992) und ist mit Löß bedeckt, während auf der Niederterrasse kalkhaltiger Hochflutlehm auflagert, der v. a. in der spätesten Jüngeren Dryas und im frühen Holozän sedimentierte. Im Holozän setzt sich die Sedimentation in den Auen der die Terrassen querenden Wasserläufe fort (Klostermann 1992). Ein Ausschnitt der geologischen Karten von Nordrhein-Westfalen, Blätter Köln und Bonn (GK-NRW 1986), gibt einen Überblick über das Exkursionsgebiet (Abb. 1).

#### *Dikopshof*

Der heute ca. 120 ha große Dikopshof ist ein reiner Ackerbaubetrieb und Lehr- und Forschungsstation der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn. Der Dikopshof versteht sich als „Freilandlabor“, in dem unter natürlichen Bedingungen (Grundlagen-)Forschung an Kulturpflanzen, deren Anbaubedingungen und den Wechselbeziehungen zur Umwelt durchgeführt wird.

#### *Geschichte des Hofes*

Der Dikopshof ist eine der ältesten nachweisbaren Hofanlagen im Köln-Bonner Raum. Der Hof ist sehr viel älter als seine schriftliche Ersterwähnung 1213 n. Chr. Wahrscheinlich entstand der Hof schon in der zweiten großen Siedlungsperiode in der Zeit zwischen dem 9. und 11. Jahrhundert. Seine Geschichte ist abwechslungsreich und typisch für viele rheinische Großbetriebe: Im Mittelalter war er Eigentum der Kirche, der er durch Schenkung zu-

gefallen war. Im 16. Jahrhundert wurde er von Kölner Patrizierfamilien käuflich erworben. Der Familie Dikop, die ihn im 16./17. Jahrhundert vier Generationen lang bewirtschaftete, verdankt er seinen heutigen Namen. Das Wohnhaus an der Südostecke zeigt die Jahreszahl 1681. Ab dem 18. Jh. befand sich der Hof nacheinander im Besitz verschiedener bürgerlicher Familien; bis ins 19. Jahrhundert wurde er von Pächtern bewirtschaftet. Die ursprünglichen Gebäude wurden in der Mitte des 19. Jh. nach einem Brand durch Neubauten ersetzt. 1903 wurde der Betrieb für die damalige „Königlich Preußische Landwirtschaftliche Akademie“ aus Privatbesitz erworben und unterstand seit 1904 der Preußischen Domänenverwaltung. Diese stellte ihn der Akademie (seit 1933 Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn) als Versuchsgut zur Verfügung.

#### *Geographische Lage und Klima*

Der Dikopshof liegt im südlichen Teil der Kölner Bucht, die durch ein maritimes Klima mit milden Wintern und Sommern gekennzeichnet ist. Die Vegetationsperiode dauert ca. von Mitte März bis Anfang Dezember. Die Jahresdurchschnittswerte (1950-2005) für Temperatur und Niederschlag betragen 9,9 °C und 633 mm. Die Monate Juni – August erhalten mit je etwa 70 mm die meisten Niederschläge; im Januar und Februar fällt mit je 35 – 40 mm am wenigsten Regen. Trotz des Regenmaximums im Sommer kann es durch hohe Evapotranspiration im Sommer auf sandigeren (Teil-)Flächen zu Dürreschäden kommen, da die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum dann nicht ausreicht und auch das Grundwasser für Pflanzen zu tief ansteht (siehe hierzu das Muster der Vegetation in Abb. 2).

#### *Geologische Situation*

Die Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen (GK-NRW 1986) weist für das Gebiet des Dikopshofes Sedimente der unteren Mittelterasse, weichselzeitlichen Löß und Lößlehm (z.T. umgelagert, z.T. kalkhaltig) auf (Abb. 1).

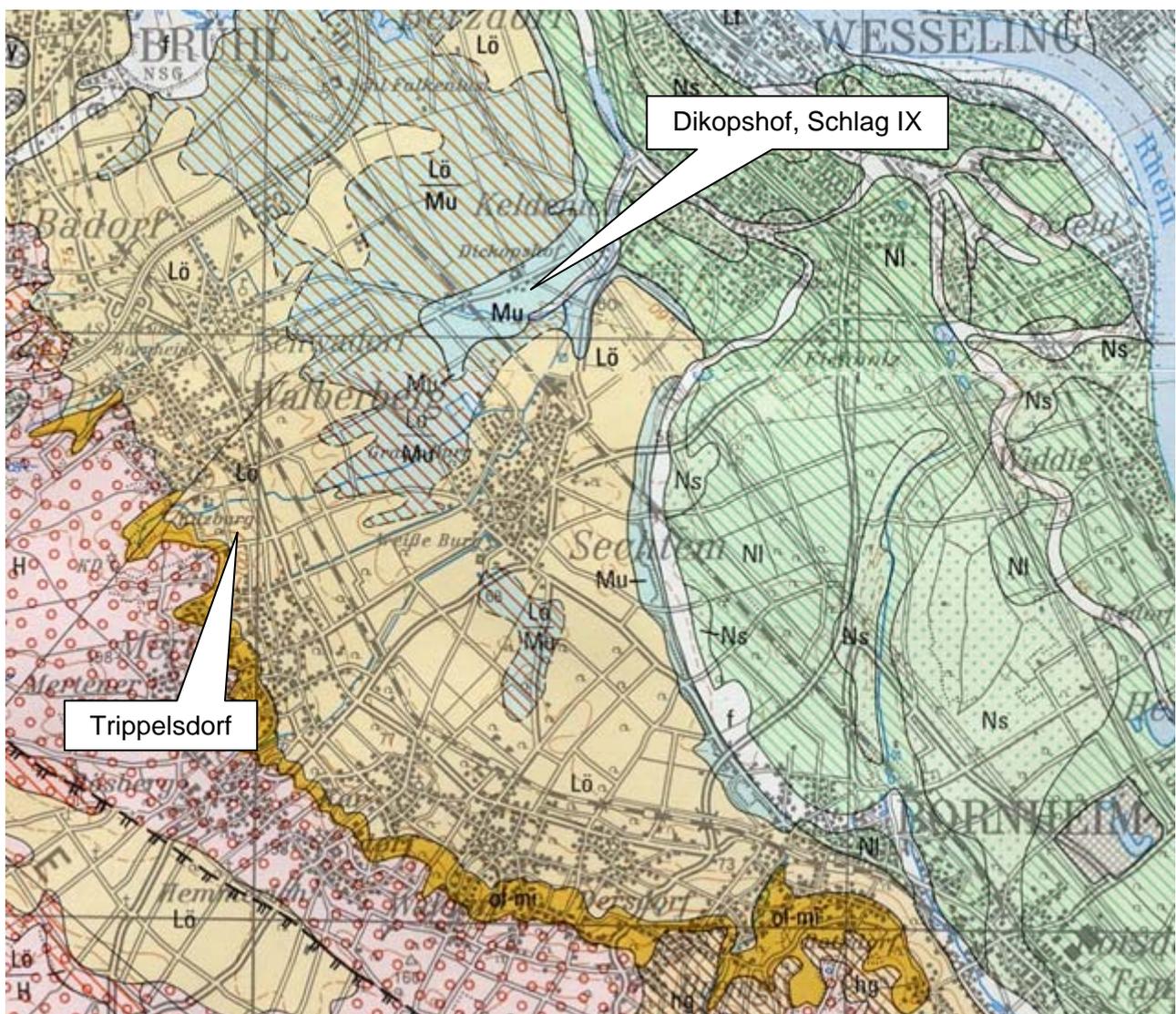


Abb. 1: Ausschnitt der Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100.000, Blatt C5106 Köln; südl. anschließend Blatt 5506 Bonn; Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld

Im Bereich des von uns näher untersuchten Schlag IX (siehe Kap. 4.1) kommen in der Nähe des Dikopsbaches holozäne schluffige, sandige und kiesige Bachablagerungen hinzu.

Kaiser (1906) beschreibt in den Erläuterungen zu seiner detaillierten (1:5000) „geologisch-agronomischen Karte von dem akademischen Gut Dikopshof“, dass nach Osten zunehmend Sandlöß an die Stelle von Löß tritt: „Der Löß nimmt gegen Osten ein immer gröberes Korn an und geht in sandige Gebilde über. Dieser Übergang erfolgt aber nicht gleichmäßig durch die ganze Mächtigkeit des Löß, sondern so, dass gröbere Partien, namentlich in den tieferen Teilen des Löß, streifenweise eingelagert sind...“. Auf der dazugehörigen Karte verläuft die Grenze zwischen Sandlöß und Löß in Nord-Süd-Richtung über den heutigen Schlag IX. Im tieferen Unterboden von Profil 1 sind die erwähnten Sandlößbänder aufgeschlossen.

#### *Böden und Geologie*

Die Böden der Mittelterrasse sind durch die Lößbedeckung, die meist über 1 m ausmacht, im allgemeinen homogener als die Böden der Niederterrasse. Die Niederterrasse weist durch pleistozäne Rinnen ein Untergrundrelief auf, das durch die Bedeckung mit fluviatilen Sedimenten sehr variabler Körnung oder mit kolluvial umgelagertem Material oberflächlich nicht in Erscheinung tritt, aber für eine kleinräumige Heterogenität verantwortlich ist (Pätzold 2003, Pätzold et al. 2008). Im Übergang zwischen Mittel- und Niederterrasse zeigt sich die Vielfalt der Böden dieser Terrassenlandschaft; gleichzeitig lässt sich die Heterogenität auf engstem Raum demonstrieren.



Abb. 2: Luftbild des Schlages IX des Versuchsgutes Dikopshof mit Lage der Profile 1 - 6 (August 1998; Quelle: www.geoserver.nrw.de)

## **4. Exkursionspunkte**

### **4.1 Bodenprofile**

Die natürlich bedingte Heterogenität von Bodenmerkmalen auf der Feldskala demonstrieren wir anhand von sechs Bodenprofilen innerhalb eines etwa acht ha großen Ackerschlages („Schlag IX“), der seit vielen Jahrzehnten einheitlich bewirtschaftet wird (siehe Abb. 2). Bedingt durch die Lage im Übergangsbereich von der Mittel- zur Niederterrasse des Rheins wechseln die Substrate und ihre Schichtung kleinräumig; bodentypologisch bietet sich ein Nebeneinander von (Auen-)Parabraunerden, Braunerden, Regosolen und Kolluvisolen. Stoffbestand und Porosität der Böden variieren innerhalb des Schlages in weiten Grenzen, sodass den Kulturpflanzen, aber auch Krankheitserregern, Unkräutern und Schädlingen höchst variable Entwicklungsbedingungen geboten werden (siehe dazu Kap. 4.2).

Die nachfolgende kurze Charakterisierung der sechs Profile wird ergänzt durch eine Standort- und Profilbeschreibung sowie Ergebnisse von physikalischen und chemischen Analysen am Ende des Beitrages (Tab. 1 – 6).

*Anm.: Die nachfolgenden Fotos und Beschreibungen beziehen sich auf die Profile, wie sie sich bei der Erstbeschreibung im Januar 2008 darstellten; die Horizontierung der am 9.9.2009 gezeigten Profile findet sich im Anhang*

**H2.1: (Auen-)Parabraunerde aus Auenlehm über Löß**

Das Tiefenprofil der Tongehalte und am Profil sichtbare Toncutane zeigen eine Lessivierung an. Das Substrat ist ähnlich wie bei den (reinen) Lößprofilen 4 und 6. Die höheren Sand- und Skelettanteile im Ap, Al und Btv sowie der höhere Körnungsindex  $[(fS+mS) / \text{Summe der Fraktionen } >6,3 \mu\text{m}]$  deuten auf junge Sedimentation des nahegelegenen Dikopsbaches (oder auf kolluvialen Auftrag von der wenige m oberhalb ausstreichenden Mittelterrasse). Im tieferen Unterboden sind sandige, kalkhaltige Bänder von einigen cm Mächtigkeit vorhanden, die bereits von Kaiser (1906) als Sandlöß identifiziert wurden.



**H2.2: Braunerde aus Sanden und Kiesen der Rhein-Mittelterrasse**

Eine Löß- und/oder Auenlehmüberdeckung fehlt bei dieser nur wenige Meter entfernten Braunerde gänzlich. Das skelettreiche (12 - >50 %), sandige Substrat der Mittelterrasse bedingt eine hohe Wasserzügigkeit, aber auch eine geringe Wasserhaltekapazität, sodass die Pflanzen in trockenen Phasen hier schnell einen Wassermangel anzeigen (siehe Abb. 2). Die eingeschalteten Linsen unterstreichen die Heterogenität des Materials. Auch wenn das Nährstoffhaltevermögen insgesamt gering ist, zeigen die pflanzenverfügbaren P- und K-Anteile eine sehr hohe aktuelle Nährstoffversorgung an. Bei hohem Düngungsniveau sind solche kiesig-sandigen Teilflächen *hot spots* einer Nitratverlagerung.



*H2.3: Lessivierte Braunerde aus Löß über Sanden und Kiesen der Mittelterrasse*

Das grobe Terrassenmaterial steht hier in etwa 6 dm Tiefe an und wird von Lößlehm überlagert. Dadurch nehmen die Standorteigenschaften an dieser Stelle eine Mittelstellung ein zwischen den durch Löß bzw. Auenlehm dominierten Profilen einerseits (1, 4, 6) und den durch grob texturiertes Material geprägten Profilen (2, 5) andererseits. Die Tongehalte steigen – bei kaum verändertem Körnungsindex - vom Ap zum Btv von 14 auf 21 % und zeigen damit eine Lessivierung an.



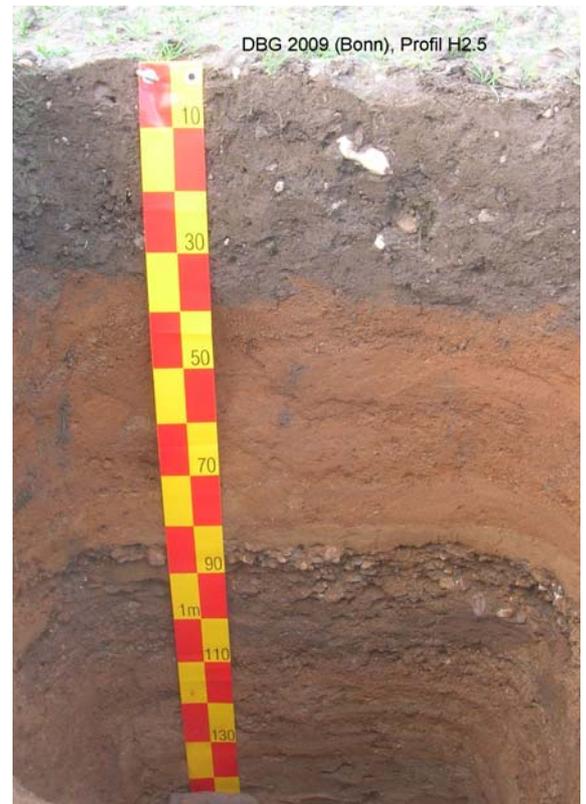
*H2.4: Parabraunerde aus Löß*

Textur und Körnungsindex zeigen ein fast reines Lößmaterial an, in dem sich eine Normparabraunerde entwickelt hat. Der Boden ist bis ca. 1 m entkalkt, was auf eine gewisse Verkürzung des ursprünglichen Solums durch Erosion hindeutet. Im Hinblick auf Wasser- und Nährstoffhaushalt zählt dieser Boden – neben Profil 6 – zu den fruchtbarsten Varianten innerhalb des heterogenen Ackerschlages.



*H2.5: Braunerde aus Sanden und Kiesen der Rhein-Mittelterrasse*

In ähnlicher Weise wie Profil 2 ist dieser Standort durch die grobe Textur und das Fehlen einer Lehm-/Lößkomponente geprägt. Im Vergleich zu Profil 2 ist dieser Boden allerdings im Durchschnitt etwas weniger skeletthaltig und im Feinboden dominiert nicht der Grob-, sondern der Mittelsand. Diese Verschiebung in der Korngrößenzusammensetzung spiegelt sich in einer leicht erhöhten Kationenaustauschkapazität (siehe Tab. 5) und vermutlich ebenso in einer verbesserten nutzbaren Feldkapazität (hier: etwa 70 mm in den oberen 10 dm; Profil 2: n.b.) wider. Ob dies jedoch den Pflanzen zugute kommt, ist fraglich, da Profil 5 zur Tiefe hin noch häufiger durch einen abrupten Körnungswechsel gekennzeichnet ist als Profil 2.



*H2.6: Kolluvisol aus umgelagertem Lößlehm*

Der mineralische Stoffbestand dieses Bodens entspricht weitgehend dem Lößprofil 4. Obwohl die Laboranalyse für den Unterboden nicht die für M-Horizonte nötigen Corg-Gehalte ausweist (siehe Tab. 6), deuten die bei der Geländeaufnahme bis 15 dm Tiefe gefundenen Ziegelreste auf umgelagertes Solummaterial hin. Die tiefbraune Färbung, Schichtungsphänomene und das Fehlen dominanter Merkmale anderer Mineralbodenhorizonte unterstützen diesen Befund.



## 4.2 Fallstudie: Precision Farming

Der in Kap. 4.1 näher beschriebene Schlag IX sowie weitere Flächen des Dikopshofes wurden und werden seit 2001 im Rahmen des Graduiertenkollegs 722 für Feldversuche genutzt. Neben der Bodenkunde sind weitere Disziplinen der Landwirtschaftlichen Fakultät (Landtechnik, Pflanzenbau, Gartenbau, Phytomedizin, Geodäsie & Geo-information) sowie der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät (Geographie, Fernerkundung) mit fachspezifischen Aktivitäten auf dem Dikopshof vertreten.

