

Sedimentologische und geoelektrische Erfassung der Aue des Otterbachtals (Bayerischer Wald) im Vorfeld einer 3D-Hangwassermodellierung

Elisabeth Lutterschmid¹, Bianca Hörsch², Juliane Huber¹, Matthias Leopold¹, Stefan Placht¹, Johannes Röder¹ & Jörg Völkel¹

Einleitung

Das Forschungsvorhaben beabsichtigt in einer 3-dimensionalen Erfassung des oberflächennahen Untergrundes einen Basisdatensatz für hanghydrologische Modellierungen zu erstellen. Die Umsetzung erfolgt in Kombination bodenkundlicher, geophysikalischer und satellitengestützter Methoden zur Parametrisierung der Relief- und Untergrundfaktoren und Differenzierung lithologischer Schichtwechsel.

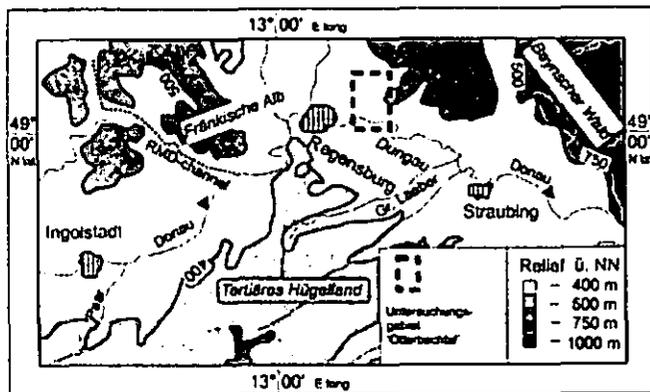


Abb. 1: Untersuchungsgebiet Otterbachtal.

In einem Flusseinzugsgebiet 3. Ordnung im Bayerischen Wald (Abb. 1) werden als Bewertungsgrundlage der Aue Talauendurchmesser und Hangneigung zur Festlegung charakteristischer und repräsentativer Auenquerschnitte herangezogen. Sowohl im Übergangsbereich vom Hangfuß in die Aue als auch in der Aue selbst werden lithofazielle Schichtwechsel in einer Methodenkombination von feldbodenkundlicher Profilaufnahme und Messungen mittels geoelektrischer Widerstandstomographie erfasst. Die flächenhafte Darstellung und deren sedimentologische Differenzierung sollen Rückschluss auf die Eigenschaft und Mächtigkeit des Grundwasserspeichers geben und zudem den Einfluss des Hangwassereintrages darlegen.

Methode

Grundlage der Geoelektrik bilden die physikochemischen Eigenschaften des Untergrundes, die sich in ihrer Ausprägung unterscheiden und das unterschiedliche Leitfähigkeitsverhalten bestimmen. Die Verteilung des elektrischen Widerstands ermöglicht folglich eine strukturelle und stratigraphische Interpretation des Untergrundes und bietet die Möglichkeit einer Rekonstruktion der stofflichen Ursachen (WEIDELT 1997). Die geoelektrische Tomographie liefert mittels Multielektrodenauslage ein 2D-Schnittbild des Untergrundes, dessen Tiefeneindringung in Abhängigkeit zur Länge der Auslage steht. Die 2D-Auswertung der Datensätze erfolgt unter Anwendung der Inversionssoftware RES2DINV auf Basis der Finiten Dif-

ferenzmethode und vorgegebener Modellparameter. Sie dient der Erstellung von 2- oder 3-dimensionalen Widerstandsmodellen des prospektierten Untergrundes (LIEBIG 1996). Es wird ein Startmodell in Form von Blockzellen produziert und unter Berücksichtigung der Sensitivitätsverteilung jeder dieser Zellen ein Widerstandswert zugewiesen. Dieses Ausgangsmodell wird verwendet, um in Anwendung einer Vorwärtsmodellierung synthetische Messwerte zu berechnen. In einem iterativen Annäherungsprozess von den theoretischen Daten zum initialen Modell wird die Inversion so lange wiederholt, bis der Differenzbetrag eine festgelegte Fehlergrenze unterschreitet (z.B. DEY & MORRISON 1979, LOKE 2004a, b).

