



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014–2020

Skládkový workshop Liberec-Žitava 2016

Skládka jako poslední možnost

Aktuální otázky

vyplývající z hierarchie nakládání s odpady

3.-4. listopadu 2016



Deponieworkshop Liberec-Zittau 2016

Deponie als letzte Möglichkeit

Aktuelle Fragen,

die sich aus der Abfallhierarchie ergeben

03.-04. November 2016

12. Skládkový workshop Liberec-Žitava

Skládka jako poslední možnost

Aktuální otázky vyplývající z hierarchie nakládání s odpady

12. Deponieworkshop Liberec-Zittau

Deponie als letzte Möglichkeit

Aktuelle Fragen, die sich aus der Abfallhierarchie ergeben

Podpora

Tato akce je podpořena z prostředků Evropské unie prostřednictvím Programu spolupráce Česká republika-Svobodný stát Sasko 2014-2020 – číslo projektu 100246598.

Förderung

Diese Veranstaltung wird durch das SN-CZ 2014-2020 - Programm der EU zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik gefördert – Projektnr.: 100246598.

odborný editor: Lukáš Zedek

technický editor: Kamil Nešetřil

překlady provedl: Sven Dietrich

Sborník byl připraven s využitím typografického systému \LaTeX .

Obsah

Účinnost evropských předpisů	7
<i>Havelka, P.</i> Odpadové hospodářství v ČR ve světle vyhlášené evropské strategie	9
<i>Stock, U.; Bittrich, S.</i> Požadavky na zpracování odpadů, především diskuse o spalování odpadů proti mechanicko-biologickému zpracování odpadů z německého pohledu	11
<i>Hráská, D.</i> Způsoby energetického využívání odpadů	25
<i>Witkowski, W.; Beyer, G.</i> Plánování, stavba a zprovoznění zařízení pro zpracování odpadu s kompostárnou v Marszowě (Polsko)	31
Využití stavebních materiálů pro stavbu skládek	33
<i>Egloffstein T.; Sehrbrock, U.</i> Průkazní zkoušky přírodních, minerálních stavebních materiálů – Požadavky a jejich praktické prosazování v Německu	35
<i>Sandig, F.; Al-Akel, S.; Thiele, R.; Engel, J.</i> Aplikace technických rekultivačních substrátů - možnosti a hranice	39
<i>Hrabčák, M.</i> Štvrtý rozmer skládky	55
<i>Schneider, P.; Müller, M.; Hebner, A.; Kapielski, K.; Schrickel, M.; Fabian, H.</i> Možnosti alternativní izolace skládky pomocí sekundárních minerálních stavebních hmot v tuzemsku a v zahraničí	63
Aplikovaná informatika a měřicí technika	77
<i>Dunger, V.; Müller, M.; Winter, C.; Winter, J.</i> Hydrologie zajištění povrchu v Sasku a změny klimatu	79
<i>Datel, J. V.</i> Zásady geotechnického a environmentálního monitoringu odkališť	93
<i>Weber K.</i> Automatizovaný monitoring skládky během fáze následné péče	111

<i>Kast, G.</i> Měření objemového obsahu vody při využití kontinuálních a diskontinuálních metod měření v hydrologické vrstvě skládky v Bavorsku	117
Techniky následné péče o skládky	119
<i>Drews, R.</i> Nákladově efektivní a nízkoúdržbové systémy odvodnění povrchů skládek s přihlédnutím ke specifickým požadavkům hydrologické vrstvy.	121
<i>Beck-Broichsitter, S.; Fleige, H.; Horner, R.</i> Dlouhodobá účinnost dočasného minerálního zakrytí povrchu	143
<i>Steinbrecht, D.; Rickert, I.</i> Likvidace a energetické využívání skládkových plynů	153
<i>Nešetřil, K.</i> Informační systém pro monitoring skládek	163
Aplikovaná geologie a další témata	165
<i>Zeman, J.</i> Geochemie složitých interakcí odpadů a infiltračních vod na skládkách	167
<i>Hrabal, J.; Kovářová, K.; Ambrožová, V.</i> Čištění skládkových výluhů kombinovanou membránovou technologií s použitím bio- logických systémů předčištění	179
<i>Gerth, A.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schneider, P.</i> Následné využití lokality skládky Gò Cát v Ho Či Minově městě	187
<i>Clemenz, P.; Weber, I.; Dedek, M.; Pabel, R.; Schoenherr, J.I.; Dunger, V.; Schulz, R.; Engel, J.</i> Vývoj environmentálních inženýrských postupů pro udržitelné využití půd	199
<i>Pelantová, V.</i> Problematika černých skládek	207