Die Bodenkunde befasste sich zunächst mit der *räumlichen Verteilung von Bodeneigenschaften, die für die Wirksamkeit von Bodenherbiziden von Bedeutung sind* (Mertens et al. 2008, Pätzold et al., 2008). Hintergrund unserer Untersuchungen war der Befund, dass Standorteigenschaften wie Körnung und Humusgehalt sowie der Wasser- und Nährstoffhaushalt auf der Feldskala eine ausgeprägte Heterogenität aufweisen können. Wir haben für Schlag IX und andere Flächen mithilfe minimum-invasiver Verfahren (MIR-Spektroskopie) und nicht-invasiver Techniken (NIR-Spektroskopie, ECa) mit hoher räumlicher Auflösung Karten erstellt. Auf dieser Basis kann die teilschlag-spezifische Applikation (z.B. von Bodenherbiziden) bis hin zur GPS-Steuerung einzelner Teilbreiten innovativer Pflanzenschutzspritzen optimiert werden (Dicke et al. 2007, Mertens 2008).

Inhaltlich darauf aufbauend untersuchen wir derzeit *Beziehungen zwischen der räumlichen Verteilung von Bodeneigenschaften und dem Auftreten von Schädlingen, Unkräutern und Krankheiten*. Aktuelle Ergebnisse zu diesen und anderen Untersuchungen werden wir anlässlich der Exkursion präsentieren. Daneben werden wir verschiedene nicht-invasive Sensoren vorstellen, die mit hoher räumlicher Auflösung heterogen verteilte Bodeneigenschaften erfassen können.

## 4.3 Dauerdüngungsversuch Dikopshof

Falls genügend Zeit ist: Der seit 1904 bestehende Dauerdüngungsversuch Dikopshof bietet die Möglichkeit, die langfristigen Folgen anthropogen induzierter Bodenheterogenität zu betrachten. Wesentliche Versuchsfrage ist die Wirkung einer Vorenthaltung einzelner oder aller mineralischer Nährstoffe mit und ohne Stallmistgabe auf Pflanze und Boden. Derzeit testen wir Möglichkeiten, die in über 100 Jahren entstandenen Bodenunterschiede mit nicht-invasiven Techniken zu charakterisieren.

## Danksagung

Die Autoren danken dem BoBo-Laborteam für die gewissenhafte Arbeit!

## Literatur

- Dicke, D., Gerhards, R., Büchse, A., & Hurlé, K. (2007). Modeling spatial and temporal dynamics of *Chenopodium album* L. under the influence of site-specific weed control. *Crop Protection*, 26, 206–211.
- GK-NRW (1986): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100.000, Blatt C5106 Köln; südl. anschließend Blatt 5506 Bonn; Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld.
- Kaiser, E. (1906): Das akademische Gut Dikopshof, Gutswirtschaft der Kgl. Landwirtschaftlichen Akademie Bonn-Poppelsdorf. (Hrsg. von der Königlich Preußischen Geologischen Landesanstalt und Bergakademie Berlin).
- Klostermann, J. (1992): Das Quartär der Niederrheinischen Bucht. Geolog. Landesamt NRW, Krefeld, 200 S.
- Mertens, F.M. (2008): Räumliche Variabilität von Bodeneigenschaften mit Relevanz für das Verhalten von Herbiziden – ein Optimierungsansatz für den Präzisionspflanzenschutz. *Bonner Bodenkundl. Abh.* 47, 137 S.
- Mertens, F.M., S. Pätzold and G. Welp (2008): Spatial heterogeneity of soil properties and its mapping with apparent electrical conductivity. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 2, 146-154.
- Pätzold, S. (2003): Archivfunktion einer Auenparabraunerde: Rekonstruktion der Landschaftsgeschichte anhand der Zeugnisse von 2500 Jahren menschlichen Einflusses. *Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 102, 2, 539-540.
- Pätzold, S., Mertens, F.M., Bornemann, L., Koleczek, B., Franke, J., Feilhauer, H. & G. Welp (2008): Soil Heterogeneity at the Field Scale: a Challenge for Precision Crop Protection. *Precis. Agric.* 9, 6, 367 – 390.
- Wiechmann, H. und C. Brunner (1986). Pseudogleyic soils in the Kottenforst area. *Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesellsch.* 47, 113-134.

**Tab. 1: Standortsituation Exkursionspunkt H2.1 (Dikopshof, Schlag IX, Profil 1)**

Bearbeiter: Pätzold, Welp  
 Lage: RW: 2567341 HW: 5630180 60 m NN Stadt Wesseling, Rhein-Erft-Kreis  
 Nutzung: Acker Vegetation: Winterweizen (BBCH13) Relief: kaum geneigt Datum: 7. Januar 2008

**Profilbeschreibung**

Hor. Nr.	Horizont-/Substrat-symbol	Ober-/Untergrenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	31	sehr dunkel graubraun (10YR3/2), mittel humos; sandig-lehmiger Schluff; schwach kiesig; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Übergang zungenförmig, scharf Auenlehm
2	Al	49	dunkel gelblichbraun (10YR4/4), sehr schwach humos; sandig-lehmiger Schluff, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge, schwach verfestigt; Übergang diffus, wellig Auenlehm
3	Btv1	74	dunkel gelblichbraun (10YR4/4), sehr schwach humos; schluffiger Lehm, sehr schwach kiesig; Subpolyeder- bis Polyedergefüge („blättrig“), Nadelstichporen, teilweise Cutane erkennbar; Übergang diffus, wellig Auenlehm
4	Btv2	89	dunkel gelblichbraun (10YR4/6), sehr schwach humos; stark toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Polyedergefüge, mittel bis stark verfestigt, deutlichere Toncutane als Btv1; Übergang diffus, wellig Lößlehm
5	Bv	104	kräftig braun (7.5YR4/6), sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Polyedergefüge; Übergang deutlich tropfenförmig Lößlehm
6	Cv1	134	gelblichbraun (10YR5/4), sehr schwach humos; reiner Schluff, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge; kalkhaltig Löß
7	Cv2	190+	gelblichbraun (10YR5/4), sehr schwach humos; mittel schluffiger Sand, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge; kalkhaltig Löß (Cv2a); mehrere unregelmäßige sandige braune Bänder, meist 2-3 cm mächtig (Sandlöß; Cv2b)

**Profilkennzeichnung**

<b>Bodenformensymbol:</b>	LL, ggf. Auen-LL
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	(Auen-)Parabraunerde aus Auenlehm über Löß

WRB: (fluvic) Luvisol

sonst. Profilkennz.:

Anmerkungen: Karteneinheit der Bodenschätzungskarte: sL 3 Al 69/75

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;  
<sup>#</sup>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt;  
 Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; C=optimal

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett								(mS+fS)/ (Σ>6,3µm)
	cm	Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Ap	0-31	3,8	9,8	18,5	7,7	40,4	11,6	2,8	9,3	0,30
Al	31-49	2,8	8,6	14,6	7,0	41,6	13,2	1,5	13,5	0,25
Btv1	49-74	1,2	3,5	11,6	7,0	43,7	13,3	3,0	17,8	0,23
Btv2	74-89	< 2	1,0	5,5	7,0	48,7	15,5	1,3	21,0	0,16
Bv	89-104	< 2	1,0	6,0	7,0	52,8	15,6	2,4	15,1	0,16
Cv1	104-134	< 2	1,2	5,6	4,9	64,3	15,5	3,6	4,9	0,11
Cv2 a	134-190	< 2	0,6	33,7	36,4	22,7	2,1	1,4	3,2	0,73
Cv2 b	134-190	< 2	0,6	8,6	14,1	61,2	10,0	2,9	2,6	0,24

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	mm	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>
Ap	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Al	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Btv1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Btv2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Bv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cv1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cv2 a	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cv2 b	1,53	28,26	12,96	2,81	9,22	53	n.b.	20

Horizont	Carbonat	pH	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (%)					BS
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Na	K	Mg	Ca	(H+) Al	%
<i>1</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>
Ap	n.n.	6,89	10,4	1,2	5,1	6	87	n.n.	99,8
Al	n.n.	7,18	8,1	0,5	4,1	8	88	n.n.	99,9
Btv1	n.n.	7,24	11,4	0,4	2,0	7	90	n.n.	99,9
Btv2	n.n.	7,39	14,9	0,9	1,2	10	88	n.n.	100,0
Bv	n.n.	7,55	14,9	0,5	0,7	8	90	n.n.	100,0
Cv1	14,3	7,79	15,4	<0,05	0,3	4	91	n.n.	99,9
Cv2 a	9,4	7,86	14,4	<0,05	0,4	4	92	n.n.	99,8
Cv2 b	13,8	7,83	15,1	0,1	0,2	4	91	n.n.	99,9

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
	Mas-%	Mas-%		mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g · kg <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	<i>38</i>
Ap	1,3	0,12	11,3	18,0 (C-D)	20,1 (E)	2,51	7,15	0,352	1,04	0,42
Al	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,31	6,94	0,333	0,98	0,30
Btv1	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,56	9,38	0,273	1,46	0,33
Btv2	0,2	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	2,22	10,65	0,208	1,60	0,35
Bv	0,3	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	1,84	8,34	0,221	1,15	0,35
Cv1	0,6	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,88	5,25	0,168	0,65	0,16
Cv2 a	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,70	6,14	0,115	0,84	0,34
Cv2 b	0,6	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,84	5,37	0,157	0,71	0,21

**Tab. 2: Standortsituation Exkursionspunkt H2.2 (Dikopshof, Schlag IX, Profil 2)**

Bearbeiter: Pätzold, Welp  
 Lage: RW: 2567346 HW: 5630204 60 m NN TK25: 5107 Brühl Datum: 7. Januar 2008  
 Nutzung: Acker Vegetation: Winterweizen (BBCH13) Relief: kaum geneigt

**Profilbeschreibung**

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	32	sehr dunkel graubraun (10YR3/2); mittel humos; mittel lehmiger Sand, mittel kiesig; Krümel- bis Subpolyedergefüge, schwach bis mittel verfestigt; Übergang wellig, scharf Sande und Kiese der Mittelterrasse
2	II Bv	56	braun (7.5YR4/4); sehr schwach humos; reiner Sand, mittel kiesig; Einzelkorn- (in Bändern) bis Kittgefüge, schwach verfestigt; Übergang wellig, scharf Sande und Kiese der Mittelterrasse
3	III Bv	68	dunkel gelblichbraun (10YR4/6); sehr schwach humos; reiner Sand, schwach kiesig; Einzelkorn- bis Kittgefüge, schwach verfestigt; Übergang wellig, diffus Sande und Kiese der Mittelterrasse
4	IV Cv	95	braun (7.5YR4/4); sehr schwach humos; schwach toniger Sand, stark kiesig; Einzelkorn- bis Kittgefüge, schwach verfestigt; Übergang wellig, diffus Sande und Kiese der Mittelterrasse
5	V Cv	110+	braun (7.5YR4/4); sehr schwach humos; reiner Sand, mittel kiesig; Einzelkorn- bis Kittgefüge, mittel verfestigt; Sande und Kiese der Mittelterrasse

**Profilkennzeichnung**

<b>Bodenformensymbol:</b>	<b>BBn</b>
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Normbraunerde aus Sanden und Kiesen der Mittelterrasse

**WRB:** Cambisol  
**sonst. Profilkennz.:**  
**Anmerkungen:** Falls Verbraunung nicht rezent, ist auch Ansprache als *Regosol* möglich  
 Karteneinheit der Bodenschätzungskarte: SL 3 D 56/59

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;  
<sup>#</sup>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt;  
 Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; C=optimal

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett								(mS+fS)/ (Σ>6,3µm)
	cm	Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ap	0-32	23,6	25,6	31,3	6,7	21,4	5,7	1,0	8,3	0,42
II Bv	32-56	33,2	46,0	44,5	5,0	0,8	3,5	0,3	0,0	0,50
III Bv	56-68	11,9	50,0	40,0	1,5	3,5	1,8	0,4	3,0	0,43
IV Cv	68-95	52,3	30,5	54,5	4,5	2,5	0,0	0,0	8,0	0,64
V Cv	95-110	22,6	57,0	34,0	1,5	4,0	1,1	0,5	2,0	0,36
Linse	32-56	25,7	42,0	43,0	3,5	4,5	1,2	0,4	5,4	0,49
Linse	32-56	9,4	11,0	18,5	2,5	23,6	6,9	6,4	31,2	0,34
Linse	32-56	68,9	76,5	17,5	1,5	3,9	0,3	0,4	0,0	0,19

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	mm	cm · d <sup>-1</sup>
1	12	13	14	15	16	17	18	19
Ap	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
II Bv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
III Bv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
IV Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
V Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Linse	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Linse	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Linse	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Horizont	Carbonat	pH	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (%)					BS
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Na	K	Mg	Ca	(H+) Al	%
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Ap	n.n.	6,42	9,0	0,2	5,4	6	88	n.n.	99,6
II Bv	n.n.	6,89	2,2	<0,05	4,2	7	89	n.n.	99,8
III Bv	n.n.	6,86	4,2	0,2	6,5	7	86	n.n.	99,9
IV Cv	n.n.	6,76	4,3	0,6	8,2	7	84	n.n.	99,8
V Cv	n.n.	6,76	3,3	1,3	6,2	7	85	n.n.	99,9
Linse	n.n.	6,61	5,4	0,4	5,0	7	87	n.n.	100,0
Linse	n.n.	6,60	17,8	0,2	3,7	9	88	n.n.	100,0
Linse	n.n.	6,92	2,4	1,8	3,3	6	89	n.n.	100,0

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
	Mas-%	Mas-%		mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g · kg <sup>-1</sup>
1	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Ap	1,2	0,11	11,1	24,6 (D)	19 (D-E)	2,34	6,63	0,353	1,01	0,36
II Bv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,75	4,13	0,181	0,80	0,17
III Bv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,99	4,67	0,213	1,00	0,15
IV Cv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,23	5,22	0,236	0,96	0,19
V Cv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,01	4,72	0,213	0,92	0,16
Linse	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,30	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Linse	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,68	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Linse	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,54	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Tab. 3: Standortsituation Exkursionspunkt H2.3 (Dikopshof, Schlag IX, Profil 3)**

Bearbeiter: Pätzold, Welp  
 Lage: RW: 2567302 HW: 5630262 60 m NN  
 TK25: 5107 Brühl Datum: 7. Januar 2008  
 Stadt Wesseling, Rhein-Erft-Kreis  
 Nutzung: Acker Vegetation: Winterweizen (BBCH13) Relief: kaum geneigt

**Profilbeschreibung**

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	34	braun (10YR4/3); schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Krümel- bis Subpolyedergefüge, mittel verfestigt; Übergang zungenförmig, scharf Lößlehm
2	Al-Bv	45	dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Krümel- bis Subpolyedergefüge, vereinzelt Polyeder, mittel verfestigt; Übergang wellig, deutlich Lößlehm
3	Btv	57	dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; schluffiger Lehm, schwach kiesig; Subpolyeder- bis Polyedergefüge; mittel verfestigt; Übergang wellig, deutlich Lößlehm
4	II Bv	70	dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; sandiger Lehm, mittel kiesig; Einzelkorn- bis Kohärengefüge; Skelett z. T. durch Fe-Oxide verkittet; Übergang wellig, deutlich Sande und Kiese der Mittelterrasse
5	III Bv	79	kräftig braun (7.5YR5/6); sehr schwach humos; vereinzelt Lößlinsen; mittel lehmiger Sand, schwach kiesig; Einzelkorngefüge; Übergang wellig, deutlich Sande und Kiese der Mittelterrasse
6	III Bv2	92	kräftig braun (7.5YR4/6); sehr schwach humos; Lößlinsen; schwach lehmiger Sand, schwach kiesig; Einzelkorngefüge; Übergang wellig, deutlich Sande und Kiese der Mittelterrasse
7	III Bv3	117	kräftig braun (7.5YR5/6); sehr schwach humos; schwach toniger Sand, mittel kiesig; Einzelkorngefüge, Übergang wellig, scharf Sande und Kiese der Mittelterrasse
8	III Cv	165	kräftig braun (7.5YR4/6); sehr schwach humos; reiner Sand, sehr schwach kiesig; Einzelkorngefüge Sande und Kiese der Mittelterrasse

**Profilkennzeichnung**

<b>Bodenformensymbol:</b>	BBI
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	lessivierte Braunerde aus Löß über Sand und Kies der Mittelterrasse
<b>WRB:</b>	Luvic Cambisol
<b>sonst. Profilkennz.:</b>	
<b>Anmerkungen:</b>	Karteneinheit der Bodenschätzungskarte: IS 3 D 44/46

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;  
<sup>#</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt;  
 Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; C=optimal

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							(mS+fS)/ (Σ>6,3µm)
	cm	Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Ap	0-34	0,7	4,1	10,2	6,1	45,3	16,9	3,8	13,6	0,20
Al-Bv	34-45	< 2	2,0	6,5	5,5	48,8	16,8	3,6	16,7	0,15
Btv	45-57	3,7	2,5	8,6	6,0	40,9	17,0	4,3	20,6	0,19
II Bv	57-70	35,5	8,5	18,6	8,5	32,7	10,8	3,4	17,5	0,34
III Bv	70-79	11,4	27,1	42,1	6,0	11,2	2,4	0,0	11,2	0,54
III Bv2	79-92	5,8	42,0	33,5	4,0	9,8	2,1	1,5	7,2	0,41
III Bv3	92-117	35,9	52,0	31,0	3,5	6,0	1,0	0,5	6,1	0,37
III Cv	117-165	1,5	30,5	61,0	2,5	3,0	1,1	0,4	1,7	0,65