Ergebnisse

Die Geländebefunde zur substratspezifischen Charakterisierung der Auensedimente ergeben eine meist regelhafte Abfolge der vier Faziestypen Saprolith, Auenschotter, Auensand und Auenlehm. Die Variabilität dieser Sedimentpakete entlang des Talverlaufes ist bedingt durch unterschiedliche Positionen in der Aue. An der Talengstelle befindet sich nur eine geringe Auenaufgabe über dem Schotter. Die heterogene Zusammensetzung mit hohen Feingrusanteilen und oberflächlich anstehenden Granitblöcken verweist auf eine hohe fluviale Dynamik in diesem Bereich. Flussabwärts ändert sich die Untergrunddifferenzierung der Aue. Eine regelhafte Abfolge von Saprolith als Anstehendem, Auenschottern und Auenlehm ist beispielhaft entwickelt. Eine Korngrößen-sortierung zwischen Hangfuß und Ufer kann nicht festgestellt werden. Die Qualität der geoelektrischen Tomographie als zerstörungsfreies, indirektes Messverfahren ist unterschiedlich zu bewerten. Klare sedimentologische Schichtgrenzen wurden in Form von deutlichen Widerstands-kontrasten angezeigt (Abb. 2 & 3). So konnte der Schichtwechsel von Auenlehm zu Auenschotter eindeutig dargestellt werden. Auch die Lagegenauigkeit der Schichtgrenzen ist nahezu identisch mit den Bohrergebnissen. Eine Eingrenzung der Wertebereiche für substratspezifische Widerstände kann für die deutlich ausgeprägten Auenlehm- und Auenschotterfazies des Otterbachtals getroffen werden. Die Werte des Auenlehms liegen im Bereich von 45 bis 140 Ωm und der charakteristische Widerstandsbereich der Auenschotter beträgt 400 bis 700 Ωm . Kleinräumige Schichtüberlagerungen von Sand- und Schottermaterial oder geringe Schichtmächtigkeiten können nicht eindeutig im Tomogramm nachgewiesen werden. Die Methodenkombination zur Darstellung des geschichteten Untergrundes an Auenstandorten hat sich im Rahmen dieser Studie in ihrem jeweiligen Informationsgehalt hervorragend ergänzt.

Diskussion

Das petrographische Spektrum des Untersuchungsgebietes ist geprägt durch die Lage im kristallinen Falkensteiner Vorwald, dessen Lithologie von Granit und dessen chemischem Verwitterungsprodukt, dem Saprolith, charakterisiert ist. Die eindeutige Ansprache des Saproliths als in situ gebildetes oder verlagertes Material stellt ein Problem dar, das auch mit dem Einsatz von Rammkernsondierungen nicht gelöst werden konnte. Die Probenmenge im Bohrkern ist zu gering, um eine Differenzierung von fluvial verlagertem und autochthonem Saprolith durchzuführen.

Die Mittelgebirgslage des Testareals und der damit verbundene Hangwassereintrag in die Aue stellen für die

¹ Professur für Geomorphologie und Bodenkunde, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, 85350 Freising, email: geo@wzw.tum.de

² ESA/ESRIN, Via Galileo Galilei, Casella Postale 64, 00044 Frascati (RM), Italy

Geoelektrik einen signalprägenden Einflussfaktor dar. Ein zunehmender Bodenwassergehalt führt zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit und schwächt somit die Widerstands- kontraste der sedimentologischen Schichtgrenzen. In Abb. 2 wird dieser Hangwassereinfluss in Form erhöhter Leitfähigkeit in der Höhe von 352 bis 347 m zwischen 7 und 40 m angenommen.