Inhaltsverzeichnis

Auswirkung von EU-Richtlinien	7
<i>Havelka, P.</i> Abfallwirtschaft in der Tschechischen Republik angesichts der erklärten europäischen Strategie	9
<i>Stock, U.; Bittrich, S.</i> Anforderungen an die Abfallbehandlung, insbesondere die Diskussion um Abfallverbrennung kontra mechanisch-biologische Abfallbehandlung aus deutscher Sicht	11
<i>Hráská, D.</i> Möglichkeiten einer energetischen Abfallnutzung	25
<i>Witkowski, W.; Beyer, G.</i> Planung, Bau und Inbetriebnahme von Abfall-aufbereitungsanlagen und die Abfallanlage mit Kompostierung in Marszow (Polen)	31
Verwendung von Baustoffen im Deponiebau	33
<i>Egloffstein T.; Sehrbrock, U.</i> Eignungsnachweise nach BQS für natürliche mineralische Baustoffe – Anforderungen und praktische Umsetzung	35
<i>Sandig, F.; Al-Akel, S.; Thiele, R.; Engel, J.</i> Anwendungen für technische Rekultivierungs-Substrate – Möglichkeiten und Grenzen	39
<i>Hrabčák, M.</i> Die vierte Dimension einer Deponie	55
<i>Schneider, P.; Müller, M.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schrickel, M.; Fabian, H.</i> Möglichkeiten alternativer Deponieabdichtungen mit mineralischen Ersatzbaustoffen im In- und Ausland	63
Angewandte Informatik und Umwelt-Messtechnik	77
<i>Dunger, V.; Müller, M.; Winter, C.; Winter, J.</i> Der Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen Sachsens im Klimawandel	79
<i>Datel, J. V.</i> Prinzipien des geotechnischen Monitorings und Umweltmonitorings von Klärteichen .	93
<i>Weber K.</i> Automatisierte Deponieüberwachung in der Nachsorgephase	111

<i>Kast, G.</i> Zur Messung des volumetrischen Bodenwassergehaltes bei Einsatz von kontinuierlichen und diskontinuierlichen Messmethoden in einer Wasserhaushaltsschicht einer Deponie in Bayern	117
Umwelttechnik bei der Nachsorge von Deponien	119
<i>Drews, R.</i> Kostengünstige und nachsorgearme Oberflächenentwässerungseinrichtungen auf Deponien bei Berücksichtigung der besonderen Anforderungen einer Wasserhaushaltsschicht	121
<i>Beck-Broichsitter, S.; Fleige, H.; Horner, R.</i> Langzeitwirkung einer temporären mineralischen Oberflächenabdichtung	143
<i>Steinbrecht, D.; Rickert, I.</i> Entsorgung von und Energiegewinnung aus Deponiegasen	153
<i>Nešetřil, K.</i> Informationssystem für das Monitoring einer Deponie	163
Angewandte Geologie, Sonstiges	165
<i>Zeman, J.</i> Geochemie komplexer Wechselwirkungen des Abfalls und des Sickerwassers auf Deponien	167
<i>Hrabal, J.; Kovářová, K.; Ambrožová, V.</i> Reinigung des Deponiesickerwassers mit Hilfe einer kombinierten membranengestützten Technologie unter Anwendung biologischer Systeme der Vorbehandlung	179
<i>Gerth, A.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schneider, P.</i> Nachnutzung des Deponiestandortes Gò Cát in Ho Chi Minh City	187
<i>Clemenz, P.; Weber, I.; Dedek, M.; Pabel, R.; Schoenherr, J.I.; Dunger, V.; Schulz, R.; Engel, J.</i> Entwicklung umweltingenieurtechnischer Verfahren zur nachhaltigen Bodenressourcennutzung	199
<i>Pelantová, V.</i> Problematik der illegalen Abfallablagerung	207

Aplikovaná geologie a další témata

Angewandte Geologie, Sonstiges

Vývoj environmentálních inženýrských postupů pro udržitelné využití půd

Entwicklung umweltingenieurtechnischer Verfahren zur nachhaltigen Bodenressourcennutzung

Peter Clemenz¹, Isabelle Weber^{1,3}, Marlieb Dedek¹, Robert Pabel², Jürgen I. Schoenherr¹, Volkmar Dunger³, Reiner Schulz¹, Jens Engel²