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	mm	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>
Ap	1,60	12,08	4,90	8,52	19,57	45	46	124
Al-Bv	1,61	14,21	5,69	9,45	17,16	46	17	5
Btv	1,51	21,18	4,99	9,95	15,61	51	18	227
II Bv	1,54	24,13	4,97	10,54	11,67	51	20	786
III Bv	1,65	25,87	5,27	7,78	8,88	48	12	3058
III Bv2	1,59	35,70	5,06	6,82	4,85	52	15	152
III Bv3	1,59	37,63	5,31	7,94	4,13	55	11	520
III Cv	1,54	40,68	5,10	4,11	7,65	58	n.b.	617

Horizont	Carbonat	pH	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (%)					BS
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Na	K	Mg	Ca	(H+) Al	%
<i>1</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>
Ap	n.n.	6,76	10,7	0,1	4,7	6	89	0,2	99,5
Al-Bv	n.n.	6,82	9,6	0,2	3,4	7	89	0,2	99,8
Btv	n.n.	6,88	11,2	0,1	1,8	7	91	0,3	99,7
II Bv	n.n.	6,98	10,0	0,2	1,4	8	91	<0,1	100,0
III Bv	n.n.	7,03	6,4	0,5	1,4	8	90	<0,1	100,0
III Bv2	n.n.	7,01	5,9	0,6	1,5	9	89	<0,1	100,0
III Bv3	n.n.	6,94	4,5	0,6	1,7	9	88	0,9	99,1
III Cv	n.n.	6,87	2,6	1,2	1,0	10	87	1,0	99,0

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
	Mas-%	Mas-%		mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g · kg <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	<i>38</i>
Ap	1,0	0,10	10,7	13,8 (C-D)	18,2 (D)	2,87	7,31	0,392	1,04	0,44
Al-Bv	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,37	7,86	0,302	1,20	0,38
Btv	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,22	8,50	0,262	1,37	0,32
II Bv	0,2	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	1,83	8,20	0,224	1,35	0,28
III Bv	0,2	0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,50	5,90	0,255	0,96	0,19
III Bv2	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,22	5,45	0,223	1,13	0,17
III Bv3	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,04	4,55	0,228	0,98	0,16
III Cv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,68	4,36	0,155	1,06	0,16

**Tab. 4: Standortsituation Exkursionspunkt H2.4 (Dikopshof, Schlag IX, Profil 4)**

**Bearbeiter:** Pätzold, Welp **TK25:** 5107 Brühl **Datum:** 7. Januar 2008  
**Lage:** RW: 2567330 HW: 5630287 60 m NN Stadt Wesseling, Rhein-Erft-Kreis  
**Nutzung:** Acker **Vegetation:** Winterweizen (BBCH13) **Relief:** kaum geneigt

**Profilbeschreibung**

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	36	sehr dunkel graubraun (10YR3/2); mittel humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Krümel- bis Subpolyedergefüge (verschlammte Oberfläche), mittel verfestigt; Übergang zungenförmig, scharf Lößlehm
2	Al	46	dunkel gelblichbraun (10YR4/6); sehr schwach humos; stark toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Krümel- bis Subpolyedergefüge, mittel verfestigt; Übergang wellig, scharf Lößlehm
3	Bht	67	dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; stark schluffiger Ton; sehr schwach kiesig; Polyedergefüge, mittel verfestigt; deutlich ausgeprägte, dunkle Ton-Humus-Cutane; Übergang wellig, deutlich Lößlehm
4	Btv	77	kräftig braun (7.5YR4/6); sehr schwach humos; schluffiger Lehm, sehr schwach kiesig; Polyeder- bis Prismengefüge, mittel verfestigt; Cutane, Übergang wellig, deutlich Lößlehm
5	Bv	99	braun (7.5YR4/4); sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge, mittel verfestigt; Übergang wellig, scharf Lößlehm
6	Cv	155+	gelblichbraun (10YR5/4); sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, schwach kiesig; Kohärentgefüge, mittel verfestigt; zwischen 118 und 135 cm unregelmäßige, horizontale Bänder von 3-5 cm Mächtigkeit Löß

**Profilkennzeichnung**

<b>Bodenformensymbol:</b>	LLn
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Normparabraunerde aus Löß

**WRB:** Luvisol  
**sonst. Profilkennz.:** Mittel- und feinsandreiche Bänder im Cv-Horizont: 10YR4/4  
**Anmerkungen:** Karteneinheit der Bodenschätzungskarte: L 3 L<sub>0</sub> 75/85

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;  
<sup>#</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt;  
 Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; C=optimal

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							(mS+fS)/ (Σ>6,3µm)
	cm	Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ap	0-36	1,4	3,1	8,2	6,6	53,2	10,6	5,0	13,4	0,18
Al	36-46	< 2	0,5	5,0	4,5	47,6	17,6	4,2	20,6	0,13
Bht	46-67	< 2	0,5	3,0	5,0	45,4	15,4	4,3	26,3	0,12
Btv	67-77	< 2	0,0	2,5	5,0	44,1	17,2	3,4	27,7	0,11
Bv	77-99	< 2	0,5	4,0	6,5	53,6	15,5	3,4	16,5	0,13
Cv	99-155	3,7	1,8	7,8	10,2	50,7	12,2	4,5	12,8	0,22
Bänder	118-135	n.b.	2,7	25,2	20,8	29,3	10,6	1,8	9,6	0,52

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	mm	cm · d <sup>-1</sup>
1	12	13	14	15	16	17	18	19
Ap	1,57	12,1	3,4	9,1	22,1	47	45	132
Al	1,57	12,3	3,3	10,8	19,4	46	14	41
Bht	1,50	16,5	2,6	13,6	17,5	50	34	33
Btv	1,51	13,7	2,2	16,2	18,1	50	18	126
Bv	1,53	14,2	3,4	13,8	17,2	49	38	221
Cv	1,62	15,7	5,9	8,1	16,0	46	1,4	25
Bänder	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Horizont	Carbonat	pH	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (%)					BS
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Na	K	Mg	Ca	(H+) Al	%
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Ap	n.n.	6,97	10,3	0,5	4,0	6	89	0,2	99,6
Al	n.n.	7,16	11,1	0,6	2,5	7	90	n.n.	100
Bht	n.n.	7,13	14,9	0,2	1,7	8	90	n.n.	100
Btv	n.n.	7,24	16,2	0,1	1,7	9	89	n.n.	100
Bv	n.n.	7,38	14,0	0,1	1,1	8	91	0,2	99,8
Cv	12,5	7,78	13,2	0,0	0,2	3	92	0,1	99,6
Bänder	8,7	7,75	12,1	0,0	0,2	2	93	0,1	99,6

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
	Mas-%	Mas-%		mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g · kg <sup>-1</sup>
1	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Ap	1,0	0,10	10,4	12,4 (C)	14,3 (D)	3,05	8,22	0,371	0,986	0,511
Al	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,63	10,10	0,261	1,37	0,446
Bht	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,47	12,54	0,197	1,70	0,428
Btv	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,57	11,87	0,216	1,68	0,409
Bv	0,2	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	1,95	9,33	0,208	1,12	0,380
Cv	0,5	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,998	6,50	0,154	0,729	0,227
Bänder	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,985	7,41	0,133	1,25	0,450

**Tab. 5: Standortsituation Exkursionspunkt H2.5 (Dikopshof, Schlag IX, Profil 5)**

Bearbeiter: Pätzold, Welp  
 Lage: RW: 2567351  
 Nutzung: Acker  
 HW: 5630308  
 Vegetation: Winterweizen (BBCH13)  
 TK25: 5107 Brühl  
 Stadt Wesseling, Rhein-Erft-Kreis  
 Relief: kaum geneigt  
 Datum: 7. Januar 2008

**Profilbeschreibung**

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	35	sehr dunkel graubraun (10YR3/2); schwach humos; schluffig lehmiger Sand, mittel kiesig; Krümel- bis Subpolyedergefüge, schwach verfestigt; Übergang wellig bis zapfenförmig, scharf
2			dunkel gelblichbraun (10YR3/4); sehr schwach humos; schwach toniger Sand, schwach kiesig; Einzelkorngefüge, schwach verfestigt; Übergang glatt, scharf
3	III Bv	57	kräftig braun (7.5YR5/6); sehr schwach humos; schwach toniger Sand, sehr schwach kiesig; Einzelkorngefüge, schwach verfestigt; Übergang wellig, scharf
4			kräftig braun (7.5YR4/6); sehr schwach humos; schwach toniger Sand, schwach kiesig; Einzelkorngefüge, schwach verfestigt; Übergang glatt, scharf
5	V Bv	78	dunkel gelblichbraun (10YR4/6); sehr schwach humos; schwach toniger Sand, sehr schwach kiesig; Einzelkorn- bis Kittgefüge, mittel verfestigt; Übergang glatt, scharf
6			kräftig braun (7.5YR4/6); sehr schwach humos; schwach lehmiger Sand, schwach kiesig; Einzelkorngefüge, mittel verfestigt; Übergang wellig, scharf
7	VII Cv	97	braun (7.5YR4/4); sehr schwach humos; schwach toniger Sand, sehr stark kiesig; Einzelkorngefüge; Übergang glatt, deutlich
8			dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; reiner Sand, mittel kiesig; Einzelkorngefüge, schwach verfestigt; Übergang wellig, deutlich
9	IX Cv	140	dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; reiner Sand, schwach kiesig; Einzelkorngefüge, schwach verfestigt; mit Bändern unterschiedlicher Farbe und Körnung
			Sande und Kiese der Mittelterrasse

**Profilkennzeichnung**

<b>Bodenformensymbol:</b>	<b>BBn</b>
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Normbraunerde aus Sanden und Kiesen der Mittelterrasse

WRB: Cambisol

sonst. Profilkennz.:

Anmerkungen: Falls Verbraunung nicht rezent, ist auch Ansprache als **Regosol** möglich

Karteneinheit der Bodenschätzungskarte:  
 auf der Grenze zwischen L3L6 75/85 und sL 3 Al 69/75

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;

#P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt;

Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; C=optimal

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							(mS+fS)/ (Σ>6,3µm)
	cm	Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ap	0-35	20,5	14,3	21,4	6,1	32,6	11,7	2,7	11,2	0,32
II Bv	35-45	9,8	35,0	44,5	5,0	4,8	0,1	0,2	10,4	0,55
III Bv	45-57	2,5	9,0	75,0	5,0	1,9	0,5	0,1	8,5	0,88
IV Bv	57-70	7,2	23,0	58,0	6,0	1,9	0,8	0,2	10,1	0,71
V Bv	70-78	2,7	3,5	73,0	10,5	4,4	0,3	0,5	7,8	0,91
VI Cv	78-84	9,8	1,5	29,0	51,5	8,2	1,9	1,3	6,7	0,87
VII Cv	84-97	71,2	24,5	42,0	21,5	4,1	1,6	0,9	5,5	0,68
VIII Cv	97-110	17,5	69,5	20,5	3,5	4,1	1,2	0,7	0,6	0,24
IX C	110-140	5,2	20,5	65,0	9,0	3,8	1,0	0,3	0,5	0,75

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	mm	cm · d <sup>-1</sup>
1	12	13	14	15	16	17	18	19
Ap	1,63	20,10	1,03	8,11	12,02	41	32	92
II Bv	1,65	33,16	2,31	5,54	4,98	46	8	127
III Bv	1,62	35,23	1,74	5,71	6,46	49	9	168
IV Bv	1,63	34,10	4,01	4,56	6,47	49	11	92
V Bv	1,63	35,70	2,36	4,70	5,11	48	6	127
VI Cv	1,58	38,46	2,59	3,78	5,43	50	4	168
VII Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
VIII Cv	1,60	46,29	4,50	1,64	2,18	55	2	9239
IX C	1,61	44,18	2,86	2,00	4,91	54	n.b.	3060

Horizont	Carbonat	pH	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (%)					BS
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Na	K	Mg	Ca	(H+) Al	%
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Ap	n.n.	6,82	10,7	0,1	5,4	6	87	0,4	99,2
II Bv	n.n.	6,93	7,2	0,4	6,1	8	85	0,3	99,7
III Bv	n.n.	7,00	5,9	0,1	5,9	8	86	n.n.	100,0
IV Bv	n.n.	7,02	6,0	0,1	5,2	8	87	n.n.	100,0
V Bv	n.n.	6,99	6,5	0,1	4,5	7	88	n.n.	100,0
VI Cv	n.n.	7,10	6,5	0,0	3,7	7	89	n.n.	100,0
VII Cv	n.n.	7,10	4,4	0,4	3,9	7	89	n.n.	100,0
VIII Cv	n.n.	6,79	2,7	1,3	3,7	6	89	n.n.	100,0
IX C	n.n.	6,81	2,5	2,3	1,8	7	89	n.n.	100,0

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>v</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
	Mas-%	Mas-%		mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
1	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Ap	1,0	0,10	10,4	22,4 (D)	22,3 (E)	2,97	7,78	0,382	1,08	0,47
II Bv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,04	6,52	0,159	1,03	0,17
III Bv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,06	6,66	0,158	1,14	0,21
IV Bv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,16	6,10	0,190	0,89	0,16
V Bv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,13	6,91	0,164	1,07	0,22
VI Cv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	1,07	7,14	0,149	1,03	0,31
VII Cv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,87	5,41	0,161	0,68	0,24
VIII Cv	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,49	3,74	0,131	0,69	0,14
IX C	<0,2	<0,02	n.b.	n.b.	n.b.	0,56	4,46	0,126	0,73	0,17

**Tab. 6: Standortssituation Exkursionspunkt H2.6 (Dikopshof, Schlag IX, Profil 6)**

**Bearbeiter:** Pätzold, Welp **TK25:** 5107 Brühl **Datum:** 7. Januar 2008  
**Lage:** RW: 2567369 HW: 5630328 60 m NN Stadt Wesseling, Rhein-Erft-Kreis  
**Nutzung:** Acker **Vegetation:** Winterweizen (BBCH13) **Relief:** kaum geneigt

**Profilbeschreibung**

Hor. Nr.	Horizont-/ Substrat-symbol	Ober-/ Unter-grenze	Horizontbeschreibung
1	Ap	34	dunkel graubraun (10YR4/2); mittel humos; mittel toniger Schluff, schwach kiesig; Krümel- bis Subpolyedergefüge, schwach verfestigt, Übergang zungen- bzw. taschenförmig, scharf Kolluviallehm
2	M1	60	dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge, schwach verfestigt Kolluviallehm
3	M2a	90	gelblichbraun (10YR5/4); sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge, schwach verfestigt Kolluviallehm; Probenahme ohne Regenwürmgänge
4	M2b	90	dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge, schwach verfestigt Kolluviallehm; Probenahme inklusive Regenwürmgänge
5	M3	120	gelblichbraun (10YR5/4); sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge, schwach verfestigt; Kohlestückchen in 130 cm Kolluviallehm
6	M4	150	dunkel gelblichbraun (10YR4/4); sehr schwach humos; mittel toniger Schluff, sehr schwach kiesig; Subpolyedergefüge, schwach verfestigt; Ziegelreste bis 150 cm; Regenwürmgänge bis 150 cm+ Kolluviallehm

**Profilkennzeichnung**

<b>Bodenformensymbol:</b>	<b>YKn</b>
<b>Bodenformenbezeichnung:</b>	Normkolluvisol aus umgelagertem Lößlehm

**WRB:**  
sonst. Profilkennz.:

**Anmerkungen:** Karteneinheit der Bodenschätzungskarte: sL 3 Al 69/75

n.b. = nicht bestimmt; n.n. = nicht nachweisbar;  
<sup>#</sup>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O ermittelt im CAL-Extrakt;  
 Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; C=optimal

**Physikalische und chemische Analysen**

Horizont	Tiefe	Skelett	Textur (Mas-% der kalk- und humusfreien Feinerde)							(mS+fS)/ (Σ>6,3µm)
	cm	Mas-%	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Ap	0-34	5,9	3,6	9,2	6,7	42,8	19,1	5,3	13,3	0,20
M1	34-60	1,2	2,0	6,6	4,5	42,6	22,1	5,7	16,5	0,14
M2a	60-90	0,4	2,0	8,0	6,0	49,0	20,3	2,4	12,2	0,16
M2b	60-90	0,5	2,0	8,0	6,5	48,0	17,6	4,3	13,6	0,18
M3	90-120	0,6	2,0	7,5	6,0	47,5	17,4	3,8	15,6	0,17
M4	120-150	2,1	1,5	7,5	7,0	47,8	18,2	4,4	13,5	0,18

Horizont	d <sub>B</sub>	Porenverteilung (Vol.-%)				GPV	nFK	k <sub>f</sub>
	g · cm <sup>-3</sup>	>50µm	50-10µm	10-0,2µm	<0,2µm	Vol.-%	mm	cm · d <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>
Ap	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
M1	1,54	17,78	0,84	10,62	17,98	47	30	26
M2a	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
M2b	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
M3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
M4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Horizont	Car-bonat	pH	KAK <sub>eff</sub>	Austauschbare Kationen (%)					BS
	Mas-%	(CaCl <sub>2</sub> )	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Na	K	Mg	Ca	(H +) Al	%
<i>1</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>
Ap	n.n.	6,88	11,6	0,9	4,8	6	88	n.n.	99,6
M1	n.n.	6,96	9,7	0,2	3,6	7	89	n.n.	100,0
M2a	n.n.	6,84	8,3	0,8	1,5	7	90	n.n.	100,0
M2b	n.n.	6,98	8,5	0,5	1,5	7	91	n.n.	100,0
M3	n.n.	7,03	8,6	0,7	1,4	8	90	n.n.	100,0
M4	n.n.	7,07	9,1	0,5	1,1	8	90	n.n.	100,0

