

Skládkový workshop Liberec - Žitava 2014

Techniky skládkování a hospodaření s odpady,
požadavky EU, vliv změn klimatu

13. - 14. listopadu 2014



Deponieworkshop Liberec - Zittau 2014

Deponietechnik und Abfallwirtschaft,
Anforderungen der EU
und durch den Klimawandel

13. - 14. November 2014

10. Skládkový workshop Liberec - Žitava

Techniky skládkování a hospodaření s odpady, požadavky EU, vliv změn klimatu

10. Deponie Workshop Liberec - Zittau

Deponietechnik und Abfallwirtschaft, Anforderungen der EU und durch den Klimawandel

edičně zpracoval: Lukáš Zedek
překlady provedl: Sven Dietrich
Sborník byl připraven s využitím typografického systému \LaTeX .

Obsah

Zdravice rektora Vysoké školy v Žitavě a Zhořelci	7
7. Akční program pro životní prostředí EU, směrnice EU o odpadech a jejich prosazování	9
<i>Věra Pelantová</i> Uplatnění požadavků Evropské Unie na skládkování v České republice	11
<i>Ulrich Stock</i> Využití dotací z Evropského fondu regionálního rozvoje pro projekty uzavírání skládek v Braniborsku	17
<i>Uwe Bartholomäus, Danuše Hráská, Franz Sänger, Jürgen I. Schoenherr</i> Plánování, stavba a provoz skládek - Srovnatelnost s evropskými předpisy, technický pohled na zákony o skládkování v České republice a v Německu	41
<i>Jan Maršák</i> Příprava nového zákona o odpadech a aktuální stav odpadové legislativy v ČR	71
<i>Petr Havelka</i> Plánované změny legislativy skládkování v ČR z pohledu ČAOH	77
Vývoj nových technologií	83
<i>Nataliya Savchuk, Petra Křížová</i> Praktické zkušenosti a závěry z pilotního testování kombinované membránové technologie pro čištění skládkových výluhů	85
<i>Andreas Krellmann, Axel Pörschke, Thomas Hohlfeld, Thomas Dörrer</i> Testování metod k plošnému průzkumu mocnosti rekultivačních vrstev na skládkách	93
Změny klimatu – Nová situace na skládkách?	99
<i>Nils Feske</i> INTERKLIM – klimatická kooperace pro česko-saské pohraničí	101
<i>Volkmar Dunger, Mario Müller, Holger Augustin</i> Vlivy změn klimatu na vodní režim zajištěných povrchů na příkladu skládky v Drážďanech, Langebrücker Straße	109
<i>Jan Šembera, Kamil Nešetřil, Miloslav Nechyba, Jan Kurka, František Titl</i> Informační systém „MARE“ pro sběr dat a podporu rozhodování o využití rekultivované krajiny	123

<i>Petra Schneider, Klaus-Dieter Oswald, Anja Lämmel, Swantje Lindner</i> Modelování vodního režimu v mezinárodním projektování skládek: Zkušenosti z projekční praxe v Evropě a Asii	131
Uzavírání skládek: Zkušenosti a kontrola úspěšnosti	143
<i>Said Al-Akel, Jens Engel, Carsten Lauer</i> Test vhodnosti a zajištění kvality zemních staveb a pro rekultivační vrstvy	145
<i>Volker Sokollek</i> Zajištění, následné péče a nové využití skládky v Hamburku – Georgswerder – 30 let zkušeností	159
<i>Jaroslav Pelant</i> Uzavírání skládek v České republice	179
<i>Věra Kreníková, Jaroslava Vráblíková, Miroslava Blažková</i> Skládkování odpadů v Podkrušnohoří	187
Následné využití a odtěžování skládek	197
<i>Marek Hrabčák</i> Landfill mining – seriózní technologie a nebo jen utopická vize?	199
<i>Jürgen I. Schoenherr, Uwe Bartholomäus</i> Odtěžování skládek – postupy technické realizace	209
Seznam firem	237
Reklama	239
UP Umweltanalytische Produkte GmbH	241
Umwelt-Geräte-Technik GmbH	243

Inhaltsverzeichnis

Grußwort des Rektors der Hochschule Zittau/Görlitz	8
Das 7. Umweltaktionsprogramm der EU, EU-Richtlinien und nationale Umsetzung im Abfallbereich	9
<i>Věra Pelantová</i> Anwendung der Anforderungen der Europäischen Union an das Deponieren in der Tschechischen Republik	11
<i>Ulrich Stock</i> Einsatz von Finanzierungshilfen aus dem EFRE-Fond für Deponiestilllegungsmaßnahmen in Brandenburg	17
<i>Uwe Bartholomäus, Danuše Hráská, Franz Sängler, Jürgen I. Schoenherr</i> Planung, Bau und Betrieb von Deponien - Vergleichende Betrachtungen zu den EU-Richtlinien, den tschechischen und den deutschen Bestimmungen	41
<i>Jan Maršák</i> Vorbereitung des neuen Abfallgesetzes und aktueller Stand der Abfallwirtschaft in der Tschechischen Republik	71
<i>Petr Havelka</i> Geplante legislative Veränderungen im tschechischen Abfallgesetz aus Sicht von ČAOH (Tschechische Abfallwirtschaft Assoziation)	77
Präsentationen zur Verfahrensentwicklung	83
<i>Nataliya Savchuk, Petra Křížová</i> Über erste praktische Erfahrungen bei der Anwendung einer Membran-Technologie zur Reinigung von Deponiewässern	85
<i>Andreas Krellmann, Axel Pörschke, Thomas Hohlfeld, Thomas Dörner</i> Prüfung von Methoden zur flächenhaften Erkundung der Mächtigkeit von Rekultivierungsschichten auf Deponien	93
Klimawandel – eine neue Situation für Deponien?	99
<i>Nils Feske</i> INTERKLIM - Klimakooperation für den sächsisch-böhmischen Grenzraum	101
<i>Volkmar Dunger, Mario Müller, Holger Augustin</i> Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen am Beispiel der Deponie Dresden, Langebrücker Straße	109

<i>Jan Šembera, Kamil Nešetřil, Miloslav Nechyba, Jan Kurka, František Titl</i> Informationssystem MARE zur Datenerfassung und Unterstützung der Entscheidungs- findung zur Nutzung der rekultivierten Landschaft	123
<i>Petra Schneider, Klaus-Dieter Oswald, Anja Lämmel, Swantje Lindner</i> Wasserhaushaltsmodellierung in der Deponieplanung: Erfahrungen aus der Planungs- praxis in Europa und Asien	131
Deponiestilllegungen: Erfahrungen und Erfolgskontrolle	143
<i>Said Al-Akel, Jens Engel, Carsten Lauer</i> Eignungsprüfung und Qualitätssicherung im Erdbau und für Rekultivierungsschichten	145
<i>Volker Sokollek</i> Sicherung, Nachsorge und Nachnutzung der Deponie Hamburg-Georgswerder - 30 Jahre Erfahrungen	159
<i>Jaroslav Pelant</i> Stilllegung von Deponien in der Tschechischen Republik	179
<i>Věra Kreníková, Jaroslava Vráblíková, Miroslava Blažková</i> Deponien im erzgebirgischen Vorland	187
Nachnutzung und Deponierückbau	197
<i>Marek Hrabčák</i> Landfill – eine realistische Technologie oder nur eine utopische Vision?	199
<i>Jürgen I. Schoenherr, Uwe Bartholomäus</i> Deponierückbau – Verfahrenstechnische Umsetzung	209
Betriebsliste	237
Werbung	239
UP Umweltanalytische Produkte GmbH	241
Umwelt-Geräte-Technik GmbH	243

Zdravice rektora Vysoké školy v Žitavě a Zhořelci

Vážení účastníci desátého ročního Workshopu o skládkování,
Milé studentky a milí studenti,
Vážení hosté,

Ústav mechatroniky a technické informatiky Technické univerzity v Liberci v úzké spolupráci s Ústavem pro vývoj technologií a výzkum rašelin a přírodních materiálů (Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung) při Vysoké škole v Žitavě a Zhořelci (Hochschule Zittau/Görlitz) nás pozval na mezinárodní Workshop o skládkování. Nehledě na lepší a horší časy se tento workshop koná letos již podesáté. Bylo to v roce 2005, kdy byl učiněn první krok. Počet dalších ročníků se tehdy nedal předpokládat.

Jako rektor mám radost z toho, když vědecké akce mohou pokračovat po dlouhé roky či desetiletí. K tomu přistupuje ještě specifikum a to, že Workshop o skládkování je přeshraničně společně připravován a organizován střídavě v Žitavě a v Liberci.

Také v roce 2014 jsou témata příspěvků opět různorodá. Základní směřování této akce je věnováno evropské myšlence. Téměř bez povšimnutí veřejnosti schválila Evropská unie na konci roku 2013 7. Akční program pro životní prostředí, jehož cílem je další rozvoj ekologických standardů a dosažení další koherence v této oblasti.

Co nám Evropská unie předepisuje pro práci se skládkami? Jakým způsobem to lze realizovat na národní úrovni? Existuje jedinečný pokrok v Německu a v našich sousedních zemích, který by mohl být vzorem?

Pro celou EU jsou v programu konstatovány velké rezervy v oblasti prosazení cílů v odpadovém hospodářství. Země, které spolu v trojzemí sousedí – Česko, Polsko a Německo – jsou bezprostředně dotčeny různým stavem vývoje. Workshop o skládkování Liberec – Žitava je tedy předurčen pro nalezení řešení nebo konsensu v takovýchto otázkách.

Určitý výsledek bude možno konstatovat až na konci konference. Vidím v této konferenci dobrý, možná i důležitý příspěvek k tomu, abychom zabránili nezájmu o naše sousedy a pro větší rozvoj silných stránek našich společných vztahů.

Tak i právě ukončené projekty spolupráce Saska se svými sousedními státy, podpořené Evropskou unií v rámci programu Cíl 3, které se věnují regionálnímu vývoji klimatu a vodních zdrojů, sledují zásadu, že počasí, změna klimatu a voda se nezastaví na národních hranicích.

Jsem si jist, že tento workshop povede k mnoha odborným diskusím. Přeji workshopu příjemný průběh.

V Žitavě dne 13.11.2014

Prof. Dr. phil. Friedrich Albrecht
Rektor Vysoké školy v Žitavě a Zhořelci

Grußwort des Rektors der Hochschule Zittau/Görlitz

Sehr geehrte Teilnehmer und Teilnehmerinnen des 10. Deponiewerkshops,
liebe Studentinnen und Studenten,
werte Gäste,

das Institut für Mechatronik und Technische Informatik der Technischen Universität Liberec hat in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN) der Hochschule Zittau/Görlitz zum Internationalen Deponieworkshop eingeladen. Über alle Höhen und Tiefen hinweg erfolgte nun bereits zum zehnten mal solch eine Einladung. Ja, 2005 wurde der erste Schritt gewagt. Die Dauer war damals nicht abzusehen.

Als Rektor freue ich mich, wenn wissenschaftliche Veranstaltungen über Jahre oder Jahrzehnte fortgeführt werden können. Dazu kommt noch die Besonderheit, dass der Deponieworkshop im Wechsel zwischen Zittau und Liberec bei gemeinsamer Vorbereitung über verbindende Grenzen hinweg stattfindet.

Auch 2014 sind die Themen der Beiträge wieder vielfältig. Jedoch ist der Tenor der Veranstaltung dem europäischen Gedanken gewidmet. Von der Öffentlichkeit fast nicht beachtet, hatte die Europäische Union Ende 2013 das 7. Umweltaktionsprogramm bis 2020 beschlossen, um Umweltstandards voranzubringen und weitere Kohärenz auf diesem Gebiet zu schaffen.

Was gibt uns die Europäische Union für das Betreiben und den Umgang mit Deponien vor? In welcher Art kann es im nationalen Bereich umgesetzt werden? Gibt es einzigartige und nachahmenswerte Fortschritte in Deutschland und in unseren Nachbarstaaten?

Für den gesamten EU-Bereich wird im Programm noch großer Handlungsbedarf zur Durchsetzung der Zielstellungen in der Abfallwirtschaft festgestellt. Von verschiedenen Entwicklungsständen sind die angrenzenden Länder im Dreiländereck Deutschland, Tschechien und Polen unmittelbar betroffen, so dass der Deponieworkshop Liberec-Zittau prädestiniert für die Lösung oder einen Konsens in solchen Fragestellungen ist.

Ein gewisses Ergebnis wird erst am Ende der Konferenz zu resümieren sein. Ich sehe diese Konferenz als einen guten, vielleicht auch notwendigen Beitrag an, um Desinteresse gegenüber dem Nachbarn zu verhindern und Stärken in den Gemeinsamkeiten zu entwickeln.

So folgen auch die gerade abgeschlossenen, von der EU geförderten Ziel 3-Projekte der Zusammenarbeit Sachsens mit den Nachbarstaaten über regionale klimatische Entwicklungen und Wasserressourcen dem aktuell erlebbaren Grundsatz, dass Wetter, Klimaänderung und Wasser nicht an den nationalen Grenzen halt machen.