Abstrakt

V případě zemních staveb dochází opakovaně k sesuvům. Jejich příčiny je nutno hledat mimo jiné v nedostatečné odolnosti použitých půd za změněných podmínek klimatu a využití. Aby bylo možno tuto problematiku analyzovat a vytvořit vhodná zlepšující opatření a dosáhnout optimalizovaného nadimenzování nových zemních staveb byl vytvořen interdisciplinární projekt, řešený několika institucemi, v jehož rámci mají být kombinovány postupy, používané v rámci zúčastněných oborů. V projektu budou zohledněny jak geotechnické, tak i technologické, pedologické a hydrologické přístupy. Takto vytvořené půdní zdroje s odpovídajícími technickými parametry mají být kromě toho použity na konkrétních lokalitách a stavbách a stát se součástí zlepšených modelů. Hlavní pozornost bude v rámci řešení projektu věnována hydrologickému modelování, pedologickým laboratorním a terénním zkouškám, technologickým postupům a způsobům hodnocení a geotechnickým zkouškám a problematice zajištění stability.

Kurzfassung

An Erdbauwerken treten immer wieder Rutschungen auf. Diese sind unter anderem auf eine ungenügende Resistenz der aufgebrachten Böden unter veränderten Klima- und Nutzungsbedingungen zurückzuführen. Um diesen Sachverhalt zu analysieren und geeignete Maßnahmen zur Nachbesserung sowie zur optimierten Auslegung neuer Erdbauwerke zu erreichen, wurde ein interdisziplinär angelegtes und interinstitutionell bearbeitetes Projekt ins Leben gerufen, in welchem die unterschiedlichen Herangehensweisen der beteiligten Fachdisziplinen kombiniert werden. Im Projekt werden somit sowohl geotechnische als auch verfahrenstechnische, pedologische und hydrologische Betrachtungsweisen Beachtung finden. Die Verwendung der so entwickelten technisch parametrisierten Bodenressourcen soll zudem standort- und bauwerksbezogen erfolgen und auch in verbesserte Prognosemodelle einfließen. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen Wasserhaushaltsmodellierungen, pedologische Labor- und Feldversuche, verfahrenstechnische Aufbereitungs- und Bewertungsverfahren sowie geotechnische Experimente und Standsicherheitsbetrachtungen.

¹Hochschule Zittau/Görlitz, iTN, Theodor-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; Peter.Clemenz@hszg.de, Marlieb.Dedek@hszg.de

²Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Friedrich-List-Platz 1, D-01069 Dresden; Robert.Pabel@htw-dresden.de

³Technische Universität Bergakademie Freiberg, Gustav-Zeuner-Straße 12, D-09596 Freiberg; Isabelle.Weber@geo.tu-freiberg.de

1 Einleitung

Bodenmechanische Störungen an geböschten Erdbauwerken wie Rutschungen, Setzungen und Erosion treten immer wieder auf, obwohl es Bauvorschriften zum Beispiel zur Schichtmächtigkeit oder zur Verdichtung des Bodenmaterials gibt.

Da der Boden bzw. das daraus errichtete Erdbauwerk unterschiedlichen Nutzungsansprüchen unterliegt, entstehen in solch einem Bauwerk Grenzflächen, die schwer abzuschätzende Schwachstellen enthalten können. Des Weiteren kommen zahlreiche Umwelteinflüsse hinzu, die das Erdbauwerk beeinflussen und beanspruchen. Insbesondere lässt sich der Wasserhaushalt aufgrund der klimatischen Schwankungen schwer kontrollieren, ist aber ein entscheidender Faktor für die Standfestigkeit. Daher soll im Projekt „Entwicklung umweltingenieurtechnischer Verfahren zur nachhaltigen Bodenressourcennutzung“ eine möglichst umfassende Betrachtung aus mehreren Blickwinkeln erfolgen und zum Beispiel der Zusammenhang zwischen Material, Materialzusammensetzung, Bewuchs und Wasserhaushalt erforscht werden. Dazu wurde aus den Fachgebieten Verfahrenstechnik, Geotechnik, Hydrologie und Bodenkunde ein interdisziplinäres Team gebildet. Im Folgenden werden die aus der jeweiligen Fachrichtung einfließenden Grundlagen erläutert.