Horizont	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>#</sup>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
	Mas-%	Mas-%		mg/100g	mg/100g	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	g · kg <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	<i>38</i>
Ap	1,3	0,11	11,3	20,1 (D)	21,7 (E)	3,15	8,40	0,375	1,11	0,54
M1	0,4	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,35	7,64	0,308	1,10	0,41
M2a	0,3	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	2,22	6,66	0,334	0,88	0,40
M2b	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,39	7,05	0,339	0,94	0,42
M3	0,3	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	2,60	7,93	0,328	1,16	0,43
M4	0,2	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	2,58	7,82	0,330	1,00	0,42

## ANHANG

*Die im Exkursionsführer beschriebenen sechs Profile wurden im Januar 2008 aufgenommen. Die Horizontierung der bei der Tagung vorgestellten Profile weicht im Detail etwas ab:*

Profil 1: Parabraunerde aus Schwemmlöß über Löß

Ap (0-35) – Btv1 (35-70) – Btv2 (70-90) – Bv (90-120) – Cv1 (120-142) – Cv2 (> 142)

Profil 2 : Normbraunerde aus Sanden und Kiesen der Mittelterrasse

Ap (0-43) – II Bv (43-61) – III Bv (61-70) – IV Cv (70-88) – V Cv (88-110+)

Profil 3:

Lessivierte Braunerde aus Löß über Sand und Kies der Mittelterrasse

Ap (0-34) – Btv1 (34-49) – Btv2 (49-63) – II Bv (weiter s. Beschreibung) – III Bv3 (bis 142)

Profil 4:

Normparabraunerde aus Löß

Ap (0-36) – A1 (36-46) – Bht (46-80) – Btv (80-91) – Bv (91-115) – Cv (115-170+)

Profil 5: Normbraunerde aus Sanden und Kiesen der Mittelterrasse

Ap (0-40) – II Bv (40-46) – III Bv (46-57) – IV Bv (57-70) – V Bv (70-78) – VI Cv (78-104) – VII Cv (104-118) – VIII Cv (118-129) – IX Cv (129-160+)

Profil 6:

Normkolluvisol aus umgelagertem Lößlehm

Tiefenstufen bleiben

### Bodenschätzungswerte nach Karte und aktueller Bewertung

Profil	Klassenzeichen der Bodenschätzung für betreffende Polygon der „Gründruck“-Karte (Erstschätzung 1939, unveränderte Nachschätzung 1992)	Bodenschätzung für die offenen Profilgruben (aktuelle Bewertung durch C. Petzold und H.J. Dreesbach, Finanzverwaltung NRW am 20.08.09)
1	SL 3 A1 69 / 75	sL 3 A1 69 / 75
2	SL 3 D 56 / 59	IS 3 D 48 / 53
3	IS 3 D 44 / 46	SL 3 LÖD 60 / 66
4	L 3 LÖ 75 / 85	L 3 LÖ 80 / 88
5	L 3 LÖ 75/85 + sL 3 A1 69/75	SL 3 D 52 / 57
6	sL 3 A1 69 / 75	LÖ statt A1 (?)

### H 3: Gesteine, Böden und Naturschutz im Siebengebirge

Armin Skowronek und Martin Kehl

#### Zur Wahrnehmung des Siebengebirges

Das natürliche Wahrzeichen der Bundesstadt Bonn, die von der linken Rheinseite erkennbaren Erhebungen Petersberg (331 m), Drachenfels (321 m), Wolkenburg (324 m), Nonnenstromberg (336 m), Gr. Ölberg (460 m), Lohrberg (435 m) und Löwenburg (455 m) bilden das, was der Einheimische und der Besucher mit dem Begriff Siebengebirge verbinden.

Die „Rheinischen Alpen“ mit dem an ihrem Fuß strömenden „Vater Rhein“ waren das „Tor zur Romantik“, an dem sich viele Literaten und Künstler versuchten. Auch das 1939 eröffnete „Siebengebirgsmuseum der Stadt Königswinter“ widmet sich heute neben dem Schwerpunkt „Geologie und naturkundliche Besonderheiten“ vor allem dem Thema „Rheinromantik und Tourismus“: das regionalgeschichtliche Museum soll zum Fachmuseum für Rheinromantik und rheinische Landschaftsgeschichte mutieren. Die Ausstellung im Jahr 2007 „Sehnsucht Rhein – Rheinlandschaften in der Malerei“ ist der erste Beleg für den geplanten Paradigmenwechsel.

Der im Zuge der Romantik entstandene, frühe Tourismus veranlasste Naturfreunde, am 4. Dezember 1869 den „Verschönerungsverein für das Siebengebirge“ (VVS) zu gründen. Bald schon verschrieb sich dieser aber dem Kampf gegen die Landschaftszerstörung, die besonders durch den – mit den Römern einsetzenden – Gesteinsabbau dramatische Ausmaße angenommen hatte (BIESING 1994). Das faktisch älteste deutsche Naturschutzgebiet (amtlich 1922) ist seit 1959 auch der erste Naturpark Nordrhein-Westfalens (Träger VVS; OFFNER 1991), er soll 2011 in einen Nationalpark umgewandelt werden. „Im Wettbewerb der Destinationen“ können Nationalparke künftig eine „zentrale Funktion“ übernehmen (HANNEMANN & JOB 2003, S. 6).

Auf dieser Exkursion sollen die schon in der

Vergangenheit sehr attraktiven geologisch-geomorphologischen „Alleinstellungsmerkmale“ des Siebengebirges mit bodenkundlichen Aspekten und natürlich auch mit der z. Zt. intensiv diskutierten Frage Nationalpark ja oder nein verbunden werden.

#### Tertiärer Vulkanismus und heutige Oberflächenformen

Die oligo-miozäne Förderung von Trachyttuff, Trachyt, Latit und Basalt auf eine tief verwitterte alttertiäre Pediplain wurde durch die in das Rheinische Schiefergebirge einbrechende Niederrheinische Bucht verursacht. Der Vulkanismus war explosiv (Trachyttuff) und intrusiv (Trachyt, Latit, Basalt). Der weichere Trachyttuff wurde schneller abgetragen, die resistenteren Intrusiva erzeugten dagegen sog. Härtinge. Zusammen mit der Terrassentreppe des Rheintales bildet das Siebengebirge ein in Deutschland einzigartiges geologisch-geomorphologisches Ensemble.

#### Verwitterung und Bodenbildung

Neben der pleistozänen kryoklastischen Aufbereitung aller Siebengebirgs-Vulkanite fällt auf, dass die Trachyttuffe auch tiefgründig chemisch verwittert (saproolithisiert) sind, sowohl die „Normal- oder Ofenkaulfazies“ als auch die „Höllenfazies“.

BALLMANN unterschied bei *in situ*-verwitterten Trachyttuffen drei Intensitätsgrade: „frischere“, „stärker verwitterte“ und „stark verwitterte Tuffe“. Erstere seien noch glashaltig und führten ausschließlich Montmorillonit, die zweiten Montmorillonit, Kaolinit und Illit, und bei den letzteren gebe es starke Anwitterungserscheinungen an Sanidin, Titanit und Plagioklasen sowie eine Dominanz der Zweischichttonminerale (1972, S. 347 f.). Die Erklärung erfolgte überwiegend paläogeographisch (terrestrisch *versus* aquatisch/subaquatisch).

BOHNÉ & SKOWRONEK (1993) plädierten nach Untersuchungen in allen Tiefenstufen der noch vorhandenen Trachyttuff-Decke für eine terrestrische, chemische *in situ*-Verwitterung (Saproolithisierung) der generell glasreichen Pyroklastika, deren unterschiedliche Alteration (Smektit, Kaolinit) aber eher Ungleichgewichten bei der Tonmineralbildung zuzuschreiben sei.

---

Prof. Dr. A. Skowronek u. Priv.-Doz. Dr. Martin Kehl, INRES – Bodenwissenschaften, Universität Bonn, Nußallee 13, 53115 Bonn, e-mail: askowronek@uni-bonn.de

Hydrothermale Veränderungen, wie sie an Alkalibasalten vorkommen (VIETEN et al. 1988, S. 15), müssen als Erklärung für die unsystematische Verteilung von Smektit und Kaolinit in den Trachyttuffen weiterhin ausgeschlossen bleiben, zumal bisher kein Dickit nachgewiesen wurde und die basaltischen Schmelzen vom Chemismus her trocken waren. MÜCKENHAUSEN (1967, S. 704) wies jedoch im kontaktmetamorph veränderten Bereich (2 m) des roten Trachyttuffs am Weilberg nach, dass Montmorillonit hydrothermal während der Basaltintrusion entstand. Bei der gesamten Alterationsproblematik muß man sich vor Augen halten, dass die Trachyttuff-Decke nicht in einem Zuge entstand, sondern in mehr oder weniger dünnen Lagen aufwuchs. Eine synchrone (Intensiv-) Verwitterung kann daher immer nur Teile der Gesamtmächtigkeit (von vielleicht mehreren hundert Metern) erfasst haben. Auch das Klima blieb nicht immer gleich, im Miozän gab es sogar zwei längere Trockenphasen (SCHWARZBACH 1968, Abb. 9), in denen kräftig abgetragen und umgelagert werden konnte.

Die spezifischen Eigenschaften der Trachyttuffe wirkten sich auch bodenmechanisch in einem außergewöhnlichen Materialverhalten aus: die beim Bau der A 59 (B 42n) zwischen Autobahnkreuz Bonn-Ost und Anschlussstelle Königswinter abgegangenen Rutschungen (bes. 1977-1984) ließen sich auf besondere Entfestigungs- und Quellvorgänge – hervorgerufen durch expandible Tonminerale und durch Redoxpotentialdifferenzen – zurückführen (MÜLLER 1987). Die Entwicklung eines modifizierten Kreisringschergerätes war nötig, um die Standsicherheitsanalyse der Einschnittböschungen auch experimentell zu begründen (AZZAM 1984).

Die Böden des ca. 4 815 ha großen (auch auf devonische und tertiäre Sedimentite übergreifenden) „Naturparks Siebengebirge“ gehören im (überwiegenden) vulkanischen Teil typologisch meist zu den Braunerden, stellenweise zu den Rankern. Lößumkleidungen an vulkanischen Härtingen tragen Parabraunerden (s. BK 50). An Mittel- und Unterhängen tritt ziehende Nässe auf, sie führte zu Pseudovergleyung aber günstigerem Basengehalt (s. BK 25). Durch Gesteinsabbau „künstlich veränderte Böden“ (Symbol U3) am Ofenkaul zeigten laut BURGHARDT (1979, S. 30) schon nach wenigen Dekaden (seit 1920) wieder Verbraunungseffekte.

Darüber hinaus können „braunkohlen- und braunkohlenkokshaltige Flugstäube und Flugaschen“ die Waldhumusformen und die Bodenvegetation verändern (BURGHARDT & v. ZEJSCHWITZ 1979, S. 5).

Insgesamt hat die Bodennutzung der Jahrhunderte (Rohstoffabbau, Waldnutzung, Weinbau, Verkehrswegebau u. a.) die Oberflächengestalt und die Böden z. T. irreversibel verändert und so geschädigt, dass schon stellenweise teure Sanierungen durchgeführt werden mussten (BURGHARDT 1997).

#### Exkursionsstandorte

1. Kuckstein: Basaltabbau u. Haldenaufschüttungen; Hangrutschungen u. ihre Sanierung (Entwässerung, Hangsicherung); Fundsituation des „Oberkasseler Menschen“.
2. Ofenkaul: Trachyttuffe, Böden und Erstarrungs- bzw. Absonderungsformen von Intrusiva.

Profil Ofenkaul I ist eine *Humusbraunerde* über fossiler *Parabraunerde* aus basaltschutt- und lösshaltigen Fließerden über Trachyttuff, Profil Ofenkaul II eine erodierte *Braunerde* aus Trachyttuff (Analysen s. Tabellenanhang). Der Bvt-Horizont der fossilen Parabraunerde und die Cvt-Horizonte beider Böden zeigen Porenwandbeläge doppelbrechenden Tons. Die vulkanischen Gläser, Sanidine und Plagioklase des Trachyttuffs sind kaum verwittert.

3. Drachenfels: Bergfahrt mit Drachenfelsbahn; Quellkuppe, Quarztrachyt, Böden, Rohstoffabbau u. Felssicherungen.

Profil Drachenfels I ist eine (anthropogene) *Humusbraunerde*, Profil Drachenfels II ein *Ranker* (Analysen s. Tabellenanhang).

4. Schloss Drachenburg: Landschaftsromantik, Architektur der Gründerzeit; Vorburg: Besuch „Museum zur Geschichte des Naturschutzes“, danach Diskussion geplanter „Nationalpark Siebengebirge“.
5. Nachtigallental: Trachyttuff-Fazies („Normaltuff“ od. „Ofenkaulentuff“ u. „Höllentuff“), devonisches Grundgebirge (saproolithisiert), Hangformung und Erosionsdiskordanz Devon/Tertiär.
6. Petersberg (früher Stromberg): Vulkanologie und Geomorphologie; Siedlungsgeschichte;

Hotelgewerbe und hohe Politik(geschichte).  
[optional]

7. Weilberg: Vulkanologie, Rohstoffabbau (Basalt) und Naturschutz.
8. Kloster Heisterbach: Zisterzienser im Siebengebirge, Chorruiene; Weinkultur im Siebengebirge, Verkostung von Siebengebirgs-Weinen (vorgesehen).

#### Literatur

AZZAM, R. (1984): Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Quell-, Kompressions- und Scherfestigkeitsverhalten tuffitischer Sedimente und deren Bedeutung für die Standsicherheitsanalyse tiefer Einschnittsböschungen. – Mitt. Ing.- u. Hydrogeol. 18: 1-148.

BALLMANN, P. (1972): Verwitterung und Mineralneubildung in tertiären Trachyttuffen des Siebengebirges unter Berücksichtigung der Ablagerungsverhältnisse. – Pedologie 22: 328-355.

BIESING, W. (1994): 125 Jahre VVS: Die ersten vierzig Jahre. – Rhein. Heimatpfl. 31: 298-303.

BOHNÉ, B. & A. SKOWRONEK (1993): Zur Glasverwitterung und Tonmineralneubildung in tertiären Trachyttuffen des Siebengebirges. – Mitt. DBG 72: 1281-1284.

BURGHARDT, O. (1979): Siebengebirge – Landschaft im Wandel – . Krefeld (GLA), 62 S. (mit einer Bodenkarte des Naturparks Siebengebirge 1:25 000).

BURGHARDT, O. (1997): Das Siebengebirge – Veränderung durch Bergbau, Forstwirtschaft, Weinbergsflurbereinigung und Verkehrs-Trassen. – Ber. z. dt. Landeskunde 71: 229-254.

BURGHARDT, O. & E. v. ZEZSCHWITZ (1979): Flugstaubbefüllte Böden im Bereich des Siebengebirges. – Geol. Jb. F 7: 5-43.

HANNEMANN, T. & H. JOB (2003): Destination „Deutsche Nationalparke“ als touristische Marke. – Tourism Review 58: 6-17.

MÜCKENHAUSEN, E. (1967): Die Feinsubstanz vulkanogener Edaphoide. – Anal. Edaf. y Agrobiol. 26: 703-715.

MÜLLER, L. (1987): Spezielle geologische und geotechnische Untersuchungen bei der Sanierung von Rutschungen im nördlichen Siebengebirge. – Mitt. Ing.- u. Hydrogeol. 27: 1-234.

OFFNER, H. (1991): 32 Jahre Naturpark Siebengebirge. – Rhein. Heimatpfl. 28: 62-64.

SCHWARZBACH, M. (1968): Das Klima des rheinischen Tertiärs. – Z. dt. geol. Ges. 118: 33-68.

VIETEN, K., H.-M. HAMM & W. GRIMMEISEN (1988), mit Beitr. von W. MEYER: Tertiärer Vulkanismus des Siebengebirges. – Fortschr. Miner. 66, Beih. 2: 1-42.

#### Karten

Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:50 000  
Blatt L 5308 Bonn (GLA NRW 1983)

Bodenkarte des Naturparks Siebengebirge 1:25 000  
(GLA NRW 1979)

Die nachstehenden Analysen wurden im Rahmen der Diplomarbeit von Dina Wolf durchgeführt.

und Nutzung. – Unveröff. Diplomarb. Geogr. Inst. Univ. Bonn, 101 S.