Ich bin mir sicher, dass der Workshop zu vielen Fachdiskussionen führen wird und wünsche dem Deponieworkshop einen angenehmen Verlauf.

Zittau, 13.11.2014

Prof. Dr. phil. Friedrich Albrecht
Rektor der Hochschule Zittau/Görlitz

7. Akční program pro životní prostředí EU, směrnice EU o odpadech a jejich prosazování

Das 7. Umweltaktionsprogramm der EU, EU-Richtlinien und nationale Umsetzung im Abfallbereich

Uplatnění požadavků Evropské Unie na skládkování v České republice

Anwendung der Anforderungen der Europäischen Union an das Deponieren in der Tschechischen Republik

Věra Pelantová¹

Abstrakt

Rychlé změny ve světě vedou k naléhavosti tématu skládkování, coby dříve opomíjeného zdroje surovin. Článek se zabývá problematikou uplatnění požadavků EU na skládkování v ČR. Po stručné rešerši analyzuje situaci a rozvíjí připomínky k požadavkům EU na skládkování. Na základě pozorování dává do souvislosti tyto připomínky s místní situací ve sledovaném městě. Ze získaných poznatků vyvozuje závěr o stávající nedostatečné připravenosti ČR na znovupoužití odpadů jako zdroje surovin.

Klíčová slova: Odpad, člověk, znovupoužití, zdroj, příroda, produkt.

Kurzfassung

In Folge der schnellen Veränderungen in der Welt gewinnt das Thema des Deponierens als einer früher vernachlässigten Rohstoffquelle an Bedeutung. Der Beitrag befasst sich mit der Problematik der Einführung der Anforderungen der EU an das Deponieren in der Tschechischen Republik. Nach einer kurzen Recherche werden die Situation analysiert und Anmerkungen zu den Anforderungen der EU angesprochen. Anhand von Beobachtungen werden diese Hinweise in Zusammenhang mit der Situation in der beobachteten Stadt gebracht. Aus den gewonnen Erkenntnissen werden Schlussfolgerungen zu dem mangelnden Stand der Vorbereitung der Tschechischen Republik auf die Neuverwendung der Abfälle als einer Rohstoffquelle abgeleitet.

Schlüsselworte: Abfall, Mensch, Neuverwendung, Quelle, Natur, Produkt.

1 Stručná rešerše

Téma skládkování není příliš publikačně zastoupeno. Přesto lze nalézt základní fakta. Autor [1] varuje před idealizací využití odpadu, v tomto případě z paliv. Poukazuje na potřebu sledovat jeho úskalí. Stávající nakládání s odpady v ČR považuje za špatné. Likvidace odpadu se stala obchodním ziskovým podnikem pro mnoho „překupníků“, navíc ještě s dotacemi od EU. Běžné jsou postupy mechanické úpravy, což široce popisuje článek [2]. Autor [3] varuje před politickou situací, která má značný vliv na suroviny a energetiku.

Poukazuje na podporu recyklace a využití druhotných zdrojů a zvýšení energetické účinnosti v rámci Surovinové politiky ČR. S tím ovšem nesouhlasí autorka [4]. ČR vzhledem k definici odpadu vykazuje menší objem odpadu, než vyprodukuje. Zájem je spíše o velké skládky, jako stavby. Dále uvádí, že ČR nepočítá s odtěhováním skládek. Podle autora [3], který se opírá

¹Ústav mechatroniky a technické informatiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 46117 Liberec, vera.pelantova@tul.cz

o surovinovou politiku ČR v [5], mají šanci budované nové technologie a místní průmysl s cílem udržet konkurenceschopnost státu. Zájem je nutno věnovat též cenám jednotlivých surovin. Uvažuje o prolomení těžebních limitů. Recyklace má snížit dodavatelská rizika surovin do ČR. Stát plánuje vytvořit projekty na zpracování, sběr a třídění materiálů, ale článek [2] je již prezentoval dříve. Dále chce stát vytvořit modely posuzování životního cyklu produktů a sanace, i ty jsou ovšem již zkoumány např. v [6] a modely sanace skládek v [7]. Rovněž stát chce nalézt alternativy pro alespoň 3 suroviny. Také současně buduje kontrolní mechanismy dodržování této nové legislativy.

2 Úvod

Klesá množství a dosažitelnost surovin v přírodě. U některých surovin jsou sice dosud surovinové zdroje dostatečné, ale jsou v rukou politicky nekorektních skupin. Nejen EU, ale řada dalších zemí se tak musí naučit hospodařit jiným způsobem. Rovněž roste potřeba ozdravit okolní přírodu a tím posílit její funkce. Proto jsou požadavky EU na skládkování chvályhodné, komplexní, ale náročné.

3 Komentované požadavky

Tento příspěvek se zabývá vztahem požadavků EU na skládkování podle textů [8] a [9] a situací této oblasti v ČR. Vychází z dlouhodobého pozorování jeho autorky a z jejích rozhovorů se zainteresovanými osobami.

Snížit až zastavit skládkování i do r. 2050 je první požadavek. Vlivy na skládkování mají: mentalita a životní styl jednotlivců i vedení organizací, výrobní technologie produktů (odpady, prostřihy, jednoúčelové montáže apod.), jejich použité materiály a životnost produktů, logistika a legálnost odvozu odpadu, ceny materiálů a produktů, nadprodukce zbytečností a módních výstřelků, chování k životnímu prostředí v místě i vzdáleném okolí, ekonomická a politická situace nejen v regionu. Skládky jsou potom dvojího druhu: oficiální (státem nebo místní správou schválené) a černé. Na druhé straně stojí nedostatečné využívání kapacity spaloven odpadu a zajištění pro ně doposud drahých technologií, napomáhajících zlepšování životního prostředí. S ohledem na tyto vlivy je dosažení výsledku za příštích 36 let nereálné. Lidé nejsou na tuto změnu dostatečně připraveni. Patřičné technologie nejsou k dispozici. Budou se muset patrně nakoupit. Výrazná je v tomto směru potřeba stanovení vhodných znaků kvality pro tuto oblast. Navíc, oficiální zastavení skládkování ještě není koncem skládkování černého. Naopak lze předpokládat alespoň na přechodnou dobu jeho nárůst. Rovněž spolu se snahami vlády ukládat radioaktivní odpad roste pocit řady obyvatel, že ostatní skládky už se vydrží také a nejsou tolik nebezpečné.

Druhý požadavek hovoří o odpadu jako surovinovém zdroji. Požadavek není termínován. Jde o vyšší stupeň v pojetí odpadu. Neodhazuje se, nespaluje se, ale má se použít. Zde ještě více vystupuje do popředí nutnost promyšlení použití vhodných materiálů, konstrukce a technologie výroby produktu, jakož i odpadu, vznikajícího přímo při produkci. Některé materiály se proto stanou minulostí s ohledem na jejich vlastnosti v závislosti na čase, na obtížnost jejich odbourání v přírodě i na znovupoužití ve výrobě. Vhodné je rovněž prodloužit životní cykly produktů (jako v [6]), najít produktu ještě další využití a likvidovaný produkt ihned rozebrat na vstupní suroviny. K tomu je nutno vytvořit, případně koupit, potřebné „demontážní“ technologie a naučit lidi takto myslet. Většina obyvatel v ČR totiž uvažuje stylem, nelíbí se mi produkt, nebo nefunguje, tak ho vyhodím a ani nepřemýšlím kam. Při běžném skládkování v ČR je situace jasná. A marketing k tomu ještě nabádá slovy: „Už máte tento nový produkt?“. V případě tohoto požadavku se jedná o úlohu pro konstruktéry a technology, ale především pro učitele v rámci výchovy celé populace a to dlouhodobě. Třídění odpadů se lidé teprve učí. Systém barevných kontejnerů je složitý. Informací je pro občany nedostatek. Umístění kontejnerů a termíny jejich

odvozu odpovídají možnostem dané obce a odpadové služby. V určitých obdobích roku by byl potřeba častější svoz, protože kontejnery nestačí a vzniká kolem nich nepovolená skládka. Odvoz sám si řídí provozovatel odpadové služby. Ani ten není bez problému. Nastal již dokonce případ, kdy služba sesypala všechny kontejnery s různými materiály dohromady a odjela. Pro občany a pracovníky organizací, využívající třídění, je pak takové počínání šokem. V souvislosti se znovupoužitím odpadu by měla být vzata v úvahu jeho rizika. Jedná se o případnou kontaminaci zdraví škodlivými látkami, možný přenos chorob během manipulace, zpracování i při následném používání nových produktů. To jsou nové aspekty bezpečnosti práce.

Třetí požadavek je snížit biologicky rozložitelné odpady v komunálních odpadech do r. 2016 na 35% stavu z r. 1995. Zde je otázkou, kdo sledoval stav v r. 1995. Tehdy bylo cílem ČR vybudovat tvrdé tržní hospodářství. Na přírodu tolik lidí nemyslelo. Ani dnes není zřejmé, kolik biologického odpadu je obsaženo v komunálním odpadu. Pro mnoho obyvatel, ale i organizací, je běžné vložit biologický odpad mezi ostatní odpady. Častým argumentem je zabránění šíření plevelů, zabránění zápachu, že silné stonky do kompostu nepatří. Případným druhým jevem je, zvláště v domech bohatých lidí, dávat biologické zbytky přes drtič do kanalizace. Kanalizace se tímto způsobem zanáší, vzniká zdroj nákazy a de facto další skládka pod zemí. To si však nikdo neuvědomuje. Ani tento požadavek proto nebude snadné splnit. Chybějí totiž přesná „startovní“ data a zpětné odhady pouze zkreslují situaci.

4 Další hlediska posouzení tématu

Využití odpadů by přitom mělo být nákladově přijatelné pro všechny zainteresované strany. Náklady by se měly zohlednit již při koupi produktu. Tím by odpadl problém následného výběru poplatků za odpad. Ještě nyní se poplatkům část obyvatel vyhýbá. Navíc je toto chování dalším důvodem vzniku černých skládek. Někteří lidé totiž neváhají vézt odpad desítky kilometrů daleko do přírody a zde odpad dokonce rozsypat.

Z hlediska normativního požadavku na kvalitu a spolehlivost v rámci procesního přístupu podle [10] by měl být produkt na konci své životnosti vždy podroben ekologické likvidaci. Znovupoužití odpadu ovšem v sobě nese „hrozbu“ potřeby meziskládky před demontáží a likvidací. Ve výrobě se tento jev považuje za plýtvání místem. Jako takový se v tuzemsku přenáší na dodavatele. Státem budované kontrolní mechanismy pro dodržování nové legislativy v oblasti odpadového hospodářství povedou jen k nárůstu administrativy a snahám obejít tento složitý systém. Prevence, průhlednost a jednoduchost by z pohledu managementu kvality a procesního přístupu vedla spíše k dodržování pravidel většinou subjektů. V tuzemsku není řešena otázka kvality případných vytěžených skládkových surovin ani celková role kvality v odpadovém hospodářství.

Rizika provozu skládek v jakékoli formě nejsou příliš uvažována. Neuvažuje se ani vztah skládky s okolním prostředím (na rozdíl od článku [2]) – půdou, vodními toky, ovzduším, živočichy a rostlinami, zářením. Nevoli blízkého okolí sklídí spíše zjevné projevy skládek, jako zápach. Rizikové jsou všechny skládky. Nebezpečí hrozí zejména u tzv. historických a zapomenutých skládek ze 2. světové války a z období socialismu, které mohou obsahovat i velmi nebezpečné látky a předměty. Je o rizika z působnosti managementu bezpečnosti [11].

Péče o skládky není v ČR dostatečná. V lepším případě proběhla jednorázová úprava pro zamezení průsakům, sesuvům a pro odvětrání.

Možnost odtěžování skládek je v ČR používána minimálně a ani se neplánuje [4]. Nejde ani tak o technickou stránku věci vlastního odtěžení, ale spíše následné manipulace s tímto materiálem a administrativní náročnost, které se každý rád vyhne.

Ekologická výchova musí být v ČR zaměřena na děti i na dospělé. V tomto směru se nemohou striktně učit mladí od starších a žáci od učitelů. Učební materiály ve školách jsou nedostatečné. Ochrana přírody na ZŠ jsou věnovány 2 strany knihy předmětu Vlastivěda až ve 4. třídě podle knihy [12]. Týká se rozdělení krajiny podle zásahu člověka a základních pra-

videl chování obyvatel v přírodě. Organizovaně se na ZŠ sbírá papír. V sledovaném městě je prováděn sběr všech druhů surovin, vč. odběru nebezpečného materiálu. Ovšem původní skládka odpadu leží na svém místě dosud. Žáci se o nakládání s odpady a zamezení jejich vzniku dozvídají více v osvětlené rodině a v kroužcích, jako je skaut.