2 Verfahrenstechnische Aufbereitung von Erdbaustoffen

Aus Sicht der Verfahrenstechnik handelt es sich bei Erdbaustoffen um disperse Gemische aus mineralischen und auch organischen Feststoffen. Als Dispersionsmittel einer sogenannten Schüttung kommen Luft und Wasser in Betracht. Mit abnehmender Korngröße spielen die Haftkräfte zwischen den einzelnen Partikeln (Adhäsionskräfte) im Vergleich zur Massekraft eine immer größere Rolle. Im Besonderen führt ein bedingt zunehmender Wassergehalt durch Ausbildung von Wasserbrücken zu einer Erhöhung der Haftkräfte im Kornverband. Bei schüttungsmechanischen Betrachtungen wird daher zwischen kohäsionslosen und kohäsiven Schüttgütern unterschieden (Abb. 1) [1].

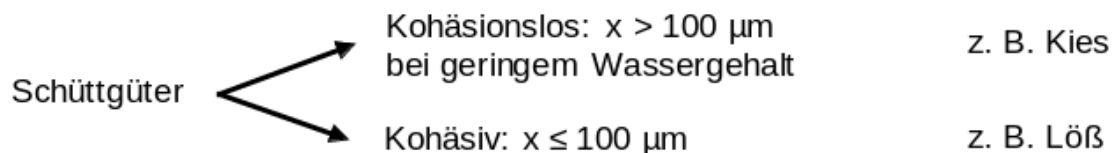


Abbildung 1: Kohäsion bei Schüttgütern

Die Fließigenschaften eines Schüttgutes sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, von denen neben dem bereits erwähnten Wassergehalt und der Korngröße insbesondere auch die Kornform und die Verteilung der Körnung hervorzuheben sind. Je nach Korngrößenverteilung ergeben sich für Erdbaustoffe verschiedene Einsatzmöglichkeiten. Grobkörniger Boden stellt einen guten Baugrund dar, wohingegen feinkörniger Boden sich beispielsweise als Dichtungsmaterial im Deponiebau eignet [2]. Die Korngrößenverteilung, auch als Sieblinie bezeichnet, lässt sich mittels verschiedener Methoden bestimmen. Die beiden klassischen Methoden sind die Siebanalyse und die Sedimentationsanalyse. Durch verfahrenstechnische Grundoperationen wie Klassieren und Sortieren, Mischen, Zerkleinern sowie Homogenisieren lässt sich die Sieblinie eines Schüttgutes an die jeweils technischen Anforderungen anpassen, indem gezielt spezielle Gesteinskörnungen verstärkt oder reduziert werden. Auch technologische sonstige Substrate, die derzeit nur einer mangelhaften Verwertung zugeführt werden, sollen eingesetzt, d.h. in Anbetracht des stetig wachsenden Nachhaltigkeitsgedankens, mit in die Betrachtungen

einbezogen und mit geeigneten Verfahren als zukünftiger Baustoff für den Erdbau aufbereitet werden. Derartige technogene Substrate sind beispielsweise Mauerwerksbruch, Straßenaufbruch oder verschiedene Schlacken und Aschen nach deren Aufbereitung. Durch Zugabe bestimmter Additive, wie z. B. Baukalk oder Zement, können entscheidende Materialeigenschaften eines Erdbaustoffes wie beispielsweise die Einbau- und Verdichtungsfähigkeit oder die Frostempfindlichkeit verbessert werden [3]. Um die Logistikkosten möglichst gering zu halten, erfolgt die Aufbereitung von Erdbaustoffen vorzugsweise in mobilen Bodenbehandlungsanlagen direkt an der Baustelle. Im Rahmen des Projektes „Entwicklung umweltingenieurtechnischer Verfahren zur nachhaltigen Bodenressourcennutzung“ soll vergleichsweise die Eignung von herkömmlichen und technogenen Substraten zur Erzeugung eines qualitativ hochwertigen Produktes und dessen vorteilhafter Einsatz unter veränderlichen klimatischen Bedingungen untersucht werden, um anschließend Rezeptvorgaben für die optimale Zusammensetzung eines Erdbaustoffes für verschiedene Umweltinfrastrukturbauwerke wie Böschungen oder Deiche liefern zu können. Vor dem Hintergrund der gesetzlich in Deutschland geforderten Kreislaufwirtschaft, kann durch die Verwertung von technogenen Substraten auch die Recyclingquote weiter erhöht und somit immer knapper werdender Deponieraum eingespart werden.