[Betreuer: Prof. Dr. A. Skowronek]

WOLF, D. (2008): Böden auf tertiären Vulkaniten des Siebengebirges – Aufbau, Genese, Ökologie

## Tabellenanhang

Tab. 1: Korngrößenzusammensetzung von Böden auf Trachyttuff und Trachyt im Siebengebirge

Horizont	Tiefe cm	Skelett Masse-% Gesamtb.	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
			Masse-% silikat. Feinboden						
Profil Ofenkaul I: <i>Humusbraunerde</i> über fossiler <i>Parabraunerde</i>									
Ah	0-8	13,1	8,5	9,0	11,0	23,6	19,9	14,9	13,2
Ah-Bv	8-25	69,5	18,8	11,1	11,8	14,7	19,7	14,1	9,9
IIAh-Bv	25-49	49,4	13,3	9,7	10,5	17,4	20,6	16,1	12,4
IIIfBvt	49-68	75,1	5,8	5,8	7,6	25,6	21,5	15,0	18,7
IVfBvt	68-86	45,7	23,6	10,8	7,5	15,3	14,1	10,0	18,6
VCvt	86-106	8,3	21,8	21,3	14,8	10,8	10,1	7,8	13,4
VICvt	106+	12,6	20,8	26,1	17,0	11,2	8,7	4,9	11,2
Profil Ofenkaul II: Erodierte <i>Braunerde</i>									
Ah-Bv	0-18	20,4	11,8	10,8	12,0	14,7	18,0	19,1	13,6
Cv(t)	18-53	9,4	7,0	13,3	15,6	13,9	18,0	17,3	14,9
IICvt	53-75	35,3	11,1	27,7	16,1	9,7	11,8	10,8	12,8
IIICvt	75-110	79,4	26,8	32,3	12,3	9,5	6,4	4,7	8,0
Profil Drachenfels I: <i>Humusbraunerde</i>									
Ah-Bv1	0-23	40,2	22,4	26,0	13,0	17,8	9,4	6,5	4,9
Ah-Bv2	23-40	30,1	19,8	27,6	13,4	1,0	21,3	10,5	6,5
Profil Drachenfels II: <i>Braunerde-Ranker</i>									
Ah	0-20	39,2	25,7	18,7	14,6	17,7	12,3	4,5	6,6
Ah-Bv	20-45	48,5	19,5	20,0	17,0	20,4	11,7	7,8	3,7
IICv	45-75	79,5	28,9	22,2	15,5	12,1	13,3	2,0	6,0

Tab. 2: Ergebnisse der chemischen Analysen von Böden auf Trachyttuff und Trachyt im Siebengebirge

Horizont	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>i</sub>	C/N	P <sub>CAL</sub>	Fe <sub>0</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>t</sub>	pH	KAK <sub>eff</sub>	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	BS
Masse-%											cmol <sub>c</sub> /kg Feinboden		H <sub>2</sub> O		CaCl <sub>2</sub>		%				
<b>Profil Ofenkaul I: Humusbraunerde über fossiler Parabraunerde</b>																					
Ah	0	3,26	0,15	21,1	0	2,5	9,7	24,0	0,26	0,40	0,23	4,5	5,0	0,29	0,23	0,27	0,02	4,13	0,02	0,05	16,2
Ah-Bv	0	1,37	0,07	19,6	0	2,1	9,2	19,8	0,23	0,46	0,26	4,7	5,8	0,43	0,26	0,28	0,04	4,74	0,01	0,03	17,3
IIAh-Bv	0	0,96	0,06	16,6	0	1,5	7,7	20,5	0,20	0,38	0,54	4,9	5,0	1,10	0,54	0,23	0,04	3,03	0,02	0,06	37,9
IIIBvt	0	0,57	0,04	13,6	0	1,5	12,5	34,5	0,12	0,36	3,31	5,1	11,2	5,34	3,31	0,10	0,16	2,20	0,02	0,07	79,6
IVfBvt	0	0,26	0,02	11,9	0	0,7	10,0	38,7	0,07	0,26	6,23	5,8	15,2	8,32	6,23	0,06	0,23	0,32	0,01	0,02	97,6
VCvt	0	0,14	u. N.	u. N.	0	0,2	4,4	22,3	0,05	0,20	4,12	5,8	10,0	5,12	4,12	0,10	0,42	0,25	0,004	0,01	97,3
VICvt	0	0,14	u. N.	u. N.	0,03	0,2	3,6	17,9	0,06	0,20	3,45	5,7	9,6	4,92	3,45	0,17	0,92	0,18	0,004	0,002	98,0
<b>Profil Ofenkaul II: Erodierte Braunerde</b>																					
Ah-Bv	0	1,22	0,05	26,5	0	1,0	1,7	5,7	0,59	0,30	0,04	4,4	4,1	0,20	0,04	0,10	0,18	3,56	0,03	0,01	12,7
Cv(t)	0	0,23	0,02	11,8	0	0,4	1,2	7,8	0,35	0,15	0,05	4,3	7,4	0,27	0,05	0,40	0,11	6,54	0,02	0,01	11,2
IICvt	0	0,11	u. N.	u. N.	0	0,2	0,9	9,9	0,21	0,10	0,19	4,3	9,1	0,64	0,19	0,37	0,19	7,71	0,01	0,01	15,2
IIICvt	0	0,06	u. N.	u. N.	1,07	0,2	0,9	10,3	0,20	0,08	2,51	5,2	8,6	3,46	2,51	0,44	0,19	1,96	0,004	0,01	76,9
<b>Profil Drachenfels I: Humusbraunerde</b>																					
Ah-Bv1	3,0	7,23	0,56	12,9	177,0	1,9	6,6	18,1	0,29	0,37	2,36	7,7	34,7	27,86	2,36	4,10	0,33	0,02	0,01	0,03	99,8
Ah-Bv2	3,9	6,47	0,52	12,4	186,8	1,8	6,0	16,5	0,30	0,36	2,16	7,8	35,6	29,02	2,16	4,06	0,32	0,01	0,01	0,03	99,9
<b>Profil Drachenfels II: Braunerde-Ranker</b>																					
Ah	0	3,78	0,19	20,1	19,0	1,0	7,0	19,0	0,2	0,4	0,64	4,3	7,4	2,14	0,64	0,14	0,09	4,11	0,07	0,19	40,9
Ah-Bv	0	1,86	0,11	17,6	15,7	1,0	5,0	19,0	0,2	0,3	0,98	4,3	9,4	1,80	0,98	0,04	0,07	6,28	0,05	0,13	30,9
IICv	0	0,65	0,06	11,5	27,9	0,4	4,0	19,0	0,1	0,2	1,90	4,8	6,7	3,35	1,90	0,04	0,09	1,19	0,005	0,14	80,2

## Exkursion H4

### Tunnelerosion im Bergischen Land

Johannes Botschek<sup>1,2</sup>, Andrea Winzen<sup>1</sup>, Dirk Henn<sup>1</sup>, Thekla Abel<sup>1</sup>, Ralph Krämer<sup>3</sup>

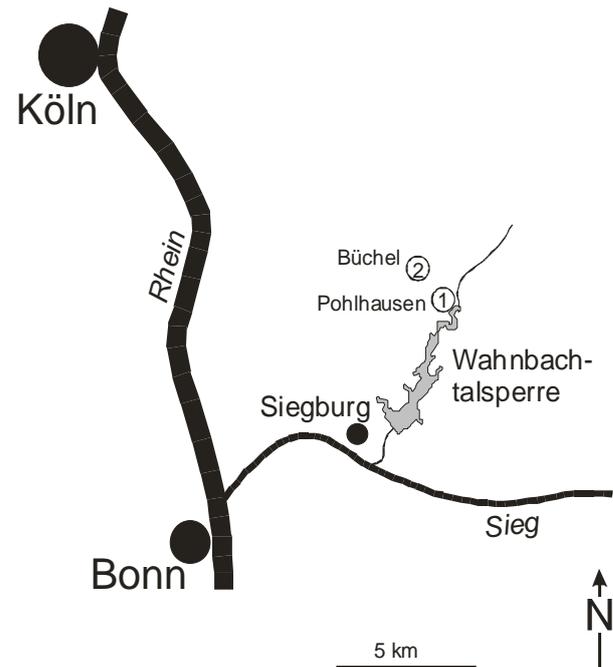
#### 1 Einleitung

Bodenerosion wird nicht nur durch Oberflächenabfluss verursacht, sondern kann auf geneigten Standorten auch durch unterirdischen Abfluss (Zwischenabfluss) in lateraler Richtung ausgelöst werden. Die versickernden Niederschläge fließen dabei auf wasserstauenden Horizonten oder in Makroporen hangparallel ab und können unterirdische Röhren oder Tunnels ausspülen (Williams 1985; Rohdenburg et al. 1986). Dies führt zur Bodenzerstörung am Standort und kann seine Nutzung erheblich einschränken. Die hohe Transportkapazität der Tunnels ermöglicht hohe Fließgeschwindigkeiten, so dass versickerndes Oberflächenwasser von den Hangflächen sehr schnell in unterhalb gelegene Gewässer weitergeleitet wird (McCaig 1983; Boucher 1990). Dabei können die während der normalen Bodenpassage einsetzenden Filter-, Puffer- und Transformationsprozesse nicht mehr auf Sedimentfracht, Nähr- und Schadstoffe einwirken, so dass Tunnelerosion möglicherweise Gewässer belastet.

In Deutschland wurde die Tunnelerosion bislang nur vereinzelt beschrieben (Müller-Miny 1954, Schröder 1973; Barsch & Wimmer 1988; Botschek et al. 2000). Daher sind ihre Ursachen, Abtrags- und Verlagerungsmechanismen sowie ihre Risiken für den Bestand und die Funktionalität von Böden unter den hiesigen Klima- und Standortbedingungen noch unklar und gehen bisher nicht in Bodenschutzkonzepte ein. Auch die Auswirkung auf oberirdische Gewässer – insbesondere die Bedeutung der Tunnelerosion in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen – sind weitgehend unbekannt.

An den Standorten Pohlhausen und Büchel im Wasserschutzgebiet der Wahnbachtalsperre (Bergisches Land) sollen anhand ober- und unterirdischer Erosionsformen das Prozessgeschehen demonstriert und Folgen für die landwirtschaftliche Nutzung, den Boden- und den Gewässerschutz verdeutlicht werden (Karte 1). Untersuchungsergebnisse liegen lediglich zu Standort Pohlhausen

vor, während Büchel als ergänzender Demonstrationsstandort dienen soll.



Karte 1: Lage der Exkursionspunkte

#### 2 Der Tunnelerosionsprozess

Ausgangspunkt des unterirdischen Bodenabtrags sind Makroporen, die einen schnellen Wassertransport und damit die Ausübung von starken Scherkräften auf die Porenwandungen sowie die Partikelmobilisierung und -abfuhr ermöglichen (Parker 1963). Bei genügender Standfestigkeit des Substrates kann schnell strömender Zwischenabfluss in den Makroporen unterirdische Röhren oder Tunnels ausspülen (Dunne 1990). Dabei bilden sich die Tunnels häufig in relativ wasserdurchlässigen Unterbodenhorizonten, die dichteren Horizonten aufliegen. Die Tunnels erweitern sich vor allem ins Hangende hinein, wo Wassersättigung den Zusammenhalt der Partikel schwächt und diese in den Tunnel herabstürzen lässt. Außerdem sorgt die Scherwirkung des Tunnelflusses für Seiten- und Tiefenerosion (Boucher 1990; Dunne 1990), so dass Röhrendurchmesser von wenigen Millimetern bis zu 3 Metern entstehen können (Bryan und Yair 1982). Im fortgeschrittenen Stadium des Prozesses bricht die Tunneldecke unter Bildung von Sinklöchern ein, deren unbedeckte, sehr steile Flanken der Erosion durch Oberflächenabfluss ausgesetzt sind und die sich daher allmählich vergrößern (Benito et al. 1993). Im Verlauf eines Tunnels entstehen oft mehrere Sinklöcher mit der Tendenz sich zu vereinigen und dadurch einen Graben oder Gully zu schaffen (z.B. Poesen 1989).

<sup>1</sup> INRES Bodenwissenschaften, Nussallee 13, 53115 Bonn

<sup>2</sup> Umweltberatung Botschek, Blücherstr. 40, 53115 Bonn

<sup>3</sup> Wahnbachtalperrenverband, Siegelsknippen, 53721 Siegburg

### 3 Fallbeispiel Wahnbachtalsperre

Der Wahnbachtalsperrenverband versorgt zur Zeit ca. 750.000 Menschen im Gebiet Bonn-Siegburg mit Trinkwasser. Er nutzt dazu 2 Grundwasserwerke an der „Unteren Sieg“ und im „Hennefer Siegbogen“ sowie als zentrales Element die Wahnbachtalsperre (Karte 1), die 1958 in Betrieb genommen wurde. Das Stauvolumen beträgt insgesamt 40,91 hm<sup>3</sup> bei einem mittleren Jahreszufluß von 38,6 hm<sup>3</sup>. Die wasserrechtlich bewilligte Entnahmemenge beträgt 28,1 hm<sup>3</sup>/a.

Das Einzugsgebiet ist 71,5 km<sup>2</sup> groß und wird etwa zur Hälfte landwirtschaftlich genutzt. Dies kann zu Einträgen von Stoffen und Organismen in die oberirdischen Gewässer führen (Krämer et al. 2000).

Bei Erosionskartierungen wurde 1993 erstmals Tunnelerosion dokumentiert (Krämer und Gerlach 1993); inzwischen sind 33 Standorte bekannt.

#### 3.1 Untersuchungshang Pohlhausen

Der etwa 1 ha große NE-exponierte Testhang entwässert oberirdisch in einen Wegeseitengraben, der deutliche Sedimentablagerungen aufweist und nach 270 m in die Talsperre mündet. Der Hang ist konvex geformt, zwischen 10° und 15° geneigt und besitzt eine zentrale Delle (Karte 2). Offene sowie verfüllte Sinklöcher, die noch als flache Depressionen erkennbar sind, konzentrieren sich ebenso wie Austrittspunkte des Zwischenabflusses auf die Delle. An einem dieser Austrittspunkte bei 154 mNN hat sich ein Schwemmfächer gebildet, der von den Höhenlinien nachgezeichnet wird.

Der Boden- und Substrataufbau des Testhanges wurde durch 54 Bohrungen und drei Profilgruben untersucht. Danach bestehen die dem Grundgebirge aufliegenden Sedimente aus schuttlehmreichen Fließerden mit Skelettanteilen zwischen 25 % und 50 % und aus Lößlehm. Die in einer Toposequenz angelegten Profilgruben zeigen am konvexen Oberhang eine „pseudovergleyte Parabraunerde-Braunerde aus Löß“ (Profil 1), am konkaven Mittelhang eine „pseudovergleyte Braunerde aus Löß“ (Profil 2) und in der Hangverflachung einen „leicht pseudovergleyten Kolluvisol aus Hanglöß“ (Profil 3). Charakteristisch für die gesamte Bodenformengesellschaft des Testhanges ist die Schichtung der Profile und eine räumlich stark variierende Vernässung. Staunässemerkmale reichen teilweise bis in den Oberboden und sind überall oberhalb der dichten Fließerde festzustellen. Die höchste aktuelle Bodenfeuchte herrscht jeweils in der Tiefenlinie der Hangdelle, während die Del-

lenhänge und die Kuppenbereiche des Testhanges vergleichsweise trocken sind. Ehemalige, bereits wieder mit Lockermaterial bzw. Bauschutt verfüllte Sinklöcher sind häufig und durch eine entsprechend heterogene Bodenhorizontierung gekennzeichnet. Die Fläche wird nur noch als Weide genutzt, da Maschinen für die Wiesenbewirtschaftung wegen der immer wieder einbrechenden Sinklöcher nicht mehr eingesetzt werden können. Der Viehbesatz der Weide liegt bei 3 bis 4 Rindern pro Hektar. Über die Zufuhr von Kot und Harn während der Weidezeit hinaus erfolgt eine Düngung mit Kalkammonsalpeter.

#### 3.2 Oberirdische Tunnelerosionsformen

Die zahlreichen Sinklöcher auf dem Testhang kennzeichnen ein fortgeschrittenes Stadium der Tunnelentwicklung, weil die Geländeoberfläche bereits in beträchtlichem Umfang in den Degradationsprozeß einbezogen ist (vgl. Boucher 1990). Im Oktober 1996 wurden mehrere offene Sinklöcher mit Durchmessern zwischen 0,4 und 4,3 m und einer Tiefe bis zu 1,5 m kartiert, die sich z.T. in alten, bereits wieder verfüllten Sinklöchern gebildet hatten. Darüber hinaus konnten zehn weitere, zum Teil mit einem Gemisch aus Bauschutt und Bodenmaterial verfüllte Sinklöcher mit ähnlichen Abmessungen identifiziert werden (Karte 2). Die Sinklöcher häufen sich in der Hangmulde. Ein neu entstandenes, noch kleines Sinkloch hat typischerweise einen Durchmesser von 0,7 m und eine Tiefe von 1 m, oft erweitert sich der Hohlraum birnenförmig nach unten. Das durch sein Eigengewicht eingebrochene Oberbodenmaterial wird vom am Grund des Sinkloches sichtbaren Tunnelfluß aufgenommen und abtransportiert. Der konzentrierte Zwischenabfluß tritt als starker Strahl aus einem kleinen Loch an der hangaufwärts gelegenen Wandung des Sinkloches aus und verläßt es durch ein trichterförmiges, schräg nach unten führendes Strudelloch. Die älteren Sinklöcher haben meist eine ovale, sich nach unten verjüngende Form, deren steile Wände labil sind und schalenförmig nachbrechen. Sedimentablagerungen auf der Hangoberfläche markieren Austrittspunkte des Tunnelflusses, die als ephemere Quellen oder Springen bei starken Niederschlägen suspensionsreiches Zwischenabflusswasser fördern (vgl. Müller-Miny 1954; Gilman und Newson 1980). Besonders zwischen 169 und 164 mNN, also unterhalb eines Sinklochschwarmes, häufen sich die Springen. Die Sedimente bilden kleine

Schwemmfächer oder einige Meter lange linienförmige Akkumulationen.