V ČR byla v posledních 20. letech přetržena řada dobrých aktivit ke snížení odpadu, např. výkup skleněných lahví a stáčení nápojů do nich, prodej a poskytování kvalitních látkových tašek, zakládání kompostů apod. Pro mnoho lidí znamenají tyto změny popud k ještě většímu plýtvání. Ve sledovaném městě každý týden řada občanů přemýšlí, čím zaplní popelnici, když ji mají zaplacenou. Na druhé straně se zde rozšířil zvyk sběru plastových víček ve snaze pomoci rehabilitaci nemocnému dítěti. Občasné letáky s ekologickými informacemi moc lidí nečte, protože se ztrácejí v záplavě jiných písemností. Má-li být ekologická výchova dostatečná, musejí se změnit 2 záležitosti. Lidé se musejí naučit nedotknutelnosti majetku a ohleduplnému chování k majetku druhých. Nyní je běžné sebrat, schovat, vyhodit, zničit věci druhých. Potom odpad narůstá. Druhou záležitostí je nekulturní chování k přírodě, např. ježdění vozidlem mimo silnice, zábor půdy pro sklady a montážní haly, zasypávání lomů a údolí odpadem apod.

5 Závěr

Snahu o znovupoužití odpadů lze tedy považovat za pokus EU vyřešit záležitost nedostatku surovin z vlastních zdrojů v situaci, kdy již není čas na přípravy. Okolní politická a hospodářská situace se změnila velmi rychle. Prostým zvážením uvedených faktorů je možno dojít k závěru, že legislativní požadavky EU na skládkování nejsou v současné době pro ČR přenositelné a uskutečnitelné v daném rozsahu. ČR na tento stav není připravena. Termíny, navržené EU, jsou nereálné a jejich prosazení by vedlo pouze k dalšímu napětí. Bude záležet na lidech, nejen v ČR, jak rychle se naučí ekologicky myslet a uvážlivě používat produkty a nakolik dokáží využít odpady jako suroviny i za pomoci technologií, které jsou již jinde vyvinuty.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z Programu Cíl 3 na podporu přeshraniční spolupráce mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko 2007-2013, z projektu č. 100113281 - Vlivy počasí a změn klimatu na životní prostředí a zemní stavby (KLIPRO).

Literatura

- [1] T. Drápela. K diskusi - Využití odpadu v energetice., 2014.
- [2] J. I. Schoenherr a U. Bartholomäus. Odtěžování skládek - možnosti těžby a zpracování sládkovaného materiálu. Vlivy počasí a změn klimatu na životní prostředí a zemní stavby (KLIPRO). Seminář. TUL, FM, Liberec, 2014.
- [3] M. Hladík. Surovinová a energetická bezpečnost v rámci hospodářsko-energetické politiky. Energetika 2(64):72-78, 2014.
- [4] V. Kreníková. Vliv klimatických změn na životní prostředí a zemní stavby. Skládání odpadů v Podkrušnohoří. Vlivy počasí a změn klimatu na životní prostředí a zemní stavby (KLIPRO). Seminář. TUL, FM, Liberec, 2014.
- [5] Kol. autorů Surovinová politika ČR. MPO ČR, Praha, 2012.
- [6] V. Pelantová. Another View of the Product Life Cycle. Applied Mechanics and Materials. Novel Trends in Production Devices and Systems II. TTP, Zurich. (In print.).
- [7] V. Dunger. Modely vodní bilance systému zakrytí skládky. Vlivy počasí a změn klimatu na životní prostředí a zemní stavby (KLIPRO). Seminář. TUL, FM, Liberec, 2014.
- [8] Směrnice 1999/31/EG, o skládkách a odpadu. EU, 4, 1999.
- [9] Směrnice 2008/98/EG, o odpadech. EU, 11, 2008.
- [10] Norma ČSN EN ISO 9001:2009 Systémy managementu kvality - Požadavky. ÚNMZ, Praha, 2009.
- [11] Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky, ve znění pozdějších předpisů.
- [12] V. Štiková a J. Tabarková. Vlastivěda 4. Poznáváme naši vlast. Učebnice pro 4. ročník ZŠ. Naše Škola, Brno, 2012.

Využití dotací z Evropského fondu regionálního rozvoje pro projekty uzavírání skládek v Braniborsku

Einsatz von Finanzierungshilfen aus dem EFRE-Fond für Deponiestilllegungsmaßnahmen in Brandenburg

Ulrich Stock¹

Abstrakt

Tématem přednášky je první bilance využití prostředků z Evropského fondu regionálního rozvoje (ERDF) z programového období 2000 – 2006 a 2007 – 2013 pro uzavírání skládek v Braniborsku.

Přednáška se zabývá:

- zakotvením projektů uzavírání skládek v operačních programech spolkové země Braniborsko,
- rozvojem skládkování v Braniborsku v souvislosti s možnostmi dotací,
- rámcovými podmínkami využití prostředků z ERDF pro uzavírání skládek v Braniborsku,
- hnutím využití prostředků a realizovaných opatření,
- 4 příklady,
- souhrnné vyhodnocení využití prostředků,
- krátký výhled na dotační období 2014-2020.

Kurzfassung

Gegenstand des Vortrags ist eine Bilanzierung des Einsatzes von Mitteln aus dem Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) in den Förderperioden 2000-2006 und 2007-2013 für Deponiestilllegungsmaßnahmen in Brandenburg.

Der Vortrag beschreibt im Einzelnen:

- die Verankerung der Deponiestilllegungsmaßnahmen in den Operationellen Programmen des Landes Brandenburg,
- die Entwicklung des Deponiewesens in Brandenburg im Zusammenhang mit den Fördermöglichkeiten,
- die Rahmenbedingungen des Einsatzes von Mitteln aus dem Fond EFRE für Deponiestilllegungsmaßnahmen in Brandenburg,
- eine Zusammenfassung hinsichtlich Mitteleinsatz und durchgeführter Maßnahmen,

¹Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam OT Groß Glienicke,
Ulrich.Stock@lugv.brandenburg.de

- 4 Fallbeispiele,
- eine zusammenfassende Bewertung des Mitteleinsatzes,
- einen kurzen Ausblick auf die Förderperiode 2014-2020.

Chybí souhlas se zveřejněním příspěvku.

Zustimmung zur Veröffentlichung des Beitrages fehlt.

Planung, Bau und Betrieb von Deponien - Vergleichende Betrachtungen zu den EU-Richtlinien, den tschechischen und den deutschen Bestimmungen

Danuse Hráská¹; Uwe Bartholomäus²; Franz Sängner³; Jürgen Schoenherr⁴

Zusammenfassung

Es wird ein Vergleich ausgewählter rechtlicher und technischer Bestimmungen für den Deponiebau zwischen den EU-Richtlinien, den Vorgaben in Deutschland und Tschechien angestellt. Der methodische Umgang mit dem umfangreichen deutschen Regelwerk (Deponieverordnung, Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard [BQS], Empfehlungen zur Geotechnik der Deponien und Altlasten [GDA], Zulassungen der Bundesanstalt für Materialprüfung [BAM]) wird mit den Regeln in der Tschechischen Republik verglichen. Historische Aspekte zum „Deponieregelwerk“ in Deutschland und die Neuerungen in der tschechischen Abfallgesetzgebung werden aufgenommen.

Bisher gehört in der Tschechischen Republik die Abfalldeponierung zu den meist benutzten Verfahren für die Abfallbeseitigung. Nach EU-Gesetzgebung sind die Abfalldeponierung strikt zu senken und die Deponien zu sichern. Aber inwieweit sind dabei deutsche Regeln und Erfahrungen verständlich, notwendig und anwendbar?

1 Einleitung

Die Autoren haben sich in bilateraler Zusammenarbeit dem Problem gewidmet, wie die Bestimmungen der EU, die den Rahmen für die Abfallbewirtschaftung in beiden Staaten bilden, umgesetzt werden. Es ist der Versuch, das Thema nicht mit zwei nationalen Beiträgen nebeneinander zu stellen, sondern das Thema übergreifend darzustellen. Natürlich ist im Beitrag die Sprachbarriere nicht zu leugnen. Manches hatten sich die Autoren anfangs auch einfacher vorgestellt.

Das methodische Verständnis soll befördert werden, denn es werden keine Bestimmungen von einer Seite der Grenze auf die andere Seite dupliziert werden. Was gibt uns die Europäische Union für das Betreiben und den Umgang mit Deponien vor? Welche

¹ Ing. Danuse Hráská; ČIŽP – Tschechische Umweltinspektion in Liberec, Tr. 1. Maje 858/26, CZ-46014 Liberec; hraska_danuse@lb.cizp.cz

² Dipl.-Ing. Uwe Bartholomäus; Hochschule Zittau/Görlitz, ITN, Th.-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; u.bartholomaeus@hszg.de

³ Prof. Dr.-Ing. Franz Sängner; Hochschule Zittau/Görlitz, ITN, Th.-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau

⁴ Prof. Dr.-Ing. Jürgen I. Schoenherr; Hochschule Zittau/Görlitz, ITN, Th.-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; j.schoenherr@hszg.de

Bestimmungen müssen mindestens umgesetzt werden und wo gehen Erfahrungen und Erkenntnisse über den bisherigen Rahmen der EU hinaus. Die Europäische Union hatte Ende 2013 das 7. Umweltaktionsprogramm bis 2020 beschlossen, um Umweltstandards voranzubringen und weitere Kohärenz auf diesem Gebiet zu schaffen. Dazu ist der Beitrag Bestandsaufnahme und Anregung zugleich.

Die Situation in der Tschechischen Republik ist von Frau Hraska zusammengestellt wurden. Die Anforderungen der EU und die Umsetzung in Deutschland haben Herr Prof. Sänger und Herr Bartholomäus erarbeitet. Man kann schon an dieser Stelle feststellen, alle relevanten Dokumente der Europäischen Union (EU) liegen in beiden Sprachen vor und bilden tatsächlich eine gute Arbeitsgrundlage.

An dieser Stelle ist an Frau Lenka Volfova (Studentin der HSZG) und an Herrn Ing. Martin Besta (Liberec) für Übersetzungsarbeiten Dank zu sagen, die für das Vorhaben unabdingbar waren.

2 Wichtige Richtlinien hinsichtlich der Abfallwirtschaft und Deponien

Die wichtigsten Richtlinien und gesetzlichen Bestimmungen sowie Regelwerke werden voran gestellt.

2.1 Richtlinien der EU

- RICHTLINIE 91/689/EWG DES RATES vom 12. Dez. 1991 über gefährliche Abfälle; (Amtsbl. der EG, L 377 vom 31.12.1991); seit 12.12.2010 außer Kraft
- RICHTLINIE 1999/31/EG DES RATES vom 26. April 1999 über Abfalldeponien; (Amtsbl. der EG, L 182 vom 16.7.1999, S. 1)
- RICHTLINIE 2000/76/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen; (Amtsbl. der EG, L 332 vom 28.12.2000, S. 91)
- RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien; (Amtsbl. der EU, L 312 vom 22.11.2008, S. 3)
- RICHTLINIE 2010/75/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung - Neufassung); (Amtsbl. der EU, L 334 vom 17.12.2010, S. 17)

2.2 Aktuelle Dokumente im deutschen Abfallrecht

Das grundlegende Gesetz ist: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG); beschlossen am 24.02.2012. In Kraft getreten am 01.06.2012. Letzte Fassung vom 07.10.2013

Heute besteht als Verordnung zu diesem Gesetz: Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV); Ausfertigungsdatum: 27.04.2009; Letzte Fassung, das heißt letzte Änderung, vom 02.05.2013

Diese Verordnung hat bestimmte Anhänge, die für oberirdische Deponien zutreffen. Diese Anhänge konkretisieren bestimmte Paragraphen, die allgemein gehalten sind:

- Anhang 1: Anforderungen an den Standort, die geologische Barriere, Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien der Klasse 0, I, II und III
- Anhang 3: Zulässigkeits- und Zuordnungskriterien
- Anhang 5: Information, Dokumentation, Kontrollen, Betrieb
- Anhang 6: Besondere Anforderungen an die zeitweilige Lagerung von metallischen Quecksilberabfällen bei einer Lagerdauer von mehr als einem Jahr in Langzeitlagern. Anhang 6 wurde erst 2013 in die Deponieverordnung neu aufgenommen. Damit wurde auf die Quecksilber-Zielstellungen der EU reagiert.

Der Anhang 1 der Deponieverordnung verweist auf weitere Vorgaben, die bei der Konstruktion und zur Qualitätssicherung anzuwenden sind: Zu nennen sind hier:

Nr. 2.1.2: Bundeseinheitliche Qualitätsstandards (BQS)

Zitat:

Für die bundeseinheitlichen Eignungsbeurteilungen nach Nummer 2.1 Satz 4 sowie für den Einsatz von natürlichem, ggf. vergütetem Boden- und Gesteinsmaterial aus der Umgebung sowie von Abfällen definieren die Länder Prüfkriterien und legen Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie an das Qualitätsmanagement in bundeseinheitlichen Qualitätsstandards fest. Bundeseinheitliche Qualitätsstandards werden von den Ländern in geeigneter Form öffentlich zugänglich gemacht.