3 Böschungen an Erdbauwerken

Dämme, Deiche, Deponien, Kippenablagerungen sowie natürliche Fels- und Lockergesteinsabhängige sind Anlagen der Umweltinfrastruktur. Sie sollen ihre Funktion über einen unbestimmten, meist sehr langen Zeitraum erfüllen. Zur Bewertung der Sicherheit dieser Strukturen sowie zu deren Sicherung und Ertüchtigung muss zurzeit auf ingenieurtechnische Verfahren zurückgegriffen werden, deren eigentliches Ziel die sichere Dimensionierung von Neubauten ist. Somit lässt sich die Sicherheit der bestehenden Umweltinfrastruktur nur unzureichend vorhersagen. Die folgende Abbildung (Abb. 2) zeigt die in Böschungen ablaufenden Prozesse auf.

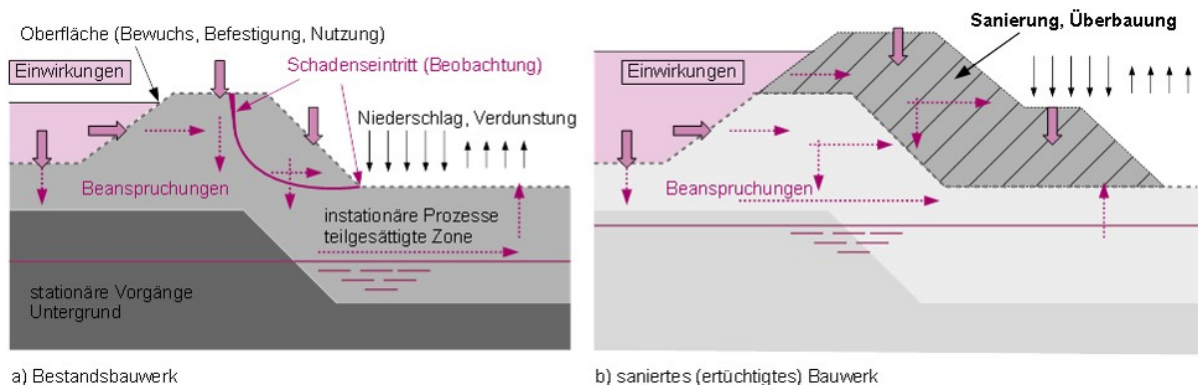


Abbildung 2: Böschungen

In der oberen Bodenzone werden die Eigenschaften unter anderem durch Frost, den Wasserhaushalt, die Durchwurzelung oder Kleintiere beeinflusst. Diese Effekte können zurzeit nicht beschrieben und deshalb auch nicht für die Stabilisierung genutzt werden. Veränderte Beanspruchungen infolge Klimawandel und Extremwetter erfordern große Aufwendungen zur Sicherung der Funktion der Umweltinfrastrukturbauwerke. Die Anforderungen an die Dichte und den Wasser-Luft-Haushalt der Deckschichten unterscheiden sich erheblich von den bodenmechanischen Vorgaben des Erdbaus. Während aus bodenmechanischer Sicht eine hohe Dichte und ein geringer Luftporenanteil angestrebt werden, sollte die belebte Bodenzone möglichst locker sein und einen hohen Luftporenanteil aufweisen. Außerdem unterliegt diese Zone dem Einfluss von Frost-Tau-Wechseln sowie erheblichen Feuchtigkeitsschwankungen. Diese gefügebildenden Prozesse bestimmen die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften

ten und sollten beobachtet bzw. planmäßig günstig beeinflusst werden. Ziel sind die Entwicklung und Etablierung von Verfahren zur Sicherung einer stabilen Pflanzendecke und einer stabilen Infiltration als wichtiges Element des Erosionsschutzes. Gleichzeitig sollen negative Effekte wie Verschlammung, Auswaschung oder Verdichtungsprozesse sowie eine negative Entwicklung des Wasser-Luft-Haushalts minimiert werden. Die Beschaffenheit des Bodens ist für die Entwicklung des Wurzelsystems sowie die Durchlässigkeit der oberen Schicht von Bedeutung. Beide Größen beeinflussen die instationäre Strömung und die Ausbildung von Schäden. Verletzungen der Außenhaut sind meist der Beginn von Rutschungen. Klima- und Wetterprognosen bilden die Grundlage für die Bewertung des Wasserhaushalts des oberflächennahen Teils der Umwelt sowie die Vorhersage der Sickerwassermenge und der Strömungsvorgänge. Die Auswirkungen veränderlicher Randbedingungen durch Umwelt (Klima, Niederschlagsdynamik), Materialfeuchte, Versickerung und Grundwasserstand werden untersucht. Zur Gewinnung dieser Daten ist das Monitoring der Referenzobjekte im Feld geplant. Ziel der Entwicklung sind wirklichkeitsnahe Prognosewerkzeuge zur Bewertung von dynamischen Umwelteinflüssen als Grundlage für Vorschläge zur Optimierung des Materialeinsatzes. Zur Validierung der Prognoseverfahren werden Modellversuche genutzt. Mit dieser Technik können zukünftige Szenarien, z. B. Hochwasserereignisse oder Extremwettersituationen, simuliert werden [4], [5], [6], [7].