### 3.3 Abfluss und Feststofftransport

Die zur Beobachtung der Tunnelflüsse ausgewählten Kontrollpunkte 1 und 2 liegen in offenen Sinklöchern, Kontrollpunkt 3 ist eine Tunnelmündung an der Bodenoberfläche, Kontrollpunkt 4 ist ein Austrittspunkt des Tunnelflusses in der Böschung am Hangfuß (Karte 2). Die Abflussraten zwischen 0,1 und 6,1 l/min zeigen an den einzelnen Beobachtungsterminen meist nur geringe Abweichungen zwischen den Kontrollpunkten (Tab. 1). Im Gegensatz dazu sind die Feststoffkonzentrationen zeitlich und räumlich sehr variabel und schwanken von 0,3 - 25,6 g/l. Für die Belastung des Abflusses mit Feststoffen sind vermutlich interne Prozesse mitverantwortlich, die Abschervorgänge an den Tunnelwandungen und das Herabfallen von Substrat von der Tunneldecke umfassen und so für zeitlich und räumlich wechselnde Konzentrationen sorgen.

Die Feststofftransportraten variieren dementsprechend stark zwischen 0,3 und 124,4 g/min. Die höchsten Transportraten ergab die Kontrolle am 05.04.1997, dem niederschlagsreichsten Termin des Beobachtungszeitraums (12,6 mm in den 12 h vor der Probennahme). Eine Abschätzung der Gesamtabflüsse und -transporte aus den Tunnels erfolgt beispielhaft an den Daten des Tunnelflusserignisses am 05.04.1997, wobei die Überschlagsrechnung von folgenden vereinfachenden Annahmen ausgeht:

- Tunnelfluss setzt zeitgleich mit Niederschlagsbeginn ein und versiegt bei Niederschlagsende. Kurze Unterbrechungen, verzögerter Abflussbeginn nach Einsetzen des Regens und andauernder Abfluss nach dem Regen werden dabei nicht berücksichtigt.
- Abfluss- und Transportrate des Tunnelflusses sind für die gesamte Niederschlagsdauer konstant. Dabei werden die Daten der Stichprobe zugrunde gelegt.

Der Regen hatte eine Summe von 39 mm, setzte am 05.04. um 5:24 Uhr ein und dauerte mit wenigen, maximal 12minütigen Unterbrechungen bis 23:04 Uhr. Die Förderleistungen betragen demnach an

- Kontrollpunkt 2: 4,5 m<sup>3</sup> Suspension mit 114 kg Feststoffen,
- Kontrollpunkt 3: 6,5 m<sup>3</sup> Suspension mit 132 kg Feststoffen,

- Kontrollpunkt 4: 3,4 m<sup>3</sup> Suspension mit 14 kg Feststoffen.

Diese Förderleistung ist mit derjenigen vergleichbar, die vom Oberflächenabfluss auf Ackerflächen mit ähnlichen Böden erreicht wird oder sie übersteigt diese sogar (vgl. Benito et al. 1993).

Bislang ist nicht bekannt, welcher Anteil der transportierten Stoffe das Hangeinzugsgebiet verlässt. Aus den verhältnismäßig geringen oder gar nicht nachweisbaren Abflüssen und Feststofftransporten am Kontrollpunkt 4 ist jedoch zu folgern, dass weitere Röhren existieren, die unter Umgehung des Kontrollpunktes für Entwässerung und Materialaustag sorgen. Darauf deuten auch die Sedi-mentablagerungen im unterhalb gelegenen Wege-seitengraben hin (Karte 2). Ein großer Teil der Stofffracht dürfte deshalb aus dem Hangeinzugsgebiet exportiert werden.

### 3.4 Gelöste und partikulär gebundene Stofffrachten

Die pH-Werte der Tunnelflüsse liegen mit Werten von 7,2 bis 7,8 deutlich höher als die Boden-pH-Werte (5,4 - 6,5). Die elektrische Leitfähigkeit des Abflusses zeigt eine Abhängigkeit von der Abflußrate: Hohe EC-Werte um 400 µS/cm wurden bei geringen, niedrigere EC-Werte bis maximal 318 µS/cm bei stärkeren Abflüssen gemessen. Die gelöste Stofffracht des Tunnelflusses wird vom Ca-Gehalt dominiert, der 58 bis 131 mg/l beträgt (Tab. 2). Demgegenüber nehmen die Kationen Mg, K und Na nur kleine und wenig unterschiedlich Anteile ein. Lediglich am 19.03. erreicht die K-Konzentration an Kontrollpunkt 1 mehr als 15 mg/l, und auch die übrigen Kationengehalte liegen bei dieser Messung relativ hoch.

Sie bleiben aber wie an den anderen Terminen deutlich unter 10 mg/l. Alle Kationengehalte liegen aber weit über den entsprechenden Konzentrationen im Niederschlagswasser, die bei einer Vergleichsmessung im Juli 1996 ermittelt wurden und für Ca 1,6 mg/l, für Mg 0,4 mg/l, für K 1,2 mg/l und für Na 2,3 mg/l ergaben. Die Nitratkonzentrationen sind überwiegend höher als der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (50 mg/l). Nitrit war in den Abflussproben nicht nachweisbar und auch die Ammoniumgehalte sind meistens gering. Vier Proben enthalten jedoch NH<sub>4</sub>-Beträge, die den für alle direkt oder indirekt der Trinkwassergewinnung dienenden Flüsse geforderten - Wert von 0,15 mg/l überschreiten (Hamm 1991). Die Sulfatkonzentrationen variieren in den Tunnelflüssen zwischen 9,8 und 15,6 mg/l. Demgegen-

über erreicht Chlorid angesichts seiner Auswaschungsneigung recht hohe Konzentrationen von 12,0 bis 28,1 mg/l, die vermutlich auf Düngungsmaßnahmen zurückzuführen sind. Die partikulär gebundenen, pflanzenverfügbaren K- und Mg-Mengen in den Tunnelflussproben sind gering (Tab. 3).

Im Gegensatz dazu zeigen die Phosphatgehalte von bis zu 225,3 mg/l ein hohes Belastungspotential. Dem Tunnelfluss kommt daher große Bedeutung für den Export von partikulär gebundenem Phosphat im Untersuchungsgebiet zu.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die Hänge bei Pohlhausen und Büchel befinden sich in einem fortgeschrittenen Degradationsstadium, in dem die landwirtschaftliche Flächennutzung erheblich eingeschränkt ist. Trotz kontinuierlicher Verfüllung der eingestürzten Löcher geht der unterirdische Abtrag weiter. Der Bodenverlust auf der Versuchsfläche Pohlhausen entspricht der oberflächigen Erosion auf Ackerflächen und gefährdet damit den Bestand und die Funktionalität der Böden. Im Tunnelabfluss wurden hohe Feststoff-, Nitrat- und Phosphatkonzentrationen festgestellt. Somit kann er die Güte oberirdischer Gewässer beeinträchtigen, wenn er die Vorflut erreicht. Da auf diesem Transportweg keine Filtrations- und Sorptionsprozesse stattfinden und Nährstoffe nicht durch Pflanzenwurzeln entzogen werden, können diese Frachten über den Wegeseitengraben schnell in die Talsperre eingetragen werden.

Das kann auch für andere hier nicht untersuchte Stoffe und Organismen gelten. Die Tunnelerosion ist damit im Hinblick auf die Rohwassergüte in der Talsperre zu berücksichtigen. Besondere Ausstragsgefahr besteht nach der Ausbringung von Mineral- und Wirtschaftsdüngern oder der Applikation von Pflanzenschutzmitteln.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Tunnelerosion besonders in Einzugsgebieten von Trinkwassersperren (z.B. dem Bergischen Land, der Eifel, dem Harz, dem Thüringer Wald oder dem Erzgebirge) beachtet werden sollte. Auch im Rahmen eines integrierten Flussgebietsmanagements nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie und im Hinblick auf die intensiv diskutierte mikrobiologische Einträge durch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (Krämer 2001) ist sie stärker zu berücksichtigen.

#### Literatur

s. Botschek, J. u. R. Krämer (2002): Tunnelerosion – eine Herausforderung für Boden- und Wasserschutz. – Wasser und Boden 54/3, 23-27.

Tabelle 1: Abflußraten, Feststoffkonzentrationen und Feststofftransportraten in Tunnels auf dem Meßhang bei Pohlhausen

Kontrollpunkt Datum	Tunnelfluß l/min				Feststoffkonzentration g/l				Feststofftransport g/min			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
05.02.1997	. +	+	+	+	keine Messung				keine Messung			
13.02.	+	+	+	+	keine Messung				keine Messung			
18.02.	+	+	+	+	keine Messung				keine Messung			
25.02.	0	5,8	5,0	5,0	0	0,3	0,5	1,2	0	1,7	2,7	6,1
03.03.	0	1,0	0,4	0	0	16,0	0,8	0	0	16,0	0,3	0
04.03.	0	2,5	0,3	0	0	4,7	2,3	0	0	11,7	0,7	0
19.03.	2,0	2,6	2,4	0	1,3	1,7	0,4	0	2,5	4,5	6,5	0
24.03.	0	0,2	0	0	0	2,0	0	0	0	0,4	0	0
25.03.	0	0,1	0	0	0	10,0	0	0	0	1,0	0	0
05.04.	0	4,2	6,1	3,2	0	25,6	20,4	4,1	0	107,7	124,4	13,1

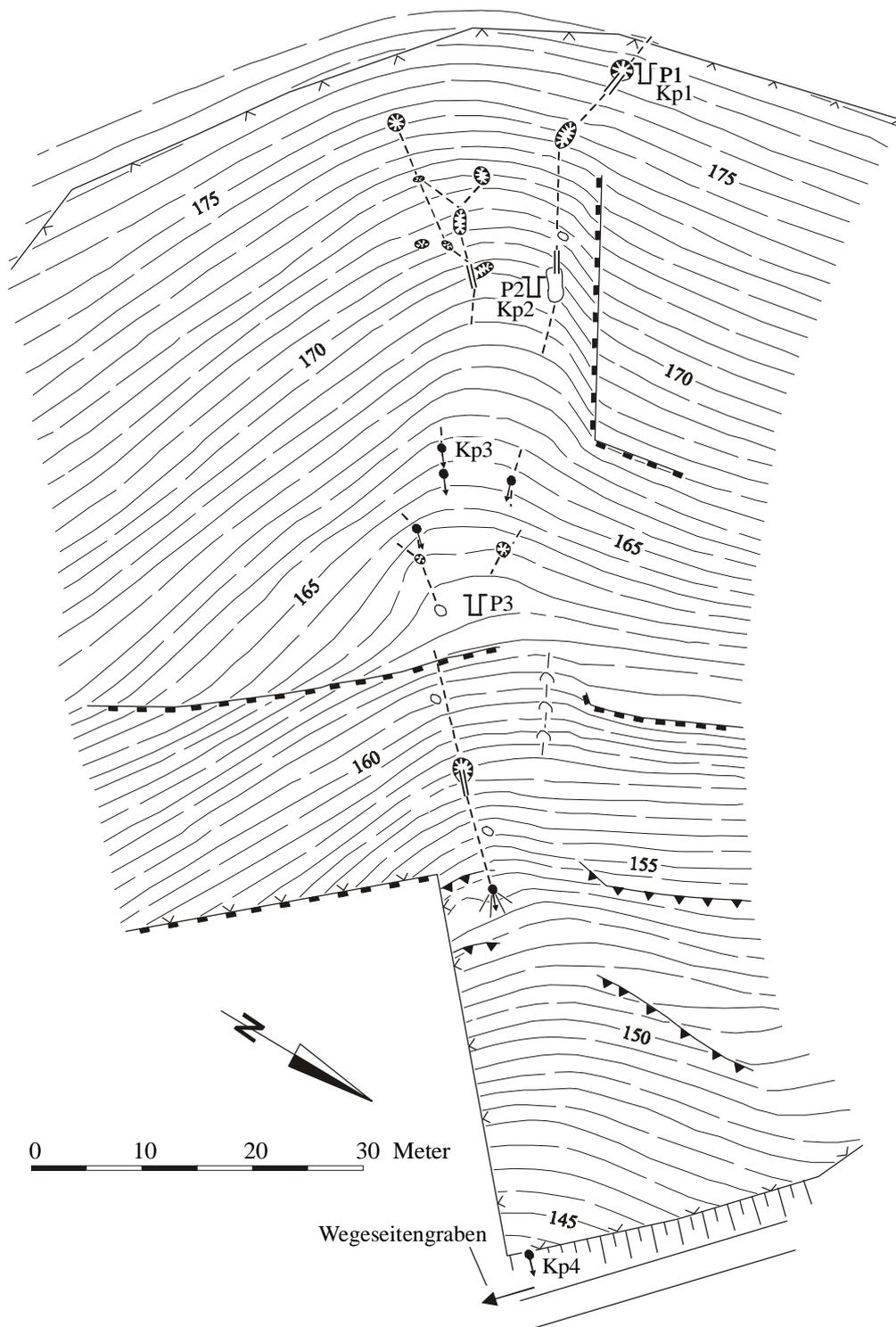
+ = Tunnelfluß beobachtet

Tabelle 2: Gelöste Stofffracht des Tunnelflusses auf dem Meßhang bei Pohlhausen

Kontroll- punkt Datum	Calcium mg/l				Magnesium mg/l				Kalium mg/l				Natrium mg/l			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
25.02.1997	0	95,9	88,2	81,7	0	5,2	4,9	4,8	0	6,0	5,4	5,6	0	6,0	5,3	4,9
03.03.	0	130,8	119,7	0	0	8,0	7,7	0	0	6,9	6,5	0	0	8,5	7,9	0
04.03.	0	115,1	100,7	0	0	6,9	6,7	0	0	5,1	5,1	0	0	7,4	7,1	0
19.03.	123,1	105,8	98,3	0	7,7	5,2	4,9	0	16,5	9,0	7,9	0	9,6	7,4	7,1	0
24.03.	0	114,4	0	0	0	6,9	0	0	0	4,9	0	0	0	6,8	0	0
25.03.	0	107,2	0	0	0	6,3	0	0	0	4,3	0	0	0	6,2	0	0
05.04.	0	62,5	68,9	58,6	0	4,5	3,9	5,0	0	6,2	5,4	4,2	0	6,2	5,4	7,4
	Nitrat mg/l				Ammonium mg/l				Sulfat mg/l				Chlorid mg/l			
25.02.1997	0	50,7	51,4	61,4	0	0,01	0,01	0,05	0	10,2	9,8	11,8	0	14,7	13,6	12,6
03.03.	0	57,0	54,2	0	0	0,01	0,00	0	0	13,1	13,3	0	0	21,4	20,0	0
04.03.	0	65,4	65,5	0	0	0,00	0,24	0	0	13,4	13,3	0	0	16,5	15,5	0
19.03.	44,6	52,4	52,4	0	0,49	0,19	0,13	0	10,6	12,9	12,1	0	28,1	20,6	18,6	0
24.03.	0	62,2	0	0	0	0,00	0	0	0	15,4	0	0	0	15,9	0	0
25.03.	0	68,5	0	0	0	0,00	0	0	0	15,6	0	0	0	12,8	0	0
05.04.	0	29,7	33,6	22,7	0	0,09	0,03	1,19	0	11,2	10,6	11,8	0	12,3	12,0	19,0

Tabelle 3: Partikulär gebundene Stofffracht des Tunnelflusses auf dem Meßhang bei Pohlhausen

Kontroll- punkt Datum	Phosphat mg/l				Kalium mg/l				Magnesium mg/l			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
25.02.1997	0	38,7	74,0	48,4	0	4,7	5,7	3,8	0	4,6	5,8	3,6
03.03.	0	32,0	57,3	0	0	2,8	9,5	0	0	3,4	11,7	0
04.03.	0	31,3	68,0	0	0	2,1	6,0	0	0	2,5	8,3	0
19.03.	225,3	91,0	98,0	0	10,8	4,6	4,9	0	7,2	4,1	4,9	0
24.03.	0	35,0	0	0	0	2,5	0	0	0	3,1	0	0
25.03.	0	18,0	0	0	0	1,7	0	0	0	1,8	0	0
05.04.	0	22,3	34,7	98,7	0	2,0	2,3	9,2	0	2,0	2,3	5,9



- |  |                                    |  |                         |  |   |
|--|------------------------------------|--|-------------------------|--|---|
|  | Sinkloch, bedeckt                  |  | Mulde                   |  | Bodenprofil 1                           |
|  | Sinkloch, offen                    |  | Böschung (Neigung >15°) |  | Kp4 Kontrollpunkt 4 des Tunnelabflusses |
|  | Austrittspunkt des Tunnelabflusses |  | Ackerrandstufe          |  | Tunnel, erbohrt / angeschnitten         |
|  | Schwemmfächer                      |  | Zaun                    |  |   |

Karte 2: Tunnel, Kontrollpunkte des Tunnelabflusses und Schürfgaben auf dem Testhang

## **H5: Bodenlehrpfad im Ballungsraum Köln – ein Beitrag zur Sensibilisierung für das Schutzgut Boden**

Franz Richter<sup>1</sup>

Das Ökosystem Boden ist ein schwer zu vermittelndes Thema. Wissen über den Boden ist wenig verbreitet, der Wert des Bodens wird unterschätzt und Boden bleibt meist unseren Blicken verborgen. Der Wert des Bodens wird unterschätzt, sein heute noch immer zunehmender „Verbrauch“ findet noch nicht die notwendige Beachtung. Bodenlehrpfade sollen den Boden einer breiteren Öffentlichkeit bewusst machen, denn der Boden ist eine der wichtigsten Lebensgrundlagen des Menschen.