Nr. 2.4: Zulassungen der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

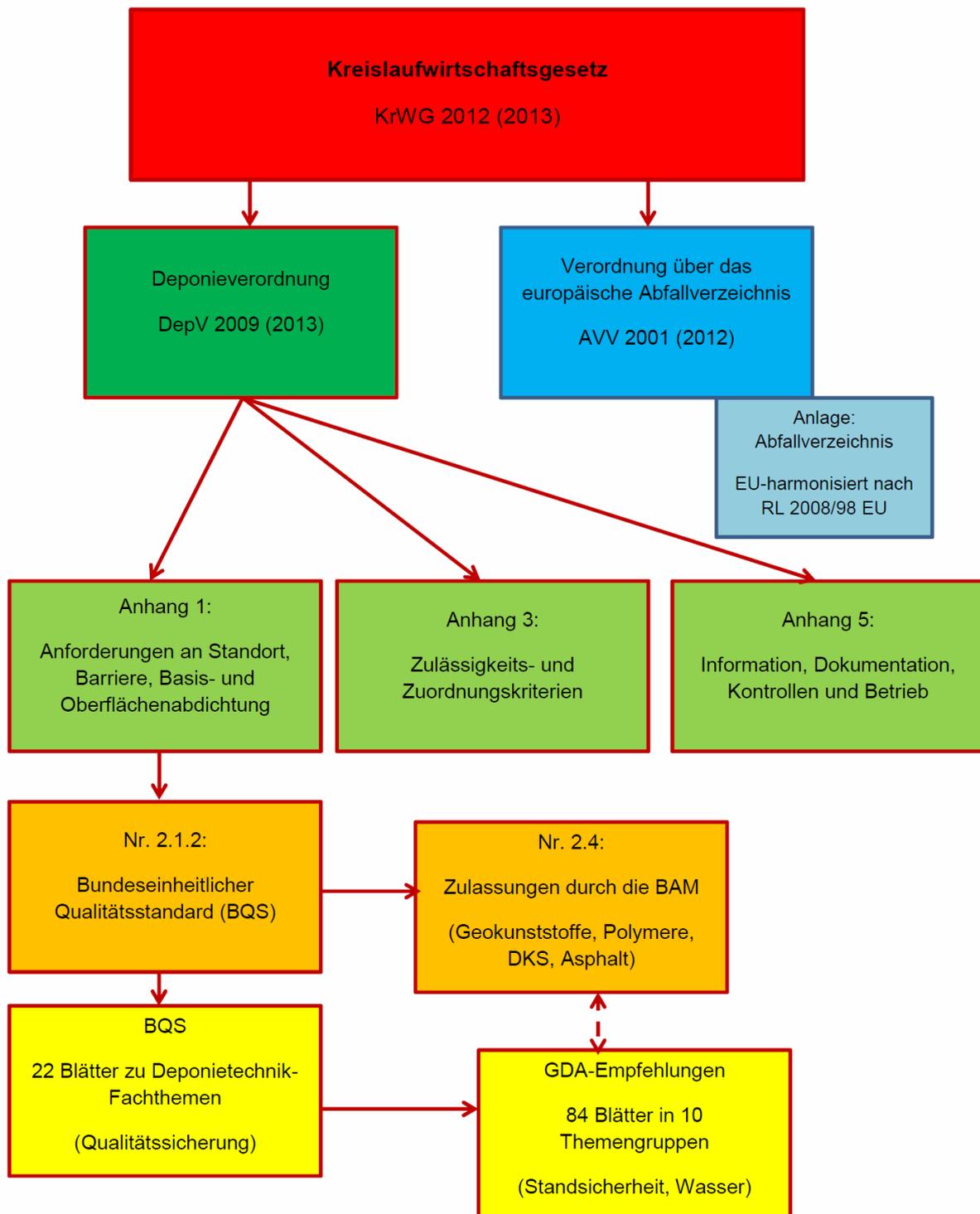
Zulassung von Geokunststoffen, Polymeren und Dichtungskontrollsystemen. Zulassungskriterien für Dichtungsschichten aus Asphalt sind in Vorbereitung.

Diese technischen Normen sind gesetzlich verankert und dienen der Durchsetzung des technischen Standes. Die Qualitätsstandards sind im Internet öffentlich zugänglich.

Nicht direkt in der DepV verankert sind die GDA-Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. Jedoch besteht häufig ein Verweis in den BQS auf die GDA-Empfehlungen. Folglich kann man sie nicht außer Acht lassen.

Abbildung 1: Struktur von Gesetzen und Bestimmungen für den Deponiebau in Deutschland

Schema zur Struktur von Gesetzen und Bestimmungen für den Deponiebau in Deutschland (Auswahl)



Im Kapitel 3 und 4 wird zu den technischen Aspekten und zum methodischen Vorgehen detailliert eingegangen.

2.3 Aktuelle Dokumente und Novellierung im tschechischen Abfallrecht

Gesetze:

Gesetz Nr. 185/2001 Slg., vom 15.05.2001, über Abfälle und Änderung einiger weiteren Gesetze. Wirksam seit 1.1.2002. 39 Novellierungen, letzte Auflage Nr. 184/2014.

Relevante Anlagen:

- Anlage Nr. 2 – Inhalt gefährlicher Eigenschaften der Abfälle (H1 – H15)
- Anlage Nr. 3 und 4 – Arten der Abfallverwertung (R1 – R13) und -entsorgung (D1 – D15)
- Anlage Nr. 6 – Gebührensatzung für Abfallablagerung auf Deponien (i.J. 2002 – 2009)
- Anlage Nr. 9 – Grenzwerte der Schadstoffkonzentrationen in geförderten Sedimenten aus Wasserbecken und Flussbetten (TK, AOX, BTEX, PAK, PCB, Mineralölkohlenwasserstoffe C10 – C40 in Trockenmasse)

Bekanntmachungen, die mit Abfallablagerung auf Deponien im Zusammenhang stehen:

Bekanntmachung Nr. 383/2001 Slg., über Einzelheiten der Handhabung von Abfällen vom 17.10. 2001 (wirksam seit 1.1.2002), 8. Auflage

mit Anlagen, z.B.

- Anlage Nr. 1 – Inhalt der Betriebsordnung und des -tagebuches der Anlage
- Anlage Nr. 2 – Abfallübernahme in die Anlage und Übergabe der Informationen von Abfalleigenschaften
- Anlage Nr. 20 – Bericht über Produktion und Behandlung von Abfällen
- Anlage Nr. 22 – Anlage für Verwertung und Beseitigung der Abfälle (Identifikationsformular des Werkes und des Betreibers)
- Anlage Nr. 23 – Identifikationsformular der Deponie und des Betreibers
- Anlage Nr. 25 – Bericht des Landesamtes und der Gemeinde mit erweitertem Zuständigkeitsbereich über erlassene Zustimmungen und andere Entscheidungen
- Anlage Nr. 26 – Registrierblatt der Beförderung von gefährlichen Abfällen auf dem Gebiet der Tschechischen Republik

Bekanntmachung Nr. 381/2001 Slg., Abfallkatalog vom 17.10.2001, wirksam seit 1.1.2002, 3. Auflage

Bekanntmachung Nr. 376/2001 Slg., über Bewertung gefährlicher Eigenschaften der Abfälle vom 17.10.2001, wirksam seit 1.1.2002, 1. Auflage

Bekanntmachung Nr. 294/2005 Slg., über Bedingungen der Abfallablagerung auf Deponien und Verwertung der Abfälle auf Erdoberfläche und über Änderung der Bekanntmachung Nr.383/2001 Slg., vom 11.7.2005, wirksam ab 26.7.2005, 3. Auflage

mit Anlagen, z. B.

- Anlage Nr. 1 – Abfallübernahme in Institutionen und Qualitätsnachweis übernommener Abfälle
- Anlage Nr. 2 – Auslaugbarkeit der Abfälle und Auslaugbarkeitsklassen
- Anlage Nr. 3 – Mischbarkeit der auf Deponien gelagerten Abfälle
- Anlage Nr. 4 – zu erfüllende Bedingungen für Abfälle, welche auf Deponien gelagert werden (z.B. Tab. Nr. 4.1. - Grenzwertkonzentration der Schadstoffe für Abfälle, die nicht auf Deponien inerter Abfälle S IO gelagert werden dürfen)
- Anlage Nr. 5 – Verzeichnis der Abfälle, die auf Deponien zu lagern und als technologisches Material auf Erdoberfläche zu verwenden verboten sind
- Anlage Nr. 6 – Arten und Verfahren der Abfallbehandlung für Ablagerung auf Deponien (z.B. D8 biologische Behandlung, D9 physikalisch – chemische Behandlung)
- Anlage Nr. 7 – Bewertung von vor der Endablagerung auf Deponien mit Stabilisierung behandelten Abfällen
- Anlage Nr. 8 – Abfallverzeichnis und Bedingungen für Abfallaufnahme auf Deponie ohne Prüfung
- Anlage Nr. 10 – Anforderungen an Schadstoffinhalt in auf der Erdoberfläche verwerteten Abfällen (z.B. Tab. Nr. 10.1. – in Trockenmasse, tab. Nr. 10.2. – Ökotoxikologie)
- Anlage Nr. 11 - Bedingungen für Abfallverwertung auf Erdoberfläche
- Anlage Nr. 12 – Technische Normen für analytische Festsetzungen

Technische Normen, die mit Abfallablagerung auf Deponien im Zusammenhang stehen:

- ČSN 838030 Abfalldeponierung – Grundbedingungen für Entwerfen und Bau von Deponien (April 2002) – Verweise auf zusammenhängende Normen, Unterlagen für Entwürfe der Deponien (geodätische, klimatische und hydrologische), Abdichtungen, Entwässerungen, Ausrüstung, Oberflächenabdichtung und Rekultivierung der Deponien und ihre Betriebsordnung
- ČSN 838032 Abfalldeponierung – Abdichtungen der Deponien (April 2002) – Verweise auf zusammenhängende Normen, Bearbeitung und Unterbaustabilisierung des Deponieabdichtungssystems, Abdichtungsmaterialien und ihr Bau im Abdichtungssystem, geforderte Eigenschaften der Abdichtungsmaterialien und der Komponenten, Prinzipien der Konstruktionsanordnung der Komponenten, Schutz des Abdichtungssystems gegen Beschädigung, Stabilität des Abdichtungssystems an Hängen, Prinzipien der Verlegung der Dichtungen, Qualitäts- und Ganzheitskontrolle und Systemkontrolle im Betrieb.

- ČSN 838033 Abfalldeponierung – Behandlung des Sickerwassers aus den Deponien (April 2002) – Verweis auf Normen, Sickerwasserbehandlungssysteme, Kapazitäten, Materialien – Flächendräne, Röhrendräne, Becken für Sickerwasser, Anordnung des Dränagesystems, Stabilität, Qualitätskontrolle und Liquidation des Sickerwassers
- ČSN 838034 Abfalldeponierung – Entgasung der Deponien (Dezember 2000) – Normen, Entgasungssystem der Deponien, technische Lösungen, Qualitätskontrolle des Deponiegases, Anforderungen an Deponiebau
- ČSN 838035 Abfalldeponierung – Stilllegung und Rekultivierung der Deponien (März 1998) – Normen, Stilllegungsschichten, Entwässerung der Oberfläche, Rekultivierungsschichten, Endbearbeitungen und Betrieb einer abgedichteten Deponie, Anlage A bis D - Beispiele
- ČSN 838036 Abfalldeponierung – Deponieüberwachung (März 2002) – Normen, Programm der Kontrolle und der Deponieüberwachung, Qualität und Menge vom Oberflächenwasser, Deponiegas und Sickerwasser, Angaben über Deponiekörper, Genauigkeit der Messung und Evidenz.
- TNO 838039 Abfalldeponierung, Deponiebetriebsordnung – technische Zweignorm

ČSN = české technické normy = tschechische technische Norm. Die originale Abkürzung wurde belassen.

3 Deponieklassen

3.1 Übersicht

Abbildung 2: Übersicht der Deponieklassen bei EU, in Deutschland und in der Tschechischen Republik

EU	Deutschland	Tschechische Republik
Deponie für Inert-abfälle	DK 0	Gruppe S-IO: inerte Abfälle
Deponie für nicht gefährliche Abfälle	DK I	Gruppe S-OO1: sonstige Abfälle, geringer organischer Anteil
	DK II	Gruppe S-OO3: sonstige Abfälle, höherer organischer Anteil
Deponie für gefährliche Abfälle	DK III	Gruppe S-NO: gefährliche Abfälle
Untertagedeponie, wie in Salzbergwerken	DK IV	
RICHTLINIE 1999/31/EG Art. 4 und Anhang 1	DepV(2013) §2 als Begriffsbestimmung, Anhang 3	Verordnung Nr. 294/2005 und 383/2001

Die Deponieklassen bestimmen sowohl die Abfälle, die abgelagert werden dürfen, als auch die Bauweise der gesamten Deponie. Unter dem Sicherheitsaspekt bedingt sich das gegenseitig.