Auch die Saprolithmächtigkeit im Otterbachtal kann auf der Grundlage sedimentologischer und geoelektrischer Ergebnisse in dieser Vorabstudie nicht dargestellt werden. Dieser Faziestyp stellt jedoch aufgrund seiner Senkenfunktion vor allem für den Hangwassereintrag einen potentiell hohen Wasserspeicher dar, auch im Rahmen des Hochwassermanagements. Zur Lösung dieses Problems werden im Zuge der weiterführenden Arbeiten u. a. mineralogische Analysen durchgeführt, um neben Porosität und anderen bodenphysikalischen Parametern auch Aussagen zur potentiellen Quellfähigkeit der Minerale und ihrem Wasserhaltevermögen treffen zu können. Zudem ist für die Erfassung des Schichtwechsels von Saprolith zu Granit der Einsatz anderer geophysikalischer Messmethoden, wie des Bodenradars als auch der Seismik, ein weiterer Ansatzpunkt.

Literatur

DEY, A. & H. F. MORRISON (1979): Resistivity modelling for arbitrarily shaped threedimensional structures. - Geophysics 44: 753 - 780.

LIEBIG, A. (1996): Zweidimensionale geoelektrische Inversion als Teil einer integrierten geophysikalischen Auswertung zur Erkundung oberflächennaher Schichten. - Berichte des Instituts für Geophysik der Ruhr-Universität Bochum, Reihe A, Nr. 46. - Bochum, 119 S.

LOKE, M. H. (2004a): Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least-squares method Wenner (a,b,g), inline dipole-dipole, pole-pole, dipole-dipole, equatorial dipole-dipole, Wenner-Schlumberger and non-conventional arrays. - Penang, Malaysia, 210 S.

LOKE, M. H. (2004b): Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. - Penang, Malaysia, 128 S.

WEIDELT, P. (1997): Geoelektrik Grundlagen. - KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. & G. LANGE, (Hrsg.); Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Bd. 3. - Berlin: 65 - 94.

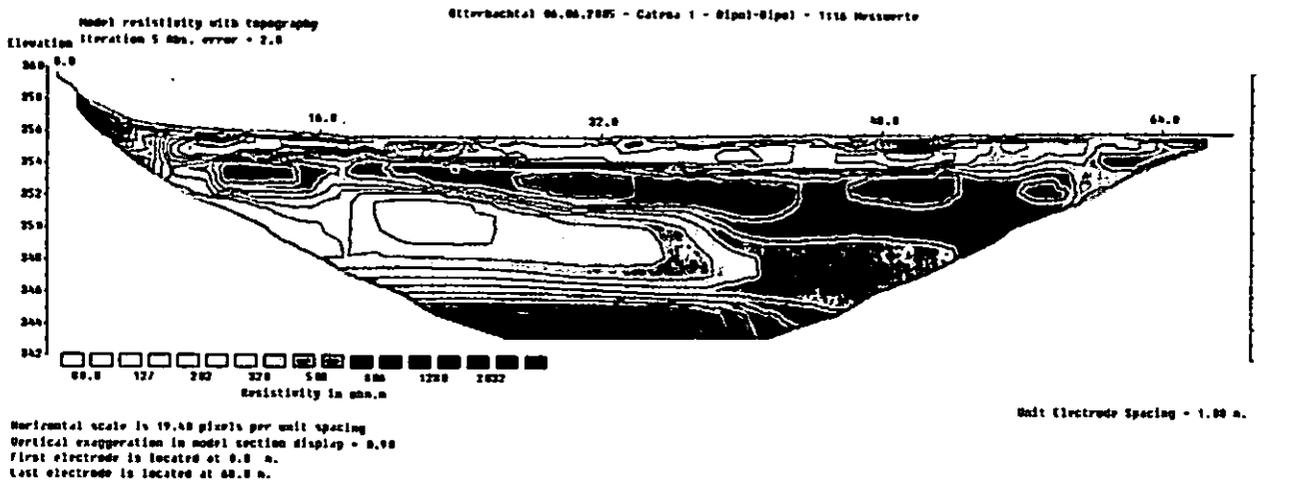


Abb. 2: 2-dimensionale Widerstandsverteilung eines Talquerschnitts vom Hangfuß zum Bach; die V-förmige Struktur ist auf die fehlende Datendichte unterhalb des linken und rechten Profilabschnitts zurückzuführen. Die Auswertung erfolgte mit der Inversionssoftware RES2DINV.