Der Bodenlehrpfad „Königsforst“ gibt dem Besucher einen kleinen Einblick in die Vielfalt der Böden und zeigt ihm, wie der Boden als Waldstandort genutzt wird, ob die „richtigen“ (standortgerechten) Bäume auf ihm wachsen oder wie man ihn noch besser nutzen könnte.

Zielgruppe für den Bodenlehrpfad sind Bildungseinrichtungen wie beispielsweise Schulen und Volkshochschulen, Institute naturwissenschaftlicher Studiengänge an Hochschulen und nicht zuletzt naturinteressierte Wanderer und Spaziergänger: -der Königsforst ist das größte Naherholungsgebiet im Ballungsraum Köln für fast zwei Millionen Menschen-.

Darüber hinaus können hier Fortbildungsveranstaltungen für Forstleute sowie Schulungen für Referendare, Studenten und Auszubildende aus dem Bereich der Forstwirtschaft durchgeführt werden.

Der Königsforst ist seit 1997 als Waldnaturschutzgebiet ausgewiesen. Bei der Waldbewirtschaftung werden die hier von Natur aus vorkommenden Laubwaldgesellschaften erhalten und die Nadelwaldbereiche allmählich wieder in Laubwald umgewandelt.

Nach der Richtlinie der Europäischen Union zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen ist der Königsforst als Fauna- Flora- Habitat-

Gebiet und nach der Richtlinie zur Erhaltung der wildlebenden Vogelarten als Vogelschutzgebiet vorgeschlagen

### **Klima**

Der Königsforst steigt von etwa 55 m. ü. NN im Westen am Rand zur Niederterrasse auf über 170 m. ü. NN in den Randhöhen des Sülztales an. Der mittlere Jahresniederschlag nimmt von West nach Ost von etwa 800 auf 900 mm. Die Lage des Gebietes in der Kölner Bucht bedingt eine hohe mittlere Jahrestemperatur von 9,5 bis 10°C

### **Geologie**

Der Königsforst östlich von Köln liegt im Übergangsbereich zwischen der Flussterrassenlandschaft der Rheinebene und dem Bergischen Land, einem Teil des Rheinischen Schiefergebirges mit periglazialen Decken über paläozoischen Festgesteinen.

Den Untergrund des östlichen Königsforstes bilden paläozoische Ton-, Schluff- und Sandsteine des Devons. Diese Gesteine bilden nach tiefgründiger Verwitterung und Abtragung des Rheinischen Schiefergebirges als Rumpffläche den Grundgebirgssockel, auf dem die Lockergesteine des Tertiärs und des Quartärs abgelagert wurden.

Vom **Jungpaläozoikum** bis zum Ende des **Mesozoikums** war das Gebiet Festland und wurde abgetragen. In der **Kreidezeit** und im **Alttertiär** unterlagen die Gesteine der Landoberfläche einer intensiven chemischen Verwitterung, die bis zu einige Zehnermeter tief reichte. Durch flächenhafte Erosion wurde das Rheinische Schiefergebirge zu einer Fastebene abgetragen. Im **Oligozän** sank die Kölner Bucht entlang von Randverwerfungen, die sie zur Eifel und zum Bergischen Land hin begrenzen, ab.

Von Nordwesten drang das Meer in diese Senke ein, im Raum Bergisch-Gladbach verlagerte sich die Küstenlinie häufig. Hier wurden mariner und nichtmariner Sand, Ton, untergeordnet Kies und stellenweise Braunkohle abgelagert, die Bensberger Schichten des **Oligozäns**.

---

1. Geologischer Dienst NRW  
De- Greiff- Str. 195  
47803 Krefeld  
E-Mail: richter@gd.nrw.de

Auf der Devonoberfläche treten großflächig Reste der tertiären Verwitterungsdecke zu Tage. Diese sind fast immer durch Bodenfließen umgelagert.

Das **Pliozän** brachte bereits kühleres Klima, der Gebirgsumpf des Bergischen Landes begann sich zu heben, während die Kölner Bucht weiter absank. Flächenhafte Erosion wurde durch linienhafte, rückschreitende Tiefenerosion ersetzt. Es bildete sich ein System von Fluss- und Bachtälern.

Im **Pleistozän** erreichte die Klimaverschlechterung ihre Höhepunkt, mehrere Kalt- und Warmzeiten wechselten sich ab. Während der Kaltzeiten herrschte Tundrenklima mit Dauerfrostboden, der im Sommer von der Oberfläche her auftaute. Durch Hangabwärtsgleiten des Bodens (Bodenfließen „Solifluktion“) vermengten sich die unterschiedlichsten Substrate. Es entstanden **Fließerden, Hangschutt, Hanglehm und Hangsand**.

Der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten sowie die starke Hebung des Ostteils des Gebietes bewirkte die Bildung von **Terrassen** als ehemalige Talböden von Flußsystemen.

Erosionsreste der **Rhein- Hauptterrasse** über Ablagerungen des Tertiärs oder Devon liegen im Ostteil des Königsforstes auf den Höhen im Anstieg zum Bergischen Land.

Die **Mittelterrassen** nehmen weite Flächen im Westteil des Königsforstes ein. Sie gehen nach Westen am Rand des Königsforstes mit einer ausgeprägten Kante in die große Niederterrassenfläche über.

In den Kaltzeiten kam es in der vegetationslosen Terrassenlandschaft großflächig zu Ausblasungen feinkörnigen Materials. Mit fortschreitender Entfernung vom Liefergebiet nehmen Mächtigkeit und Korngröße der äolischen Sedimente ab, bei den auch während der Kaltzeiten vorherrschenden Westwinden also von West nach Ost. Wir unterscheiden eine breite **Flugsandzone**, einen schmalen Übergangsbereich, in dem **Sandlöß** abgesetzt wurde, und schließlich die breite **Lößzone**, die am Ostrand des Königsforstes beginnt.

Seit Beginn des **Holozäns** herrscht gemäßigtes Klima. Pflanzenwuchs hemmt die Abtragung, Rodungs- und Siedlungsperioden brachten zeitweise verstärkte Erosion. Bis heute werden in Bach und Flusstälern Auensedimente abgelagert, teilweise bildeten sich kleinere Niedermoore.

Im Bereich der Flugsandbedeckung kam es im Königsforst während der spätmittelalterlichen Rodungsphase zur Bildung von zum Teil großen Dünen.

### **Böden**

Der Königsforst gliedert sich in mehrere Teilgebiete mit unterschiedlichen Bodengesellschaften:

- wo der devonische Gebirgsumpf nur von einem geringmächtigen Sedimentschleier bedeckt wird, bildeten sich basenarme bis mäßig basenhaltige Braunerden und Pseudogleye mit allen Übergängen
- auf Kies und Sand des Tertiärs, stellenweise mit einer Flugsandauflage, entstanden basenarme Braunerden und Podsole, auf den Tonen basenarme Pseudogleye
- in den meist nur flachwelligen Bereichen des Königsforstes entstanden im Übergangsbereich zwischen Mittelterrasse und Tertiärbedeckung basenarme bis sehr basenarme Pseudogleye und bei hohem Grundwasserstand basenarme Gleye, stellenweise kleine Moore
- auf Flugsand im grundwasserfernen Bereich finden sich meist stark podsolige Braunerden und Pseudogley-Braunerden, örtlich Podsole
- auf Mittelterrassensedimenten bildeten sich Braunerden, Pseudogley- und Gley-Braunerden.

Der Bodenlehrpfad (siehe Kartenausschnitt) liegt im Bereich des Grundgebirges mit Tertiär-, Hauptterrassen- und Flugsandüberdeckung. Zwei Profile werden gezeigt: eine Pseudogley-Braunerde aus Fließerde über Hauptterrassenablagerungen über tertiärem Ton sowie ein Pseudogley- Podsol aus Fließerde über tertiärem Sand. Zum Abschluß gehen wir zu einem Niedermoorstandort in einem Bachtal. Konzeption und Gestaltung des Bodenlehrpfades werden zur Diskussion gestellt.

# Lage des Bodenlehrpfades Königsforst



Topographie: Topographische Karte 1 : 100 000  
© Geobasisdaten: Land NRW, Bonn



### Exkursionspunkt H5/1: nahe chem. Bahnhof Forsbach

Bearbeiter: Franz Richter TK25: 5008 Köln-Mülheim Datum: 25.03.1999

Lage: RW: 2581475 HW: 5644905 131 m NN Kreis: Rheinisch-Bergischer Kreis

Jahresmitteltemperatur: 9°C Niederschlag: 963 mm

Relief: Plateau Nutzung: Mischwald

Humusform: Typ. Moder, feinhumusarm Vegetation: Roteiche untergeordnet Lärche

#### Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont t-/symbol	Ober-/Untergrenze	Horizontbeschreibung
1	Aeh	0-4cm	lehmiger Sand, schwach kiesig; bräunlichschwarz (7.5YR 3/2); stark humos; mittleres Subpolyedergefüge; sehr geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte sehr starke Durchwurzelung <i>Skelett führender Kryosand (SI3 ki2)</i>
2	Bhv	-30cm	lehmiger Sand, schwach steinig-grusig, schwach kiesig; braun (7.5YR 4/6); schwach humos; feines Subpolyedergefüge; sehr geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte sehr starke Durchwurzelung <i>Skelett führender Kryosand (SI3 xgr2ki2)</i>
3	Sw-Bv	-50cm	lehmiger Sand, schwach steinig-grusig, schwach kiesig; gelblichbraun (10YR 5/8); sehr schwach humos; feines Subpolyedergefüge; sehr geringe Lagerungsdichte; schwache Staunässe; regelmäßig verteilte sehr starke Durchwurzelung <i>Skelett führender Kryosand (SI3 xgr2ki2)</i>
4	Sw	-70cm	lehmiger Sand, schwach steinig-grusig, schwach kiesig; leuchtend gelblichbraun (10YR 6/6); feines bis mittleres Subpolyedergefüge; sehr geringe Lagerungsdichte; mittlere Staunässe; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Skelett führender Kryosand (SI3 xgr2ki2)</i>
5	II Sd	-120cm	sandig-toniger Lehm, steinig-grusig, kiesig; leuchtendbraun (7.5YR 5/6) in Flecken gräulichbraun (7.5YR 6/2); mittleres Polyedergefüge; mittlere Lagerungsdichte in Wurzelröhren sehr schwache Durchwurzelung <i>Skelettfluvilehm (Lts xgr3ki3)</i>
6	IIISd	-145cm	Ton; gräulich rot (2.5YR 5/2) Prismengefüge, hohe Lagerungsdichte; auf Gefügeflächen sehr schwache Durchwurzelung <i>Verwitterungston (Tr)</i>

#### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformen bezeichnung</b>	schwach podsolige Pseudogley- Braunerde aus Skelett führendem Kryosand über Skelettfluvilehm über tiefem Ton
<b>WRB:</b>	Haplic Planosol (Rubtic, Alumeric, Hyperdystric, Arenic)

#### Physikalische und chemische Analysen

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der kalk- und humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub>
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	g cm <sup>-3</sup>
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Oh	+1-0								
Aeh	0-4	4,8	51,8	14,9	7,4	8,7	3,4	9,0	n. b.
Bhv	10-15	4,7	53,7	15,4	6,9	5,7	3,9	9,7	n. b.
Sw-Bv	30-35	4,8	59,1	15,5	5,5	3,2	3,1	8,8	n. b.
Sw	50-55	5,6	44,6	16,3	10,2	6,9	5,9	10,5	n. b.
IISd	70-75	5,7	33,9	12,9	6,7	5,5	5,4	29,9	n. b.
IIISd	90-95	7,2	29,3	14,1	6,5	5,3	5,1	32,5	n. b.
IIISd	125-130	0,8	4,0	3,2	4,1	3,0	5,1	79,8	n. b.

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>I</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Oh		4,0	3,0						
Aeh	n. b.	4,2	3,3	<0,02	0,13	0,18	0,55	4,91	14
Bhv	n. b.	4,5	3,9	0,06	0,04	0,02	0,05	3,20	5
Sw-Bv	n. b.	4,7	4,3	0,07	<0,03	0,01	0,02	1,33	8
Sw	n. b.	4,6	4,1	<0,02	<0,03	0,01	<0,02	1,50	4
IISd	n. b.	4,4	3,8	<0,02	0,07	0,03	0,14	5,15	5
IIISd	n. b.	4,4	3,8	<0,02	0,07	0,03	0,18	5,35	5
IIISd	n. b.	4,5	3,7	0,03	0,15	0,07	1,21	10,7	12

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>I</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Oh			22,9	1,14	20	n. b.	
Aeh		6,1	4,6	0,24	19		
Bhv		3,4	1,5	0,07	21		
Sw-Bv	n. b.	1,5	0,5	0,04			
Sw		1,5	0,1	0,01		n. b.	n. b.
IISd		5,4	0,2	0,03			
IIISd		5,6	0,3	0,03			
IIISd		12,1	1,8	0,15			

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>i</sub>	Al <sub>i</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>				
<i>I</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>
nicht bestimmt für das ganze Profil								

n.b. = nicht bestimmt;

## Exkursionspunkt H5/2: Weg Bf. Forsbach- Wahlbachtal

Bearbeiter: Malte Warstat

Datum: 19.11.1998

TK25: 5008 Köln- Mülheim

Lage: RW: 2581475 HW: 5645345 118 m NN Kreis: Rheinisch-Bergischer Kreis

Jahresmitteltemperatur: 9°C Niederschlag: 963 mm

Relief: Mittelhang Nutzung: Nadelwald

Humusform: Rohhumusartiger Moder, Vegetation: Fichte  
feinhumusreich

### Profilbeschreibung

Hor Nr.	Horizon t-/ symbol	Ober-/ Unter- grenze	Horizontbeschreibung
1	Ahe	0-3cm	schwach schluffiger Sand, stark kiesig; schwarz (7.5YR 2/1); sehr stark humos; Einzelkorngefüge; sehr geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Skelettkryosand (Su2 mki4)</i>
2	Ae	-20cm	schwach schluffiger Sand, stark kiesig; gräulichbraun (7.5YR 4/2); schwach humos; Einzelkorngefüge; sehr geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte schwache Durchwurzelung <i>Skelettkryosand (Su2 mki5)</i>
3	Bh	-24cm	lehmiger Sand, sehr stark kiesig; schwarz (7.5YR 2/1); stark humos; Hüllengefüge; geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Skelettkryosand (Sl3 mki5)</i>
4	Bhs	-32cm	lehmiger Sand, sehr stark kiesig; dunkel rötlichbraun (5YR 3/2); humos; Hüllengefüge; geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte starke Durchwurzelung <i>Skelettkryosand (Sl3 mki5)</i>
5	Bs	-45cm	schwach schluffiger Sand, stark kiesig; trüb rötlichbraun (5YR 4/4); Hüllengefüge; regelmäßig verteilte mittlere Durchwurzelung <i>Skelettkryosand (Su2 mki5)</i>
6	Bsv	-75	grobsandiger Mittelsand, sehr stark kiesig; leuchtend rötlichbraun (5YR 5/6); Einzelkorngefüge; sehr geringe Lagerungsdichte; regelmäßig verteilte schwache Durchwurzelung <i>Skelettkryosand (MSgs mki5)</i>
7	Sw	-115cm	grobsandiger Mittelsand, sehr stark kiesig; trüb gelb (2.5Y 6/3); Einzelkorngefüge; sehr geringe Lagerungsdichte, mittlere Staunässe; keine Durchwurzelung <i>Skelettkryosand (MSgs fki5)</i>
8	IISd	-140cm	Feinsand; hellgrau (2.5 Y7/1); Kohärentgefüge; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; keine Durchwurzelung <i>Meersand FS</i>

### Profilkennzeichnung

<b>Bodenformen bezeichnung</b>	Pseudogley- Podsol aus Skelettkryosand über tiefem Meersand
<b>WRB:</b>	Stagnic Albic Podzol (Skeletal)

### Physikalische und chemische Analysen n. b.= nicht bestimmt

Horizont	Tiefe	Textur (Mas-% der kalk- und humushaltigen Feinerde)							d <sub>B</sub>
	cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	g cm <sup>-3</sup>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Oh	+2-0								
Ahe	0-3	6,9	46,6	15,0	7,2	12,0	2,8	9,5	n. b.
Ae	10-15	7,1	56,2	22,9	4,9	4,6	2,5	1,6	n. b.
Bh	20-24	8,7	51,3	19,6	4,7	3,3	2,8	9,6	n. b.
Bhs	25-30	9,9	52,2	17,9	6,7	3,1	1,7	8,5	n. b.
Bs	35-40	8,1	55,3	19,8	7,2	3,3	2,3	4,0	n. b.
Bsv	60-70	15,8	57,2	22,3	2,0	0,8	0,6	1,3	n. b.
Sw	100-110	17,0	63,5	17,0	1,4	0,2	0,8	0,1	n. b.
IISd	115-120	1,7	20,7	50,4	12,0	4,1	3,0	8,1	n. b.