3.2 Definition der Deponieklassen nach EU

Ganz bewußt werden hier deutsche und tschechische Zitate nebeneinander gesetzt.

Anfangs ist die Einteilung ein einfaches Verfahren. Gemäß Richtlinie 1999/31/EU mit Art. 4, die in deutscher und tschechischer Fassung besteht (Tschechisch: Směrnice Rady 1999/31/ES ze dne 26.04.1999 o skládkách odpadů).

<p>Artikel 4</p> <p>Deponieklassen</p> <p>Jede Deponie wird einer der folgenden Klassen zugeordnet:</p> <ul style="list-style-type: none">— Deponien für gefährliche Abfälle,— Deponien für nicht gefährliche Abfälle,— Deponien für Inertabfälle.

Eine verbale Untersetzung, immer bezogen auf die Umweltwirkung, erfolgt im Anhang 1 dieser Richtlinie. Dazu siehe auch Anforderungen an Bau und Betrieb. Die Angabe von Kennwerten ist eine Ausnahme, z.B. bei der Durchlässigkeit.

Zwei entscheidende Begriffe sind zu klären: Inertabfälle und gefährliche Abfälle.

Inertabfälle sind einfach definiert, weil in dieser Richtlinie im Art. 2 Buchst. e) eine Begriffsbestimmung gegeben wird.

Tschechische Version:

e) „inertními odpady“ rozumějí odpady, které nepodléhají žádným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám. Inertní odpady se nerozkládají, nehoří a nejsou fyzikálně ani chemicky reaktivní, nejsou biologicky rozložitelné a nenarušují jiné látky, se kterými jsou ve styku, způsobem schopným vyvolat znečištění životního prostředí nebo poškodit lidské zdraví. Celkové množství vznikajících průsakových vod a obsah znečišťujících látek v odpadech stejně jako ekotoxicita průsakových vod musejí být zanedbatelné, zejména pak nesmějí poškozovat jakost povrchových nebo podzemních vod)

Inhaltsgleiche deutsche Version:

e) „Inertabfälle“ Abfälle, die keinen wesentlichen physikalischen, chemischen oder biologischen Veränderungen unterliegen. Inertabfälle lösen sich nicht auf, brennen nicht und reagieren nicht in anderer Weise physikalisch oder chemisch, sie bauen sich nicht biologisch ab und beeinträchtigen nicht andere Materialien, mit denen sie in

Kontakt kommen, in einer Weise, die zu Umweltverschmutzung führen oder sich negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken könnte.

Die gesamte Auslaugbarkeit und der Schadstoffgehalt der Abfälle und die Ökotoxizität des Sickerwassers müssen unerheblich sein und dürfen insbesondere nicht die Qualität von Oberflächenwasser und/oder Grundwasser gefährden.

Gefährliche Abfälle werden unter Art. 2 Buchst. c) mit einem Verweis auf die Richtlinie 91/689/EWG vom 12.12.1991 mit Änderung von 1994, Art. 1 Abs. 4 bestimmt.

Eine tschechische Fassung dieser Richtlinie existiert, obwohl die Tschechische Republik 1991 noch nicht Mitglied der EU bzw. damals der EWG gewesen ist. Hier ist Arbeit im Sinne eines Nachhole-Effektes durch die EU geleistet wurden.

Odst 2 písm.c) „nebezpečnými odpady“ rozumějí veškeré odpady, na které se vztahuje čl. 1 odst. 4 směrnice Rady 91/689/EHS ze dne 12. prosince 1991 o nebezpečných odpadech

čl. 1 odst 4.) Pro účely této směrnice se „nebezpečnými odpady“ rozumí: - odpady uvedené v seznamu, který bude vypracován podle postupu uvedeného v článku 18 směrnice 75/442/EHS a na základě příloh I a II této směrnice nejpozději do šesti měsíců před dnem provedení této směrnice. Tyto odpady musí mít jednu nebo více vlastností uvedených v příloze III. Seznam bere zřetel na původ a složení odpadů a popřípadě mezní hodnoty koncentrací. Tento seznam bude pravidelně přezkoumán a v případě nutnosti stejným postupem upraven, - jiný odpad, který podle názoru některého členského státu má některou z vlastností uvedených v příloze III. Tyto případy budou zaznamenány Komisí a přezkoumány postupem podle článku 18 směrnice 75/442/EHS v souvislosti s úpravou seznamu.

Inhaltsgleiche deutsche Version:

(4) Im Sinne dieser Richtlinie sind "gefährliche Abfälle": - Abfälle, die in einem auf den Anhängen I und II der vorliegenden Richtlinie beruhenden Verzeichnis aufgeführt sind, das spätestens sechs Monate vor dem Beginn der Anwendung dieser Richtlinie nach dem Verfahren des Artikels 18 der Richtlinie 75/442/EWG zu erstellen ist. Diese Abfälle müssen eine oder mehrere der in Anhang III aufgeführten Eigenschaften aufweisen. In diesem Verzeichnis wird dem Ursprung und der Zusammensetzung der Abfälle und gegebenenfalls den Konzentrationsgrenzwerten Rechnung getragen. Das Verzeichnis wird in regelmäßigen Abständen überprüft und gegebenenfalls nach dem genannten Verfahren überarbeitet; - sämtliche sonstigen Abfälle, die nach Auffassung eines Mitgliedstaates eine der in Anhang III aufgezählten Eigenschaften aufweisen. Diese Fälle werden der Kommission mitgeteilt und nach dem Verfahren des Artikels 18 der Richtlinie 75/442/EWG im Hinblick auf eine Anpassung des Verzeichnisses überprüft.

Oben ist der Text von 1991 wiedergegeben. Zwischenzeitlich ist diese Richtlinie durch RL 2008/98/EG über Abfälle („Abfallrahmenrichtlinie“) spätestens mit Wirkung vom 12.12.2010 aufgehoben wurden. Der alte Anhang III wurde leicht ergänzt als Anhang III der neuen Richtlinie übernommen.

Damit besteht für die Einstufung gefährlicher Abfälle und der entsprechenden Deponien das folgende aktuelle Bild unter Einbeziehung der RL 2008/98 Art. 3 Nr. 2:

„gefährlicher Abfall“ Abfall, der eine oder mehrere der in Anhang III aufgeführten gefährlichen Eigenschaften aufweist.

In der tschechischen Legislative wurde die Definition der gefährlichen Abfälle im Einklang mit zitierter Richtlinie EU 2008/98 mit der Änderung des Gesetzes Nr. 185/2001 Slg., über Abfälle, mit Gesetz Nr. 154/2010 vom 21.4.2010 (§ 4 Abs.1 Buchst. a) und Anhang Nr. 2 des Abfallgesetzes überarbeitet.

Anhang III ist eine Sammlung von Beurteilungskriterien mit dem Titel „Gefahrenrelevante Eigenschaften der Abfälle“. Aus Platzgründen werden hier nur die Gruppenbezeichnungen ohne detaillierte Definition genannt.

In Tschechien zu finden im Anhang Nr. 2 des Gesetzes Nr. 185/2001 Slg. über Abfälle.

GEFAHRENRELEVANTE EIGENSCHAFTEN DER ABFÄLLE

- H 1 „explosiv“;
- H 2 „brandfördernd“;
- H 3-A „leicht entzündbar“;
- H 3-B „entzündbar“;
- H 4 „reizend“;
- H 5 „gesundheitsschädlich“;
- H 6 „giftig“;
- H 7 „krebserzeugend“;
- H 8 „ätzend“;
- H 9 „infektiös“;
- H 10 „fortpflanzungsgefährdend (reproduktionstoxisch)“;
- H 11 „mutagen“;
- H 12 Abfälle, die bei der Berührung mit Wasser, Luft oder einer Säure ein giftiges oder sehr giftiges Gas abscheiden;
- H 13 (*) „sensibilisierend“;
- H 14 „ökotoxisch“;
- H 15 Abfälle, die nach der Beseitigung auf irgendeine Weise die Entstehung eines anderen Stoffes bewirken können, z.B. ein Auslaugungsprodukt, das eine der oben genannten Eigenschaften aufweist.

Diese obigen Kriterien sind anwendungsbereit im Abfallverzeichnis hinsichtlich der Einstufung für gefährliche Abfälle umgesetzt. (AbfallverzeichnisV vom 10.12.2001 i.F. vom 24.02.2012 für Deutschland).

3.3 Definition der Deponieklassen in Deutschland

3.3.1 Übersicht

Abbildung 3: Zuordnung der Deponieklassen in Deutschland

Abfall-Ablagerungs-Aspekt		Deponie klasse	Deponiebau-Aspekt	
aktuell	Vorläufer		aktuell	Vorläufer
DepV 2009 (gültige Version 2013)	KrW-/AbfG, Version 2005 und Änderung 2007, (außer Kraft 01.06.2012) TASi von 1993 TA Abfall von 1991 (Außer Kraft 16.07.2009)	Grund- lagen	DepV 2009 (gültige Version 2013)	TA Siedlungsabfall = TASi [1993] TA Abfall [1991] Außer Kraft 16.07.2009
Zuordnungswerte in Anhang 3, Tabelle 2, Spalte 5.	Inerte Abfälle: bis 2005 nicht beschrieben. Ab 2007 definiert.	DK 0	Zulässigkeitskriteri- um in Anh. 3, Tab. 1, Sp. 3 i.V. mit Zu- ordnungswerten in An. 3, Tab. 2, Sp. 5. Bauanforderungen in Anhang 1	(Nicht beschrieben)
Zuordnungswerte in Anhang 3, Tabelle 2, Spalte 6.	Nicht überwachungsbe- dürftige Abfälle (z.B. Bauschutt, Böden) bis 2005. Nicht gefährliche Abfälle ab 2007.	DK I	Zulässigkeitskriteri- um in Anh. 3, Tab. 1, Sp. 4 i.V. mit Zuordnungswerten in Anh. 3, Tab. 2, Sp. 6 Bauanforderungen in Anhang 1	DK I: Abfälle mit geringer Organik und Auslaugung [TASi]
Zuordnungswerte in Anhang 3, Tabelle 2, Spalte 7.	Überwachungsbedürf- tige Abfälle bis 2005. Ab 2007 nicht gefährliche Abfälle.	DK II	Zulässigkeitskriteri- um in Anh. 3, Tab. 1, Sp. 5 i.V. mit Zuordnungswerten in Anh. 3, Tab. 2, Sp. 7. Bauanforderungen in Anhang 1	DK II: höherer Anteil an Organik und Auslaugung. Höhere Anforderungen an Bauweise. [TASi]
Zuordnungswerte in Anhang 3, Tabelle 2, Spalte 8.	Besonders überwachungsbedürfti- ge Abfälle bis 2005. Ab 2007 gefährliche Abfälle.	DK III	Zulässigkeitskriteri- um in Anh. 3, Tab. 1, Sp. 6 i.V. mit Zuordnungswerten in Anh. 3, Tab. 2, Sp. 8 Bauanforderungen in Anhang 1	Sonderabfalldeponie: besonders überwachungsbedürftige (heute: gefährliche) Abfälle [TA Abfall]
Gefährl. Abfälle (unter Tage, wie in Salzbergwerken)	Gefährl. Abfälle (unter Tage, wie in Salzbergwerken)	DK IV	Bauanforderungen in Anhang 2. Keine Schadstoffangaben	Untertagedeponie, nur in Salzgestein [TA Abfall]
(Monoeigenschaf- ten von Abfällen in Anh. 3 zu Tab. 2 relevant)	Abfälle ähnlich und untereinander verträglich		Monodeponie. DK0 bis IV möglich. Bauanforderungen Anhang 1 Pkt. 3	Monodeponie

Erläuterungen:

- Seit 1991 bzw. 1993 existierten die Technischen Anleitungen für Abfälle, genau formuliert Sonderabfälle (TA Abfall) und Siedlungsabfälle (TA Siedlungsabfall = TAsi). Sie waren Verordnungen zum damaligen Kreislaufwirtschafts- und Abfall-Gesetz (KrW-/AbfG). Es ging um den Umgang mit Abfällen und den Bau von Deponien.
- Deutlich wurden Abfälle und entsprechende Deponien in zwei Regelwerken (Sonderabfall und Siedlungsabfall) getrennt, jedoch mit gegenseitigem Bezug.
- Ab 2009 wurden beide Gruppen in einem gemeinsamen Regelwerk zusammengefasst, der Deponieverordnung (DepV). Auf eine seit 2005 vorlaufende und schrittweise entwickelte erste Deponieverordnung wird hier nicht eingegangen. Die 2009er Verordnung war anfangs eine Verordnung des alten KrW-/AbfG, ab 2012 eine Verordnung des Kreislaufwirtschafts-Gesetzes (KrWG) von 2012.
- Für vor bestimmten Terminen („Stichtagsregelungen“) erteilte Genehmigungen, manchmal auch davor gestellte Anträge gelten vorherige Bestimmungen („Bestandsschutz“). Es sind im praktischen Anwendungsfall nicht automatisch alte Gesetze, Verordnungen oder deren Versionen außer Kraft.
- Spätestens mit 2009 verschwanden die Begrifflichkeiten für Deponieklassen und partiell auch für Abfalleinteilungen. Sie wurden durch chemische, physikalische und technische Kriterien ersetzt. Das ist eine Folge und ein Kompromiss, weil das seit 1990 entwickelte deutsche System den später entstandenen EU-Regelungen angepasst werden musste. Jedoch war das vorherige System differenzierter im Verfahren und wurde teilweise bis jetzt in der Wirkung beibehalten.
- Alten Ursprungs waren die Einteilung in „nicht überwachungsbedürftige Abfälle“, „überwachungsbedürftige Abfälle“, „besonders überwachungsbedürftige Abfälle“ und „besonders überwachungsbedürftige Abfälle zur Verwertung“, die dann dem EU-System mit „inerten“, „nicht gefährlichen“ und „gefährlichen“ Abfällen angepasst werden mussten. Manches wurde dabei gröber, manches auch sinnvoll vereinfacht, wie der Streit um die Verwertung / scheinbare Verwertung.
- Die Grenzziehung zwischen nicht überwachungsbedürftige und überwachungsbedürftige Abfälle als nicht gefährliche Abfälle wurde zum Problem.
- Positiv, die an der Überwachung, also an einem Verwaltungsakt orientierte Einteilung wurde durch Materialeigenschaften ersetzt. Negativ, für die Menschen ist der begriffliche Umgang schwer.