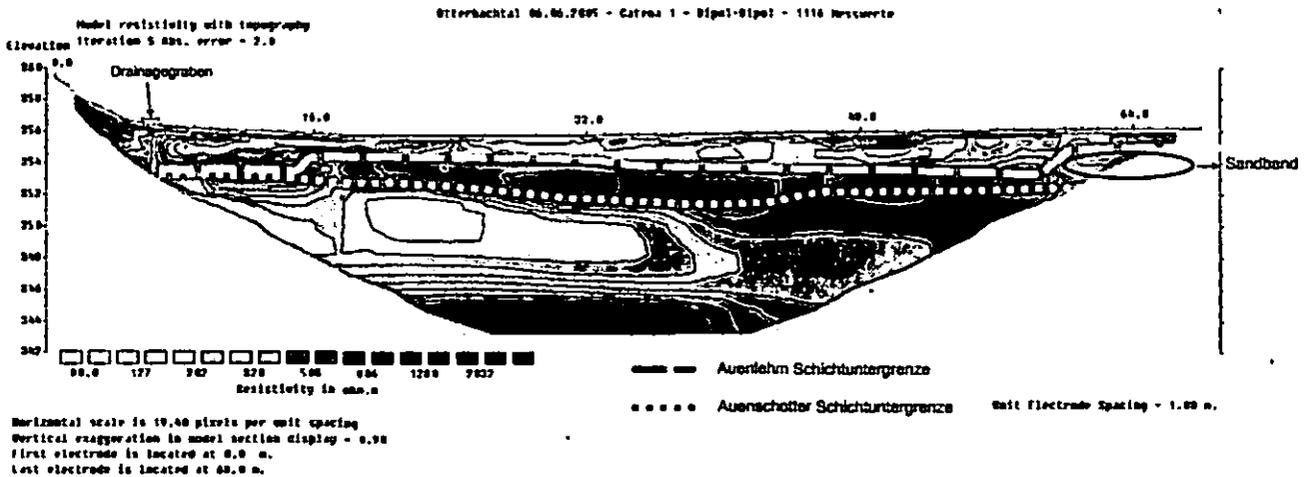


Abb. 3: Zusammenführung der Ergebnisse aus den Rammkernsondierungen und der 2D-Widerstandsverteilung. Die Schichtuntergrenzen von Auenlehm und Flussschotter der sechs Bohrprofile wurden linear interpoliert und in das Tomogramm eingepasst.

Rheologische Untersuchungen in der Bodenmikromechanik – Ein Link zu Quellungs- und Schrumpfungsvorgängen

Wibke Markgraf*, Rainer Horn

Einleitung

Die Bodenmikromechanik befasst sich im Wesentlichen mit den strukturellen Veränderungen des 3-Phasen-Systems Boden. Hierbei kann zwischen intern und extern wirksamen Kräften unterschieden werden. Veränderungen gehen von hydraulischen wie auch physikochemischen Eigenschaften und Modifikationen aus. Diese äußern sich mitunter in unterschiedlichem Scherverhalten (turbulent oder gleitend); vor allem aber sind es rheologische Kenngrößen, die eine sehr differenzierte Beschreibung dieser mikrostrukturellen Veränderungen zulassen.

Methode

Rheologische Grundlagen

Boden wird im Allgemeinen als viskoelastische Substanz definiert. Um eine physikalische Beschreibung und Quantifizierung vornehmen zu können, bedarf es zweier grundlegender Gesetze aus der Kontinuumsmechanik. Ein ideal elastischer Zustand wird durch das Hooke'sche Gesetz [1.1] beschrieben, repräsentiert durch eine Feder, ein ideal-viskoser Zustand durch Newtons Gesetz [2], dessen Analog ein Stoßdämpfer darstellt. Gleichung [1.2] stellt den direkten Bezug der Schubspannung zur Deformation dar und liefert somit eine Aussage über den Schubmodul G (Konstitutivgesetz). Ist die Steigung $G = 1$, so handelt es sich um einen Hooke'schen Festkörper (ideal elastisch).

$$\tau = G \gamma \quad [1.1]$$

$$G = \tau / \gamma \quad [1.2]$$

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad [2]$$

mit τ = Schubspannung [Pa], G = Schubmodul [Pa], γ = Deformation [%] oder [-] und η = Viskosität.