Horizont	Carbonat	pH	pH	Austauschbare Kationen (cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup> )					BS
	Mas-%	(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Na	K	Mg	Ca	H + Al	%
<i>1</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
Oh		3,5	2,7						
Ahe	n. b.	3,7	2,8	0,04	0,18	0,36	1,22	7,90	17
Ae	n. b.	3,9	3,1	<0,02	0,03	0,06	0,10	1,63	11
Bh	n. b.	3,8	3,1	0,07	0,04	0,10	0,38	5,40	9
Bhs	n. b.	4,4	4,0	0,03	<0,03	0,02	0,10	5,15	3
Bs	n. b.	4,5	4,3	<0,02	<0,03	0,01	0,02	1,64	4
Bsv	n. b.	4,6	4,5	<0,02	<0,03	<0,01	<0,02	0,60	10
Sw	n. b.	4,7	4,6	0,04	<0,03	0,01	<0,02	0,34	21
IISd	n. b.	4,7	4,2	<0,02	0,03	0,03	0,13	0,90	18

Horizont	KAK <sub>p</sub>	KAK <sub>eff</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	P <sub>(HClO4)</sub>	K <sub>(CAL)</sub>
	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> · kg <sup>-1</sup>	Mas-%	Mas-%		g · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>	mg · 100 <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup>
<i>1</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>37</i>
Oh			21,5	1,04	21		
Ahe	n. b.	10,7	11,3	0,47	24		
Ae	n. b.	1,8	1,3	0,05	29		
Bh	n. b.	6,5	2,7	0,11	24		
Bhs	n. b.	5,4	2,1	0,09		n. b.	n. b.
Bs	n. b.	1,7	0,9	0,05			
Bsv	n. b.	0,6	0,2	0,02			
Sw	n. b.	0,4	0,1	<0,01			
IISd	n. b.	1,1	<0,1	0,02			

Horizont	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Si <sub>d</sub>	Si <sub>l</sub>	Al <sub>l</sub>
	mg · g <sup>-1</sup>	mg · g <sup>-1</sup>		mg · g <sup>-1</sup>				
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>
nicht bestimmt für das ganze Profil								

## Exkursion H6

### Über den Dächern von Köln – Gesteinsverwitterung am Kölner Dom

N.N.<sup>1</sup>, H.-D. Narres<sup>2</sup>

#### Lage

Die Kathedrale steht rund 250 m vom Rhein entfernt an der ehemals nördlichen römischen Stadtmauer auf dem Domhügel ca. 17 m über dem Fluss.

#### Kurze Baugeschichte

Erzbischof Rainald von Dassel brachte am 23. Juli 1164 die Reliquien der Heiligen Drei Könige von Mailand nach Köln. Der alte Hildebold-Dom aus dem 9. Jahrhundert war dem einsetzenden Pilgerstrom bald nicht mehr gewachsen, so dass um 1225 der Plan gefasst wurde, einen neuen Dom zu bauen. Am 15. August 1248 erfolgte die Grundsteinlegung zum heutigen gotischen Bau nach Plänen des Dombaumeisters Gerhard von Rile. Zunächst wurde mit dem Chor begonnen und Trachyt aus dem Siebengebirge verwendet. 1322 erfolgte die Weihe des Chors und 1410 erreichte der Südturm das zweite Geschoß. Jedoch ab 1510 erlahmte die Bautätigkeit. Hauptgründe waren als Folge der Reformation der nachlassende Ablasshandel und sinkende Pilgerzahlen. Die Silhouette der Stadt wurde daraufhin für 300 Jahre vom unfertigen Dom geprägt. Erst am 4. September 1842 erfolgte die Grundsteinlegung für den Weiterbau durch den preußisch-protestantischen König Friedrich Wilhelm IV. Im Jahre 1880 war dann die Kathedrale nach über 600 Jahren vollendet.

Die verbaute Steinmasse beträgt ca. 300.000 t. Ein Teil davon ist schädlichen Umwelteinflüssen ausgesetzt: Saurer Regen zerfrisst den Stein und Abgase färben ihn dunkel. Gegen diesen stetigen Zerfall kämpfen die Mitarbeiter der Dombauhütte durch Reinigung, Konservierung und Erneuerung geschädigter Gesteinspartien ständig an.

---

<sup>1</sup> Dombauhütte Köln

<sup>2</sup> ICG-4 Agrosphäre, FZ Jülich

## Wichtigste verbaute Gesteinsarten

### Sandstein aus Obernkirchen

Dieser aus dem Wesergebiet stammende und in Obernkirchen bei Bückeburg abgebaute, äußerst feinkörnige und sehr harte Stein wurde bereits 1845 am Dom eingeführt. Aber erst nach der Vollendung des Langhauses im Jahre 1863, als er mit der Eisenbahn transportiert werden konnte, wurde er in großen, jährlich wachsenden Mengen bezogen und für den Bau der Türme verwendet. Diese bestehen in ihren äußeren Flächen fast ausschließlich aus Obernkirchener Sandstein.

Bis heute hat sich der Obernkirchener Sandstein sehr gut erhalten. An den zahllosen Fialtürmen, Krabben und Kreuzblumen ist er nach über 100 Jahren praktisch unversehrt, wenn auch inzwischen teilweise schwarz geworden, was jedoch gesteinsbedingt ist. An glatten Mauerflächen zeigen dünne Verwitterungsschalen von 0,1 bis 0,3 mm Stärke, daß auch hier eine Gefahr für die Zukunft droht. Diese Verwitterung rührt von dem Mörtel in den Fugen her, der, ausgewaschen, in die Oberfläche des Steines geschleppt und dort sulfatisiert wird.

Seit 1986 verwendet die Dombauhütte den Obernkirchener Sandstein wieder, wenn einzelne Steine oder auch größere Partien in solchen Bereichen zu ersetzen sind, die ursprünglich daraus gebaut wurden. So wurde zum Beispiel der 10 Meter hohe Pfeilerteil unter der Ziegelplombe am Nordturm zwischen 1989 und 1997 mit diesem Material erneuert. Im Augenblick leuchten diese Teile noch hell, doch mit der Zeit werden sie die Farbe der umgebenden älteren Steine annehmen.

### Trachyte aus dem Siebengebirge

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts stellte die preußische Regierung das Gebiet um den Drachenfels unter Naturschutz, so daß dort keine Steine mehr gebrochen werden konnten. Deshalb mußte für die umfangreichen Erneuerungsarbeiten ein anderer Dombaustein

gesucht werden. Zunächst wurde der Trachyt vom Stenzelberg verwendet, ein dem Drachenfelstrachyt ähnliches Material. Später kamen weitere vulkanische Gesteine des Siebengebirges (Wolkenburger und Berkumer Andesite) hinzu.

Aus dieser Materialgruppe wurden die Strebebögen im Chorbereich, die Strebepfeiler der 1842 begonnenen Querhausfassaden und fast alle Horizontalgesimse sowie die meisten Maßwerkbrüstungen hergestellt. An allen diesen Teilen lösen sich heute bis zu 15 mm dicke Schalen, die beim Herabfallen aus großen Höhen unter ungünstigen Umständen auch Passanten in Domnähe gefährden können. Der Stein ist also auf die Dauer nicht erhaltbar.

### **Trachyt vom Drachenfels**

Von der Grundsteinlegung am 15. August 1248 an bis zum Ende der mittelalterlichen Bautätigkeit im Jahre 1560 wurde am Dom für Sichtflächen fast ausschließlich der Trachyt vom Drachenfels verwendet. Er eignete sich gut zu Quadern und zu plastischen Werken mittlerer Feinheit und ließ, was bei Profilen, Basen und Maßwerken wichtig war, die Herstellung einer geschliffenen Oberfläche zu. Noch zu Beginn des 19. Jahrhunderts bestand der Dom fast ausschließlich aus diesem Material.

Eine wichtige Voraussetzung für die Wahl eines Gesteins ist seine Lage zum Bauwerk, denn Transporte waren im Mittelalter unvorstellbar teuer. Der Drachenfelstrachyt war relativ leicht zu beschaffen, denn der Bruch lag nahe dem Rhein, so daß die Blöcke auf geneigter Ebene bis an den Strom geschleift werden konnten. Auf mittelalterlichen Tafelbildern ist gelegentlich das Siebengebirge dargestellt, das bei schönem Wetter vom Dom aus gut zu sehen ist. Auf dem Ausschnitt ist der Drachenfels mit der Rutsche für die Domsteine zu erkennen.

Der Trachyt hat sich im Inneren und an vielen glatten Flächen des Außenbaues bis heute recht gut bewährt. Besonders an den großen Fenstermaßwerken ist er meist noch in gutem Zustand.



Verwitterung des Drachenfelstrachyts

Der Drachenfelstrachyt zerfällt bei Verwitterung zu einem mürben Granulat. Im Strebewerk des Chores, wo er ständig von allen Seiten bewittert wird, ist er fast vollständig verschwunden. In zwei großen Phasen der Steinerneuerung, nämlich von 1829 bis 1842 und von 1926 bis 1940, ist er dort völlig ausgewechselt worden. Die wenigen Trachytquadern, die an Ort und Stelle belassen wurden, sind heute praktisch alle zerstört. Auch das Erdgeschoß des Chores zerbröckelt immer stärker, so daß der Wasserablauf bereits gestört ist. Dennoch geht von den Bauteilen aus Drachenfelser Trachyt vorerst keine unmittelbare Gefahr für den Bestand des Domes aus, so lange durch regelmäßige Einzelreparaturen Folgeschäden vermieden werden.

### **Basaltlava aus Londorf**

Im Jahre 1952 führte Dombaumeister Weyres die aus den tertiären Eruptionen des Vogelsberg-Massivs stammende Londorfer Basaltlava ein. Sie hat für den Kölner Dom fünf entscheidende Vorteile: sie ist so verwitterungsfest wie Eifelbasalt, sie ist leicht zu bearbeiten, sie verursacht bei den Steinmetzen keine Gesundheitsschäden, sie hat eine lebendige Struktur, und sie wird niemals ganz schwarz, sondern bleibt auch nach längerer Zeit grau. Insofern wäre sie der ideale Dombaustein. Aus diesem Gestein sind die meisten der im Kriege zerstörten Bauteile wieder errichtet worden. Doch leider ist der Bruch erschöpft, und nur sporadisch werden noch einzelne Quadern angeliefert. Außer einem Strebepfeiler der Südseite und einigen größeren

Flächen der West- und der Südfassade ist heute bereits der größte Teil der Fassade und des Strebewerkes des nördlichen Querhauses in diesem Material erneuert. Außerdem wurden die Außenflächen des Sakristeigebäudes neu mit Londerfer Basaltlava verkleidet.

### Basaltlava aus der Eifel



Basaltlava aus der Eifel

Bereits vor 1830 wurde Basaltlava aus Niedermendig, Mayen, Hannebach und anderen Eifelbrüchen für besonders beanspruchte Bauteile verwandt. Dieser äußerst verwitterungsfeste Stein hat den Nachteil, daß er im Laufe der Zeit tiefschwarz wird. Dies würde zu einem toten, trostlosen Erscheinungsbild der Kathedrale führen. Daher wird Eifelbasalt nur dort eingesetzt, wo er von unten aus nicht zu sehen ist. Schäden hat es noch nie gegeben und sind auch in Zukunft zweifellos nicht zu erwarten.

### Muschelkalk vom Main

Die schlechten Erfahrungen mit Sandstein bewogen Dombaumeister Hertel, für die Restaurierung des Chores den Muschelkalk aus Krensheim bei Lauda zu verwenden. Er und sein Nachfolger Güldenpfennig haben zwischen 1926 und 1940 praktisch das ganze Strebewerk des Chores in diesem Material ersetzt, was sich bald als schwerer Fehler erwies. Schon vor der Beendigung der Maßnahme wurde klar, daß das Material der starken Verwitterungsbelastung am Dom nicht gewachsen war. Zur Zeit erwachsen

aus der zusehends stärker werdenden Zerstörung des Muschelkalks bereits ernste Gefahren.



Verwittertes Kapitell aus Muschelkalk

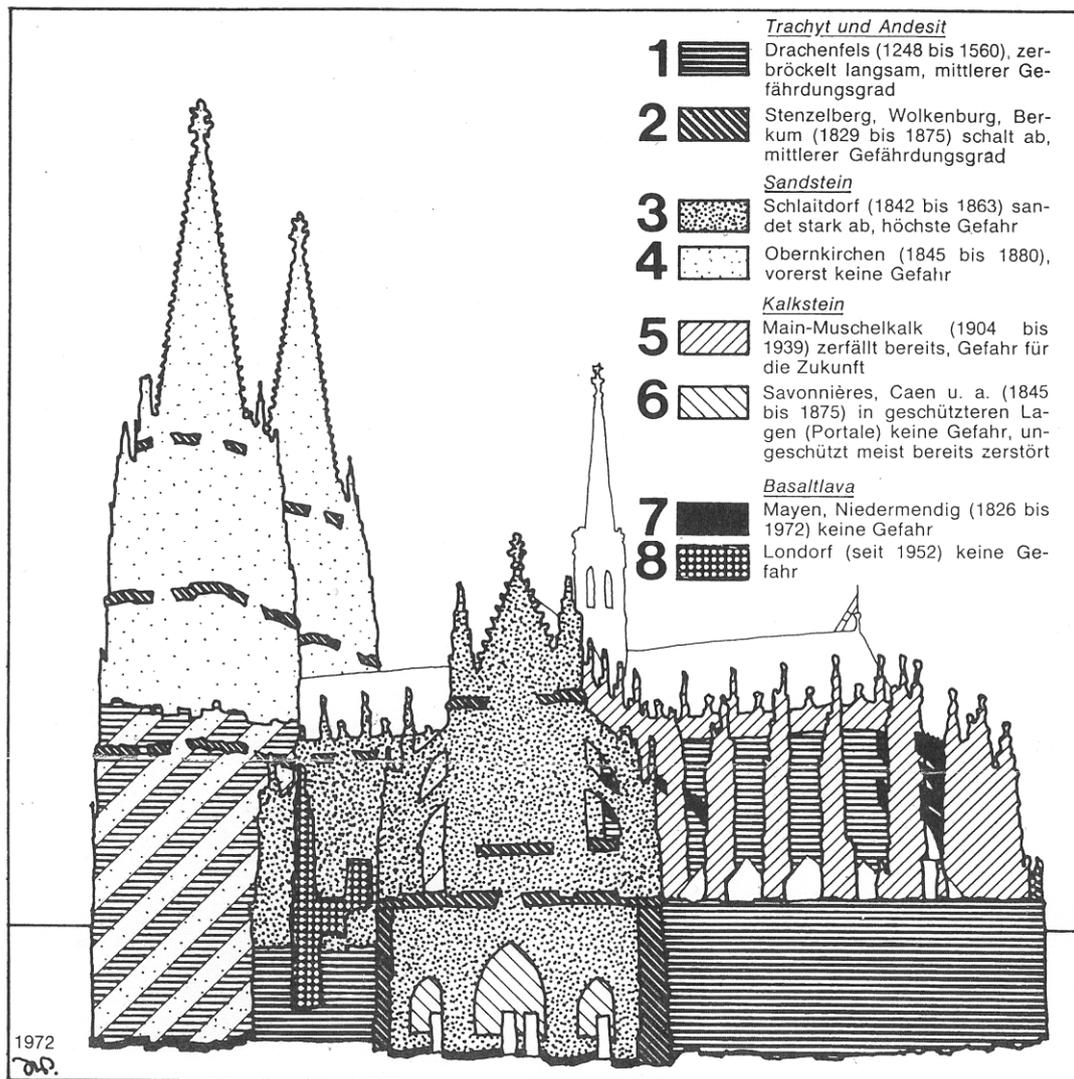
Dieses Kapitell aus Muschelkalk aus dem Jahre 1928 war schon 1972, als das Photo aufgenommen wurde, stark verwittert. Heute ist seine Form kaum noch erkennbar. Die Dombauhütte erprobt seit 1978 die unterschiedlichsten Schutzmittel, um diesen großen Bauteil zu retten. Bisher gab es jedoch keinen durchschlagenden Erfolg. Seit 1998 wird ein Strebewerk des Chores mit einer neu entwickelten Silikonharzfarbe angestrichen, die den Verwitterungsvorgang wenigstens für einige Jahrzehnte aufhalten soll.

### Sandstein aus Schlaitdorf

Seit dem Weiterbau des Domes von 1842 ließ Dombaumeister Zwirner den hellen, grobkörnigen Sandstein aus Schlaitdorf im Neckargebiet verarbeiten. Es ist ein in trockener Deposition entstandener Keuper-Sandstein, der sehr inhomogen ist und bei dem sich recht beständige Zonen mit schnell verwitternden in kurzen Abständen ablösen. Aus diesem Material bestehen die beiden Querhausfassaden und die oberen Teile von Lang- und Querhaus. Das Gestein wurde bis 1863 verwendet. Es wurde kostengünstig mit Schiffen von Schlaitdorf am Neckar bis nach Köln gebracht.

Am Schlaitdorfer Sandstein gibt es heute große Zerstörungen. Da der Stein nicht unter Wasser, sondern in trockener Deposition entstanden ist, wechselt die Qualität von Quader zu Quader.

Nicht alle Stücke sind der Verwitterung unterworfen, manche blieben bis heute unversehrt. Bei anderen hat sich die Verwitterung mehr als 10 cm tief in den Stein gefressen, besonders im Bereich des Strebewerkes. Für die dünnen und leichten, aber statisch wichtigen Strebebogenbrücken, die den Schub der Gewölbe und den Winddruck aufzunehmen haben, bedeutet ein solcher Substanzverlust bereits eine ernste Gefahr.



Schematische Darstellung der Südseite des Kölner Doms: Die wichtigsten Gesteinsarten

Literatur: K. G. Beuckers, Der Kölner Dom, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 2004  
Dombau-Berichte im Kölner Domblatt, Jahrbuch des Zentral-Dombau-Vereins