4 Wasserhaushaltsmodellierung

Der quantitative Kreislauf des Wassers kann auf Grundlage der Massenerhaltung in der Wasserbilanz zeit- und flächenbezogen beschrieben werden [8]. Beeinflusst wird der Wasserhaushalt der Erdbauwerke von atmosphärischen Einflussfaktoren wie dem Klima und der Witterung, der hydrologischen Wirksamkeit der Bodenschichten wie Wassertransport und Wasserspeichermöglichkeit, der Morphologie mit dem Gefälle und der Ausrichtung und dem Pflanzenbewuchs nach Art und Entwicklung. Anhand von Gleichung 2 kann der Wasserhaushalt der Bodenschichten beschrieben werden [2].

$$P = ETR + RO + RH + RU + DS \quad (2)$$

Darin ist P der Niederschlag, ETR die reale Evapotranspiration, RO der Oberflächenabfluss, RH der laterale Abfluss, RU die Restdurchsickerung und DS die Speicheränderung im Boden.

Vereinfachend mit empirischen Formeln oder komplexer anhand von Bodenwasserhaushaltsmodellen, Niederschlag-Abfluss-Modellen oder Deponie- und Haldenwasserhaushaltsmodellen kann eine rechnerische Simulation des Wasserhaushaltes erfolgen. Dafür können verschiedene Softwarelösungen eingesetzt werden. Durch Untersuchungen an natürlichen Materialien und auch technogenen Substraten ist im Projekt die Modellierung der ungesättigten Strömung in verschiedenen Böschungen geplant, die in enger Verbindung zum bodenkundlichen und geotechnischen Verhalten steht. Dabei wird dem Wassergehalt eine hohe Beachtung geschenkt, vor allem welche Wirkung die Grasnarbe mit ihren Wurzeln besitzt und wie sich anhand von niederschlagsreicher und niederschlagsarmer Witterung eine Sättigungswasserlinie ausbildet und verändert. Dazu sind auch Feld- und Laborexperimente geplant, die in Abbildung 3 beispielhaft dargestellt sind.

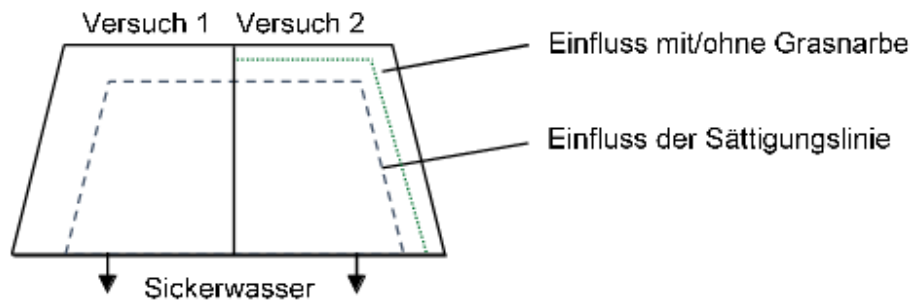


Abbildung 3: Beispiel Böschungsuntersuchung

Die Böschungen werden an einem repräsentativen Standort erbaut. Sie sollen aus verschiedenen homogenen Materialien hergestellt und in ihrer Hangexposition (N, O, S, W) variiert werden. Das Bodenmaterial wird unter anderem zuvor auf seine wasserhaushaltlich relevanten Eigenschaften wie die Wasserdurchlässigkeit und Wasserspeicherfähigkeit untersucht. Die Sättigungslinie wird mithilfe von Feuchte- und Saugspannungsmessungen nachvollzogen und auch die Sickerwassermengen werden erfasst.

5 Durchwurzelbare Bodenschicht

Aus bodenkundlicher Sicht stellen Böden den belebten Teil der obersten Erdkruste dar [9]. Das Ausgangsgestein bildet die Grundlage für die mineralischen Bodenschichten, die aus vielfältigen pedologischen Prozessen hervorgehen. In urbanen Räumen und technischen Bauwerken des Landschaftsbaus spielen auch technogene Substrate als Ausgangsbasis für die Bildung eines anthropogenen Bodens eine Rolle.