Unter oszillierenden Bedingungen werden zwei weitere Moduln verwendet: der Speichermodul G' [Pa] und der Verlustmodul G'' [Pa]. Befindet sich ein viskoelastisches Material in einem elastischen Zustand, so gilt: $G' > G''$. Ist eine bestimmte Fließ- bzw. Deformationsgrenze überschritten, überwiegen viskose Eigenschaften: $G' < G''$. Der Quotient aus G'' und G' führt zu einem so genannten Verlustfaktor $\tan \delta$.

$$G''/G' = \tan \delta \quad [3]$$

Ist $\tan \delta < 1$, so ist davon auszugehen, dass sich die Deformation in einem reversiblen Bereich befindet. Ein mikrostruktureller Zusammenbruch ist bei $\tan \delta > 1$ erreicht.

Amplitudentest

In Markgraf et al. (2006) werden theoretische Grundlagen der Rheologie sowie die methodische Umsetzung von Amplitudentests detaillierter vorgestellt. Es können gestörte wie auch ungestörte Bodenproben in (un)gesättigtem Zustand analysiert werden. Die Messungen werden mit einem Platte-Platte-Messsystem (25 PP) an einem Rotationsrheometer der Fa. Paar Physica durchgeführt. Der Plattenabstand beträgt konstant 4 mm. Bei einem Plattendurchmesser von 25 mm entspricht das einem Probenvolumen von ca. 4 cm³. Laut der Definition von verrichteter Arbeit $W = F \cdot s$ handelt es sich um eine Weg gesteuerte Energie, die bei einer gleich bleibenden Frequenz von 0,5 Hz generiert wird. Der Rohdatensatz besteht aus Drehmoments- bzw. Normalkraftwerten [Nm]. In Verbindung mit einer konstanten Kreisfrequenz und dem vorgegebenen Plattenabstand, sowie der Materialvariablen, ergeben sich hieraus die Werte für G' und G'' .

Der mikrostrukturelle Abbau erfolgt in drei Phasen:

Phase 1: elastischer Zustand, $G' > G''$

Phase 2: Transgressionsphase, mit einer Überschneidung von G' und G''

Phase 3: mikrostruktureller Zusammenbruch, $G' < G''$

Basierend auf einem Datensatz, ist es möglich, eine direkte Gegenüberstellung von physikalischen Größen vorzunehmen. Neben der „klassischen“ Darstellung von Speicher- und Verlustmodul G' - G'' vs. Deformation γ , können beispielsweise die Schubspannung τ vs. die Deformation γ aufgetragen werden, Schubmodul G vs. Normalkraft F_N , oder der Verlustfaktor $\tan \delta$ vs. Deformation γ . Letzteres wird im Folgenden näher betrachtet, da sich hierin ein Link zu Quellungs- und Schrumpfungsvorgängen verbirgt.

Nach einer kurzen Beschreibung des untersuchten Materials, erfolgt eine Vorstellung der Ergebnisse.

Material

Untersucht wurde gestörtes wie auch strukturiertes Probenmaterial des Standortes Rothamsted (GB). Seit 1885 finden dort Dauerdüngerversuche mit Stallmist statt; von 1968 an wurde sukzessive Stickstoffdünger in unterschiedlichen Konzentrationen beigemischt. Das schluffig-lehmige Substrat, mit einem C_{org} -Gehalt von 2,7%, wurde in kleinen Stechzylindern vorbereitet und aufgesättigt bzw. bei -30, -60 und -150hPa vorentwässert.

Resultate

Bei den vorliegenden Bodenproben handelt es sich um ein sehr elastisches, rigides Material. Es erfolgt lediglich ein gradueller Strukturabbau. Die Phase einer

* Kontaktadresse:

Dr. Wibke Markgraf
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel
w.markgraf@soils.uni-kiel.de