Diese ausführliche Darstellung erfolgt auch, weil scheinbar in Tschechien manches vom alten deutschen System übernommen wurde, und in der Gegenwart nicht mehr den Bezug zur ursprünglichen Herkunft findet.

3.3.2 Zuordnungsverfahren nach gegenwärtigen Stand

Verfahren der Zuordnung seit der Deponieverordnung 2009:

- In D wird nur noch über chemische und physikalische Kennwerte (Zuordnungswerte) die Deponieklasse bestimmt und mit einer Zahl benannt, nicht über Begrifflichkeiten. Deponieersatzbaustoffe werden über Tabelle 1 im Anhang 3 zu den Zuordnungswerten der Tabelle 2 geführt, um festzustellen, ob der Einsatz zulässig ist.
- Die Unterteilung nach der EU-Richtlinie findet sich begrifflich gar nicht wieder. Erst die Untersetzung mit dem Zahlenwerk der Zulässigkeits- und Zuordnungskriterien vollzieht die EU-Richtlinie.
- Zur Veranschaulichung, Allgemeinverständlichkeit gibt es vereinzelt Hilfstexte (z.B. Gewerbeaufsichtsamt Niedersachsen, Regierungspräsidium Darmstadt, Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg). Woher soll ein „Neuling“ wissen, dass eine kommunale Siedlungsabfalldeponie im ersten Ansatz eine Deponieklasse II ist?

Beispiel der heutigen deutschen Methodik für eine „normale“ Siedlungsabfalldeponie:

Begriffsbestimmungen in DepV (§ 2 Nr. 8): Deponie der Klasse II (Deponieklasse II, DK II):

Oberirdische Deponie für Abfälle, die die Zuordnungskriterien nach Anhang 3 Nummer 2 für die Deponieklasse II einhalten.

Ausschnitt der an dieser Stelle anzuwendenden Tabelle 2 im Anhang 3, Spalte 7 (= DK II). Die angegebenen Werte sind einzuhalten.

Abbildung 4: Auszug aus der Tabelle 2 im Anhang 3 DepV Deutschland

1 Nr.	2 Parameter	3 Maß- einheit	4 Geo- logische Barriere	5 DK 0	6 DK I	7 DK II	8 DK III	9 ¹⁾ Rekulti- vierungs- schicht
1	organischer Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz²⁾							
1.01	bestimmt als Glühverlust	Masse%	≤ 3	≤ 3	≤ 3 ³⁾⁴⁾⁵⁾	≤ 5 ³⁾⁴⁾⁵⁾	≤ 10 ⁴⁾⁵⁾	
1.02	bestimmt als TOC	Masse%	≤ 1	≤ 1	≤ 1 ³⁾⁴⁾⁵⁾	≤ 3 ³⁾⁴⁾⁵⁾	≤ 6 ⁴⁾⁵⁾	
2	Feststoffkriterien							
2.01	Summe BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o-, m-, p-Xylol, Styrol, Cumol)	mg/kg TM	≤ 1	≤ 6				
2.02	PCB (Summe der 7 PCB-Kongenere, PCB-28, -52, -101, -118, -138, -153, -180)	mg/kg TM	≤ 0,02	≤ 1				≤ 0,1
2.03	Mineralölkohlenwasserstoffe (C 10 bis C 40)	mg/kg TM	≤ 100	≤ 500				
2.04	Summe PAK nach EPA	mg/kg TM	≤ 1	≤ 30				≤ 5 ⁶⁾
2.05	Benzo(a)pyren	mg/kg TM						≤ 0,6
2.06	Säureneutralisationskapazität	mmol/kg			muss bei gefährlichen Abfällen ermittelt werden ⁷⁾	muss bei gefährlichen Abfällen ermittelt werden ⁷⁾	muss ermittelt werden	

3	Eluatkriterien							
3.01	pH-Wert ⁸⁾		6,5-9	5,5-13	5,5-13	5,5-13	4-13	6,5-9
3.02	DOC ⁹⁾	mg/l		≤ 50	≤ 50 ³⁾ ¹⁰⁾	≤ 80 ³⁾ ¹⁰⁾ ¹¹⁾	≤ 100	
3.03	Phenole	mg/l	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 50	≤ 100	
3.04	Arsen	mg/l	≤ 0,01	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 2,5	≤ 0,01
3.05	Blei	mg/l	≤ 0,02	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 1	≤ 5	≤ 0,04
3.06	Cadmium	mg/l	≤ 0,002	≤ 0,004	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 0,002
3.07	Kupfer	mg/l	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 1	≤ 5	≤ 10	≤ 0,05
3.08	Nickel	mg/l	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,2	≤ 1	≤ 4	≤ 0,05

Alle Hochzahlen sind Anmerkungen und Ausnahmen. Zum Beispiel:

- 1) In Gebieten mit naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden ist eine Verwendung von Bodenmaterial aus diesen Gebieten zulässig, welches die Hintergrundgehalte des Gebietes nicht überschreitet, sofern die Funktion der Rekultivierungsschicht nicht beeinträchtigt wird.

Transparent und verständlich, besonders auch im Sinne des 7. Umweltaktionsprogramms der EU ist dieses Verfahren nicht. Das wird durch die vielen Anmerkungen und Ausnahmen verstärkt. Diese haben sich aus realen Fällen ergeben, um diese Fälle auch sinnvoll umsetzen zu können.

3.4 Definition der Deponieklassen in der Tschechischen Republik

In Tschechien werden die Deponien betrieben, die sich laut der technischen Sicherstellung in folgende Gruppe teilen:

- Gruppe S IO - Inertabfall (Auslaugbarkeitsklasse I und Tab. 4.1. der Bekanntmachung Nr. 294/2005 Slg.)
- Gruppe S OO – anderer Abfall, diese Gruppe gliedert sich weiter in Untergruppen:
- S-OO1: Deponien oder Deponiesektoren bestimmt für Ablagerung der Abfälle mit niedrigem Gehalt an biologisch abbaubaren Stoffen, wenn der TOC – Anzeiger (des gesamten organischen Kohlenstoffs) nicht größer als 5 % ist und der DOC – Anzeiger kleiner oder gleich dem Wert 80 mg/l ist sowie für Lagerung der Asbestabfälle, die in vorbehandelten Sektoren bei besonderen Bedingungen (z.B. momentane Überdeckung) gelagert werden. Auslaugbarkeitsklasse II a.
- S-OO3: Deponien oder Deponiesektoren, die für Lagerung der Abfälle mit wesentlichem Gehalt an organischen biologisch abbaubaren Stoffen bestimmt sind. In diese Unterklasse dürfen keine Abfälle auf einer Gipsbasis gelagert werden. Auslaugbarkeitsklasse II a; oder aufgrund des Eluats nicht bewertbar.
- Klasse S NO –gefährliche Abfälle, Auslaugbarkeitsklasse III

Bei der Abgabe der Abfälle in Abfallbeseitigungsanlagen ist es nötig sogenannte „Abfallbasisbriefe“, im Sinne des Entsorgungsnachweises (deutschen Nachweisverordnung), nachzuweisen (im Falle einer Deponie laut der Anlage I der Bek.Nr.294/2005 Slg.).

Die bei der Oberflächenabdichtung einer Deponie verwendeten Abfälle (Absperrdichtungsschichten) müssen den Grenzwerten der Schadstoffkonzentrationen gemäß Tab. Nr. 4.1 und gem. Auslaugklasse II b entsprechen.

Für die Aufnahme des Abfalls auf eine Deponie ist die Kategorie des Abfalls (sonstiger oder gefährlicher) entscheidend. Das wird bestimmt am Eluat, an der Auslaugbarkeit des Abfalls (Auslaugbarkeitsklasse gem. Bek. Nr. 294/2005 Slg., Anhang Nr.2)

Abbildung 5: Klassen der Auslaugbarkeit (Tab. 2.1) in der Tschechischen Republik

Indikator	I	IIa	IIb	III
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
DOC (gelöster organischer Kohlenstoff)	50	80	80	100
Phenolindex	0,1			
Chloride	80	1500	1500	2500
Fluoride	1	30	15	50
Sulfate	100	3000	2000	5000
As	0,05	2,5	0,2	2,5
Ba	2	30	10	30
Cd	0,004	0,5	0,1	0,5
Cr (gesamt)	0,05	7	1	7
Cu	0,2	10	5	10
Hg	0,001	0,2	0,02	0,2
Ni	0,04	4	1	4
Pb	0,05	5	1	5
Sb	0,006	0,5	0,07	0,5
Se	0,01	0,7	0,05	0,7
Zn	0,4	20	5	20
Mo	0,05	3	1	3
Gelöste Stoffe	400	8000	6000	10.000
pH		>= 6	>= 6	

Im Fall einer Deponie des Inertabfalls gelten folgende Grenzwerte der Schadstoffe in der Trockenmasse. (Tab. 4.1. der Bekanntmachung Nr. 294)

Abbildung 6: Inertabfall-Deponie – Grenzwert der Schadstoffe in Trockenmasse (TM) in der Tschechischen Republik

Indikator	Maßeinheit	Grenzwert
BTEX	mg/kg TM	6
Uhlovodíky C10 - C40	mg/kg TM	500
PAK	mg/kg TM	80
PCB	mg/kg TM	1
TOC	mg/kg TM	30.000 (3 %)

4 Deponie als technisches Bauwerk

In Deutschland hat man um den Begriff „technisches Bauwerk“ und das Verständnis, dass eine Deponie ein technisches Bauwerk ähnlich wie eine Brücke ist, lange gerungen. Deswegen wird heute im Deutschen auch das Wort „Deponie“ für diese Anlage verwendet. Es ist nicht eine einfache Ablagerung oder Müllgrube.

Die sachgemäße Übertragung von Deponie (deutsch) in „skladek“ (tschechisch; auf deutsch: Ablagerung, Lager) ist im wörtlichen Sinne nicht identisch. Noch bleibt unklar, ob sich dahinter auch ein voneinander abweichendes Verständnis verbirgt.

Der nachfolgende Abschnitt soll verdeutlichen, dass man die Deponie als technisches Bauwerk begreifen muss. Eine Deponie ist keine Anhäufung von Abfall. Sie ist kein Abfallberg, der nach außen schön gemacht wird.

Im Abschnitt 4.5 wird deutlich, dass sich auch in Tschechien die Auffassung vom technischen Bauwerk durchsetzt.

4.1 Multibarrieren-Prinzip im Deponiebau

Zur Sicherung der Deponie und zur Verhinderung von Kontaminationsfällen wird das Multibarrieren-Prinzip angewendet. Obwohl es nicht explizit genannt wird, steckt es hinter vielen Regeln und Kriterien.