In der obersten Bodenschicht reichert sich im mineralischen Anteil durch Humifizierungsprozesse und Bioturbation organische Substanz (Humus) an. Diese Zone bildet den Hauptteil des durchwurzelbaren Raumes der Vegetationsschicht und den Lebensraum der Bodenbiozönose.

Durch bestimmte räumliche Anordnung der mineralischen und organischen Substanz entsteht ein Bodengefüge mit charakteristischen Hohlraum-(Poren)-System. Jene Poren können mit Luft und Wasser bzw. Bodenlösung gefüllt sein, wodurch der Boden als komplexes 3-Phasen-System mit zahlreichen chemischen und physikalischen Wechselwirkungen zu betrachten ist. Das Bodengefüge selbst ist kein starres System, sondern unterliegt sowohl jahreszeitlichen Schwankungen in Abhängigkeit vom Wasser- und Wärmehaushalt sowie der Beeinflussung durch Pflanzenwachstum. Hinzu kommen Gefügeänderungen durch Belastung oder Bearbeitung des Bodens. Prinzipiell bedeutet jedoch eine große Gefügestabilität eine geringe Veränderung der physikalischen Eigenschaften [10].

Im durchwurzelten Bodenraum (Rhizosphäre) unterliegen Wurzeln und Boden einer wechselseitigen Beeinflussung. Das Bodensubstrat mit seinen Poren- und Gefügeeigenschaften bietet die Grundlage für die Durchwurzelung; es kann somit durch seine Poreneigenschaften über bodenmechanische Voraussetzungen und den Luft-Wasserhaushalt die primäre Ausbildung eines für die Pflanze ausreichenden Wurzelsystems beeinflussen. Mit zunehmender Entwicklungsdauer werden Porenräume und Bodeneigenschaften aber durch Durchwurzelung, Bodenleben, Quell-, Schrumpf-, Wachstums-, Ein- und Austragsprozesse verändert. Diese Prozesse steuern maßgeblich die Gefügebildung und beeinflussen damit das 3-Phasen-System Boden bis hin zu messbaren bodenmechanischen Veränderungen. So kann sich z.B. die Scherfestigkeit im Boden durch armierende Wirkung der Wurzeln in Abhängigkeit von ihrer Reißfestigkeit und ihrem Auszugwiderstand erheblich erhöhen [11].

Eine besonders wichtige Rolle spielt die Vegetation in der Regulation des gesamten Wasserhaushaltes und damit auch als Erosionsschutz an Erdbauwerken. Das Auftreffen von Niederschlag und die Zurückhaltung von Teilmengen des Niederschlags (Interzeption) verringern die kinetische Energie des Niederschlags und nivellieren die anfallenden Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit, insbesondere bei Starkregenereignissen. Dadurch kann die Verschlammung der Bodenoberfläche und die den Boden erreichende Wassermenge verringert werden. Wiederum kann die durch Pflanzen aufrechterhaltene Porosität und Durchlässigkeit die Infiltration aufrechterhalten und ein übermäßiger Oberflächenabfluss verhindert werden. Die durch Evaporation erhöhte Saugspannung bewirkt die Zunahme der Kohäsion auch in tieferen Bodenschichten und die Verminderung des Porenwasserdrucks [11].

Da die Prognosen der Klimaentwicklung für Sachsen ein höheres Potential für Extremniederschlagsereignisse, Dürreperioden im Sommer und andererseits eine Zunahme der Niederschlagsmengen im Winter vorhersagen [12], ist die Standsicherheit von Erdbauwerken auch eine Frage der bodenmechanischen Stabilität unter sich verändernden Klimabedingungen. Die Auswahl und Nutzung der genannten Eigenschaften einer standortgerechten Vegetation, auch bei zunehmender Beachtung der Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) durch Verwendung gebietseigenen Saatgutes, in Kombination mit günstigen Bodeneigenschaften und stabilem Gefüge, soll unter Einbeziehung von technogenen Substraten durch experimentelle Erfahrungen im Projekt optimiert werden.

6 Ausblick

Der interdisziplinäre und interinstitutionelle Ansatz soll die verfahrenstechnischen, geotechnischen, hydrologischen und pedologischen Betrachtungsweisen zusammenfügen und ein Konzept für die Ertüchtigung bestehender und die Planung zukünftiger Erdbauwerke schaffen. Durch Feld- und Laborversuche sollen dabei die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von natürlichen Materialien und auch technogenen Substraten nach deren Aufbereitung für den Erdbau vergleichsweise bestimmt werden. Durch gezieltes Vermischen verschiedener Substrate soll ein Erdbaustoff gefunden werden, der den sich verändernden klimatischen Bedingungen, beispielsweise gekennzeichnet durch die Zunahme von Starkregenereignissen, standhält. Da der Wasserhaushalt einen maßgeblichen Einfluss auf die Standsicherheit von Umweltinfrastrukturbauwerken hat, ist außerdem im Rahmen einer Promotion, unter Einbeziehung von Klima und Vegetation, die Modellierung der hydraulischen Vorgänge vorgesehen. Zur Datengewinnung kann auf bestehende Anlagen (Lysimeterstation Zittau, Großlysimeterstation Bautzen Nadelwitz, . . .) zurückgegriffen werden. Die im Projekt „Entwicklung umweltingenieurtechnischer Verfahren zur nachhaltigen Bodenressourcennutzung“ gewonnenen Erkenntnisse, können anschließend in die Planung und Entwicklung eines zur exemplarischen Überprüfung der erzielten Ergebnisse geeigneten Großversuches einfließen.

Literaturverzeichnis

- [1] SCHULZE, D.: *Pulver und Schüttgüter. 3., ergänzte Auflage*, Springer, Berlin Heidelberg. 2014
- [2] SCHOENHERR, J. I. ; BLAŽKOV´, M. ; ENGEL, J.: *Erdbau und Rekultivierung. Satztechnik Meißen, Zittau, Liberec, Dresden.* 2012
- [3] FLOSS, R.: *Handbuch ZTVE-Stb. 4. Auflage*, Kirschbaum, Bonn. 2009
- [4] AL-AKEL, S. ; ENGEL, J. ; LAUER, C. ; SCHOENHERR, J. I. ; MÜLLER, M. ; BAUMERT, R.: *Zusammenhängende Betrachtung geotechnischer und bodenkundlicher Aspekte bei der Planung von qualifizierten Rekultivierungsschichten. Tagungsband, Wissenschaftliche Berichte Hochschule Zittau/Görlitz, Nr. 96, S. 45 ff.* 2007
- [5] MÜLLER, M. ; BALOUN, T. ; SCHOENHERR, J. I. ; AL-AKEL, S. ; KAMMEL, E. ; ENGEL, J.: *Einsatz von Wasserhaushaltsschichten als Oberflächenabdichtung – Teil 1: Lysimeterbau und Ergebnisse. Tagungsband zur 13. Gumpensteiner Lysimetertagung, S.147 ff.* 2009
- [6] MÜLLER, M. ; BALOUN, T. ; SCHOENHERR, J. I. ; AL-AKEL, S. ; KAMMEL, E. ; ENGEL, J.: *Einsatz von Wasserhaushaltsschichten als Oberflächenabdichtung – Teil 2: Verwendete Böden. Tagungsband zur 13. Gumpensteiner Lysimetertagung, S. 151 ff.* 2009
- [7] AL-AKEL, S. ; ENGEL, J. ; KAMMEL, E.: *Konzept zur Sicherung rutschgefährdeter Oberflächen von Böschungen - Erste Lösungsansätze und Modellversuche. Tagungsband: Aktuelle Probleme in der Abfallwirtschaft, Nr. 3.* 2010
- [8] DYCK, S. ; PESCHKE, G.: *Grundlagen der Hydrologie. 3. stark bearbeitete Auflage*, Verlag für Bauwesen, Berlin. 1995
- [9] BLUME, H.-P. ; BRÜMMER, G. W. ; HORN, R. ; KANDELER, E. ; KÖGEL-KNABNER, I. ; KRETZSCHMAR, K. ; STAHR, K. ; WILKE, B.-M.: *Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage*, Spektrum, Heidelberg. 2011
- [10] KUNTZE, H. ; ROESCHMANN, G. ; SCHWERDTFEGER, G.: *Bodenkunde. 5. neubearbeitete und erweiterte Auflage*, Ulmer, Stuttgart. 1994
- [11] WEINBERGER, C.: *Einfluss der Vegetation auf die Stabilität des Bodens (Masterarbeit). Universität für Bodenkultur, Wien.* 2011
- [12] ALBERT, E. ; BOBETH, A. ; HAUSMANN, A.: *Kompendium Klima: Sachsen im Klimawandel. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.* 2014