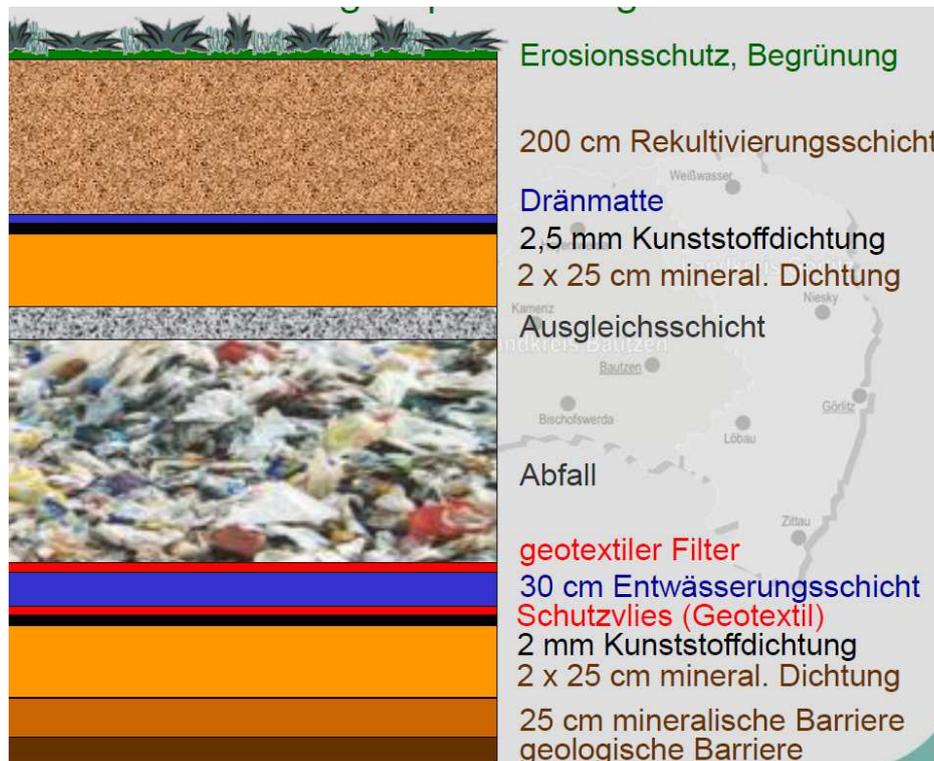
Bestandteile des Multibarrieren-Prinzips von unten nach oben:

- Geologischer Untergrund / Geologische Barriere: dicht, Verhältnis zu Grundwasser und anderen Gewässern
- Basisabdichtung: zur Verbesserung des geologischen Untergrundes, Sickerwasserfassung mit Reinigungssystem
- Abfallkörper selbst: als Schadstoffquelle und Barriere zugleich, Deponiegasquelle
- Oberflächenabdichtung: Das ist mehr als eine Abdeckung. Drainage, dicht gegenüber Deponiegasen und Niederschlagswasser, Gasfassung, Rekultivierungsschicht als Übergang zur obersten Barriere

- Nachnutzung und Bewuchs als Barriere: ideal ist Verdunstung als Barriere mittels Wasserhaushaltsschicht, Versiegelung mit Wasserfassung

Zur Veranschaulichung wird der reale Schichtenaufbau der Hausmülldeponie Radgendorf bei Zittau dargestellt (1991 bis 1993 Bau der Basisabdichtung, 1993 bis 2003 Ablagerungsphase mit etwa 500.000 m³ Hausmüll, 2007 bis 2009 Deponieabschluss, ab 2010 in Nachsorge).

Abbildung 7: Schichten- und Barrierenaufbau der Hausmülldeponie Radgendorf (nach RAVON 2010)



Diese konstruktive Gestaltung wird in den EU-Richtlinien nicht deutlich, leider sogar aufgeweicht. Im Gesamteindruck vermitteln die EU-Richtlinien die Ansicht, dass eine planmäßige Müllablagerung einen dichten Untergrund benötigt, aber die obere Barriere nicht so wichtig ist.

Beispiel: Gemäß EU-Richtlinie 1999/31/EG kann über eine Oberflächenabdichtung abgewogen werden. Die Behörde kann sie vorschreiben, wenn Sickerwassergefahr besteht. In Deutschland ist gegenteilig festgelegt, so zu sagen ein Herangehen von der anderen Seite. Die Oberflächenabdichtung muss errichtet werden. Die Behörde kann vereinfachende Ausnahmen zulassen, wenn keine Gefahr besteht.

In den folgenden Abschnitten werden die Basisabdichtung und die Oberflächenabdichtung als Bestandteil der Multibarriere herausgegriffen. Eine etwas andere Systematik bei EU gegenüber Deutschland erschwert die Gliederung. Die Verfasser trennen im Folgenden eindeutig in Basisabdichtung und Oberflächenabdichtung.

4.2 Grundlegende Anforderungen an Standort und Basisabdichtung

Abbildung 8: Anforderungen an Standort und Basisabdichtung bei der EU, in Deutschland und in der Tschechischen Republik

EU	Deutschland	Tschechische Republik
Gesetzliche Grundlagen		
Richtlinie 1999/31/EG, besonders Anhang 1	DepV(2013), Anhang 1	ČSN 838030 und zusammenhängende Normen der Reihe ČSN 8380..
Standort, Zu beachtende Faktoren:	Standort (DepV, Anh. 1, Nr. 1.1)	Standorte und Kriterien für Deponiebau (ČSN 838030 fest)
Entfernung zu Wohngebieten. Nutzungsflächen, Gewässer. Geologie, Hydrogeologie (Kein Mindestabstand zum Grundwasser-spiegel!) Überflutung, Bodensenkung, Erdbeben. Naturerbe, Kulturerbe. Keine Gefährdungen, Emissionen, Ungeziefer und Brände	Schutzabstand zu sensiblen Gebieten und Schutzgebieten Geologische und hydrologische Bedingungen. Abstand der Oberkante der geolog. Barriere zum höchsten Grundwasserspiegel mindestens 1 m. Gefahr von Erdbeben, Überschwemmungen, Bodensenkungen u.a. Sickerwasser im freien Gefälle ableitbar.	z.B. Ingenieur-ökologische Verhältnisse der Lokalität und der Umgebung Hydrogeologische charakt. Standorte Qualität des Untergrund- und Oberflächenwassers (Schutz-zonen der Gewässer) Anthropogene Belastung und Beziehung zu Bauwerken und Ingenieurwerken in der Umgebung Klimatische und hydrologische Angaben
Schutz von Boden und Wasser	Untergrund und Abdichtungssysteme (DepV, Anh. 1, Nr. 1.2 und Nr. 2)	ČSN 838030, ČSN 838032, ČSN 838033, ČSN 838035, ČSN 838036
Geologische Barriere mit Basisabdichtung während aktiver Deponiephase. Geologische Barriere mit Oberflächenabdichtung nach Stilllegung.	Geologische Barriere: keine Schadstoffausbreitung Technische Maßnahmen als Ersatz für geologische Barriere möglich Zusätzlich Abdichtungssysteme an Basis meist erforderlich Stand der Technik ist mit BQS und BAM-Zulassung vorgegeben	Entsprechende Maßnahmen für einzelne Deponiearten gem. o.g. Normen
Mächtigkeit und Durchlässigkeit für Deponiesohle und Böschung	Untergrund und Basis-Abdichtungssysteme (DepV, Anh. 1, Nr. 1.2 und Nr. 2)	Filtrationskoeffizient und Mächtigkeit der einzelnen Schichten laut der Deponieart (ČSN 838030)
eine mineral. Schicht mit Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> gefährliche Abfälle: $K < 10^{-9} \text{ m/s}$; $d > 5 \text{ m}$ nicht gef. Abfälle: $K < 10^{-9} \text{ m/s}$; $d > 1 \text{ m}$ 	Mindestanforderungen an Durchlässigkeit und Schichtdicke orientiert an EU-Kriterien (siehe Tab. 1) Zahl der Abdichtungskomponenten für Basisabdichtung (siehe Tab. 1 = Abb. 9)	Für S-NO (gefährl. Abfälle): Min. 2 Barrieren – geologisch – Untergrund Mächtigkeit min. 5m und $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ Für S-OO (sonstige): 2 Barrieren, Untergrund: $d \geq 1 \text{ m}$ und $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$

EU	Deutschland	Tschechische Republik
<ul style="list-style-type: none"> Inertabf.: $K < 10^{-7} \text{ m/s}$; $d > 1 \text{ m}$ Künstl. Barriere: mit gleichen Effekt und $d > 0,5 \text{ m}$ 	<p>Kunststoffdichtungsbahnen mindestens 2,5 mm dick</p> <p>Asphaltschichten werden zugelassen (derzeit sind neue Bestimmungen in der Erarbeitung)</p> <p>Technische Lebensdauer ist mit Stand der Technik gekoppelt: Nachweis der Funktionserfüllung des Gesamtsystems mindestens 100 Jahre</p>	<p>Für S-IO (inerte Abf.):</p> <p>Fordert keine technische Barriere, Untergrunddicke min. 1m und $k \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ (im Falle der Nichterfüllung dieses Kriteriums ist es möglich eine Schicht Bodendichtung um d. min. 0,5m und mit $k \leq 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ einzufügen)</p>
Drainageschicht, allgemein	Entwässerungsschicht der Basisabdichtung	Entwässerung des Deponie – Dränagesystems (ČSN 838030)
<p>Sickerwasser an Deponiesohle bei gefährlichen und nicht gefährl. Abfällen sammeln.</p> <p>Künstl. Abdichtungs-schicht erforderlich.</p> <p>Drainageschicht $> 0,5 \text{ m}$ erforderlich.</p> <p>Methode der Durchlässigkeitbestimmung durch Ausschuss gem. Art.17.</p>	<p>Mindestanforderungen an Durchlässigkeit und Schichtdicke orientiert an EU-Kriterien.</p> <p>BQS 3-1, BQS 3-2 und GDA E 2-14: $k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$; Kies 16/32 mm.</p> <p>Schichtdicke (siehe Tab. 1 = Abb. 9)</p>	<p>Deponien S-IO: Drainagekomponente $d \geq 0,3 \text{ m}$ mit Filterkoeffizient $k \geq 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$</p> <p>Deponien S-OO und S-NO : Drainage $d = 0,5 \text{ m}$ (bei $d = 0,3 \text{ m}$ muss dies mit Sammelleitungsdränen ergänzt werden), $k \geq 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$</p> <p>Anforderungen an Entwurf und Entwässerungsausbau der Deponien legt ČSN 838033 fest</p>
Standsicherheit gegen Rutschungen		Stabilität aller Hänge und des Untergrunds (ČSN 838032 und ČSN 838036)
	<p>Untergrund muss bodenmechanische Belastungen aufnehmen können. Auftretende Setzungen verursachen keine Schäden an Basisabdichtung und Sickerwassersystem.</p>	

Abbildung 9: Anforderungen an geologische Barriere und Basisabdichtung in Deutschland (DepV, Anhang 1)

Nr.	Systemkomponente	DK 0	DK I	DK II	DK III
1	Geologische Barriere ¹⁾	$k \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ $d \geq 1,00 \text{ m}$	$k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ $d \geq 1,00 \text{ m}$	$k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ $d \geq 1,00 \text{ m}$	$k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ $d \geq 5,00 \text{ m}$
2	Erste Abdichtungskomponente ²⁾	nicht erforderlich	erforderlich	erforderlich	erforderlich
3	Zweite Abdichtungskomponente ²⁾	nicht erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich	erforderlich
4	Mineralische Entwässerungsschicht ³⁾ , Körnung gemäß DIN 19667	$d \geq 0,30 \text{ m}$	$d \geq 0,50 \text{ m}$	$d \geq 0,50 \text{ m}$	$d \geq 0,50 \text{ m}$

Unterschiede zwischen EU-Richtlinie und deutschen Regelwerk (Auswahl):

- Die EU-Richtlinie nimmt nicht die konsequente Trennung zwischen Basis und Oberfläche vor. Einzelne Kriterien gelten zugleich für Basis- und Oberflächenabdichtung. Insgesamt kommt der Gedanke der notwendigen Oberflächenabdichtung nicht prägnant zum Ausdruck.
- Folglich gibt es Kriterien für eine allgemeine Drainage-Schicht (Entwässerungsschicht), die nicht in Basis- und Oberflächensystem unterschieden wird.
- In der EU-Richtlinie ist der Mindestabstand zum Grundwasserspiegel nicht vorgegeben.
- Die künstliche Basisabdichtung über der geologischen Barriere wird ab der Stilllegungsphase vernachlässigt. Nach Erfahrungen auf deutschen Deponien fällt auch in dieser Phase noch Sickerwasser an der Basis an.

4.3 Grundlegende Anforderungen an Oberflächenabdichtungen

Abbildung 10: Anforderungen an Oberflächenabdichtungen bei der EU, in Deutschland und in der Tschechischen Republik

EU	Deutschland	Tschechische Republik
Gesetzliche Grundlagen		
Richtlinie 1999/31/EG, besonders Anhang 1	DepV(2013), Anhang 1	ČSN 838032 und Anhang A dieser Norm (Bsp. Bodendichtung, Foliendichtung und Hydraulikmatte) und weitere zusammenhängende ČSN – Normen der Reihe 8380..
Oberflächenabdichtung (Nr. 3.3)	Oberflächenabdichtungssystem (DepV, Anh. 1, Nr. 2.3)	
Oberflächenabdichtung kann abgewogen werden. Behörde kann Oberflächenabdichtung vorschreiben, wenn Sickerwassergefahr vorhanden ist. Empfehlung für Oberflächenabdichtung in unten stehender Tabelle. Systemkomponenten von unten nach oben:	Oberflächenabdichtung ist immer gefordert. Bei DK 0 (inert) ist Rekultivierungsschicht ausreichend. Anforderungen an das Oberflächenabdichtungssystem in unten stehender Tab. 2 Systemkomponenten von unten nach oben:	Die Oberflächenabdichtung einer Deponie bilden: Ausgleichs-, Abdichtungs- und Schutzschicht. Diese Schichtungen werden gem. ČSN 833032 und anderer zusammenhängender Normen und Vorschriften durchgeführt Oberflächenabdichtung laut des Deponietyps, Kriterien: Filtrationskoeffizient, Mächtigkeit und Anzahl der Schichten
<ul style="list-style-type: none"> • Deponiedrainageschicht • Künstl. Abdichtungsschicht (kann bei nicht gefährlichen Abfällen fehlen) • Mineral. Abdichtungsschicht 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausgleichsschicht • Gasdränschicht • Erste Abdichtungskomponente • Zweite Abdichtungskomponente. 	Entwässerung einer Deponie – Dränschicht: $d \geq 0,3\text{m}$ und $k \leq 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

EU	Deutschland	Tschechische Republik
(undurchlässig) <ul style="list-style-type: none"> • Drainageschicht > 0,5m • Oberbodenabdeckung >1,0m. 	<ul style="list-style-type: none"> • (Dichtungskontrollsystem) • Entwässerungsschicht • Rekultivierungsschicht 	
	Deponieersatzbaustoffe für obige Komponenten, Zulässigkeitskriterien (DepV, Anh. 3, Tab. 1)	
	Zulassung von Geokunststoffen, Polymeren und Dichtungskontrollsystemen als Komponenten (DepV, Anh. 1, Nr. 2.4)	
Oberbodenabdeckung (Nr. 3.3)	Rekultivierungsschicht (DepV, Anh. 1, Nr. 2.3.1)	
Mindestdicke 1,00 m	Mindestdicke 1,00 m Nutzbare Feldkapazität von 140 mm Bewuchs schützt vor Wind- und Wassererosion und fördert hohe Verdunstung Bodenmaterial darf nicht wassergefährdend sein, muss Anhang 3, Tab. 2, Spalte 9 erfüllen	Rekultivierungsschicht min. 1m (Material gem. ČSN 750145)
	Sonderschichten anstelle oder gekoppelt mit der Rekultivierungsschicht (DepV, Anh. 1, Nr. 2.3.1 und 2.3.2)	
	Wasserhaushaltsschicht (kann Abdichtungskomp. reduzieren): <ul style="list-style-type: none"> • Mindestdicke 1,50 m • nutzbare Feldkapazität mindestens 220 mm • Durchsickerung maximal 10 % vom Niederschlag, höchstens 60 mm/a 	
	Methanoxidationsschicht (Methan-Oxidation von Restgasen)	
	Technische Funktionsschicht (Verkehrsfläche, Parkplatz, Fotovoltaik-Anlage auf stillgelegter Deponie)	Endbearbeitung der Oberfläche einer Deponie
Sickerwassermanagement (Nr. 2 und 3.3)		
Sammlung, Behandeln von Sickerwasser	Entsprechend in Anhang 5 DepV Nr. 6	Gemäß ČSN 838032 und ČSN 838033 Deponieabdichtung und Behandlung

EU	Deutschland	Tschechische Republik
Eindringen von Grund- und Oberflächenwasser verhindern.	Anfall von Sickerwasser gering halten. Wasser aus der Entwässerungsschicht ist zu fassen. Ordnungsgemäße Entsorgung.	vom Sickerwasser
Gasfassung (Nr. 4)		
Ansammlung und Ausbreitung von Deponiegas beschränken. Bei biologisch abbaubaren Abfällen ist Gas zu sammeln, behandeln, nutzen oder abzufackeln.	Entsprechend in Anhang 5 DepV Nr. 7 Deponiegas ist zu fassen, behandeln, vorrangig energetisch zu verwerten.	Gemäß ČSN 838034 Entgasung der Deponien
Belästigung und Gefährdung (Nr. 5 und 7)		
Keine Gefährdungen, Emissionen, Ungeziefer und Brände. Absperrung	Entsprechend in Anhang 5 DepV Nr. 8 Belästigungen und Verschmutzung minimieren.	
Standsicherheit / Geotechnik (Nr. 6)		
Bei Einbau der Abfallmassen die Standsicherheit gewährleisten. Endgültige Standsicherheit nach Stilllegung für gesamte Deponie nicht genannt.	GDA-Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik	

Die EU empfiehlt für die Oberflächenabdichtung die nachstehenden Kriterien. Zitat laut Richtlinie über Abfalldeponien, Anhang 1, Nr. 3.3.:

Gelangt die zuständige Behörde nach einer Abwägung der Gefährdung für die Umwelt zu der Auffassung, dass der Bildung von Sickerwasser vorgebeugt werden muss, so kann eine Oberflächenabdichtung vorgesehen werden. Empfehlungen für die Oberflächenabdichtung:

Abbildung 11: Empfehlungen für die Oberflächenabdichtung bei der EU

Deponieklasse	Nicht gefährlich	Gefährlich
Deponiedrainageschicht	Erforderlich	Nicht erforderlich
Künstliche Abdichtungsschicht	Nicht erforderlich	Erforderlich
Undurchlässige mineralische Abdichtungsschicht	Erforderlich	Erforderlich
Drainageschicht > 0,5 m	Erforderlich	Erforderlich
Oberbodenabdeckung > 1 m	Erforderlich	Erforderlich

In Deutschland ist von einer „Muss-Bestimmung“, von einer zwingenden Bestimmung auszugehen, die nur als Ausnahme bei nachweislicher Nicht-Gefährdung der Umwelt, eine Vereinfachung zulässt. Das betrifft speziell die Deponieklasse 0.

Abbildung 12: Anforderungen an Oberflächenabdichtungssystem in Deutschland (DepV, Anhang 1)

Tabelle 2 Aufbau des Oberflächenabdichtungssystems					
Nr.	Systemkomponente	DK 0	DK I ⁵⁾	DK II ⁶⁾	DK III
1	Ausgleichsschicht ¹⁾	nicht erforderlich	ggf. ⁷⁾ erforderlich	ggf. ⁷⁾ erforderlich	ggf. ⁷⁾ erforderlich
2	Gasdränschicht ¹⁾	nicht erforderlich	nicht erforderlich	ggf. ⁸⁾ erforderlich	ggf. ⁸⁾ erforderlich
3	Erste Abdichtungskomponente	nicht erforderlich	erforderlich ²⁾	erforderlich ²⁾	erforderlich ³⁾
4	Zweite Abdichtungskomponente	nicht erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich ²⁾	erforderlich ³⁾
5	Dichtungskontrollsystem	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich
6	Entwässerungsschicht ⁴⁾ d ≥ 0,30 m, k ≥ 1x10 ⁻³ m/s, Gefälle > 5 %	nicht erforderlich	erforderlich	erforderlich	erforderlich
7	Rekultivierungsschicht/ technische Funktionsschicht	erforderlich	erforderlich	erforderlich	erforderlich

4.4 Vorgaben für Konstruktion und Qualitätssicherung in Deutschland

4.4.1 Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard

Für die bundeseinheitlichen Eignungsbeurteilungen sowie für den Einsatz von natürlichem, ggf. vergütetem Boden- und Gesteinsmaterial sowie von Abfällen definieren die Länder Prüfkriterien und legen Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie das Qualitätsmanagement in bundeseinheitlichen Qualitätsstandards fest (Anhang 1 Nr. 2.1.2 DepV).

Bundeseinheitlich heißt, dass die Standards für die gesamte Bundesrepublik gelten. Sie sind durch Abstimmung in einer Arbeitsgruppe der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zustande gekommen. Diese Bundeseinheitlicher Qualitätsstandards (BQS) dienen:

- als Planungsvorgabe und Prüfinstrument für technische Ausführung;
- zur Definition des Standes der Technik.

Die unten stehende Liste umfasst alle bisherigen Titel mit dem Ausgabedatum der gültigen Fassungen. 2013 wurden viele Texte überarbeitet.

Abbildung 13: Liste der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS)

Bezeichnung	Titel	Ausgabe
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 1-0	"Technische Maßnahmen betreffend die geologische Barriere"	19.12.2011
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-0	"Mineralische Basisabdichtungs-komponenten - übergreifende Anforderungen"	28.02.2011
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-1	"Mineralische Basisabdichtungs-komponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen"	25.09.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-2	"Mineralische Basisabdichtungs-komponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen"	25.09.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-3	"Mineralische Basisabdichtungs-komponenten aus Deponieersatz-baustoffen"	25.09.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 3-1	"Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Basisabdichtungssystemen"	04.12.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 3-2	"Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen"	19.12.2011
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 4-1	"Trag- und Ausgleichsschichten"	25.09.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-0	"Mineralische Oberflächenabdichtungs-komponenten - Übergreifende Anforderungen"	16.08.2010
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-1	"Mineralische Oberflächenabdichtungs-komponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen"	25.09.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-2	"Mineralische Oberflächenabdichtungs-komponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen"	25.09.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-3	"Mineralische Oberflächenabdichtungs-komponenten aus Deponieersatzbaustoffen"	25.09.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-5	"Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Tondichtungs-bahnen"	03.12.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-6	"Kapillarsperren in Deponieoberflächen-abdichtungssystemen"	09.11.2010
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-1	"Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächen-abdichtungssystemen"	07.06.2011
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-2	"Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen"	19.12.2011
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1	"Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen"	23.05.2011
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-2	"Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungen"	20.10.2011
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-3	"Methanoxidationsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen"	20.10.2011
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-4a	"Technische Funktionsschichten - Photovoltaik auf Deponien"	02.08.2012
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 8-1	"Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächen-abdichtungssystemen von Deponien"	24.09.2013
Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 9-1	"Qualitätsmanagement - Fremdprüfung beim Einbau mineralischer Baustoffe in Deponieabdichtungssystemen"	09.04.2014
SKZ - TÜV - LGA Güterichtlinie	Deponierohre	09.2013

4.4.2 BAM-Zulassungen

Die BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung ist nach der Deponieverordnung (DepV) die benannte Stelle für die Zulassung von Geokunststoffen, Polymeren und serienmäßig hergestellten Dichtungskontrollsystemen für Deponieabdichtungen. Somit dürfen auf der Grundlage der DepV für derartige Abdichtungssysteme nur von der BAM zugelassene Geokunststoffe eingesetzt werden.

Entsprechend veröffentlicht die BAM im Ergebnis ihrer Arbeit und ihrer Tests folgende Dokumente, die auf der Seite www.bam.de zugänglich sind:

- Zulassungsrichtlinien für Geokunststoffe, Polymere und serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme auf Grundlage der DepV sowie Hinweise zu den Prüfungen
- Richtlinien für die Anforderungen für Verlegefachbetriebe sowie fremdprüfende Stellen
- Listen der zugelassenen Produkte sowie der fremdprüfenden Stellen, die die Anforderungen der Richtlinie erfüllen

4.4.3 GDA-Empfehlungen für Standsicherheit und Geotechnik

Die GDA-Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik sind ein umfangreiches Werk, bestehend aus einzelnen Empfehlungsblättern, die sich mit der Standsicherheit von Deponien, Untergrund, Abfallkörpern und Altlasten befassen. Diese Empfehlungen betreffen auch geotechnisch relevante Bauarbeiten und Qualitätsmanagement. Alle Empfehlungen sind im Internet öffentlich zugänglich unter www.gdaonline.de.

Im Unterschied zu den beiden zuvor genannten Einrichtungen haben die GDA-Empfehlungen keine gesetzliche Verankerung. Sie sind Empfehlungen eines technischen Fachverbandes. Bestimmte Inhalte der GDA-Empfehlungen fanden Eingang in die BQS.

Insgesamt gibt es 84 Empfehlungsblätter in derzeit in 10 Themengruppen. Als Beispiele werden auszugsweise genannt:

Abbildung 14: Beispiele von GDA-Empfehlungen

Nr.	Titel	Aktuelle Ausgabe vom
Themengruppe 1: Empfehlung zur geotechnischen Erkundung des Untergrundes und des Abfallkörpers		
E 1-1	Geotechnische Standortuntersuchung	Juli 2010
E 1-2	Probenahme zur Standortuntersuchung	Juli 2010
Themengruppe 2: Empfehlungen zu Entwurfsgrundsätzen		
E 2-1	Geotechnische Planung für Deponien	Sept. 2004
E 2-4	Oberflächenabdichtungssysteme	Juli 2010
E 2-7	Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen	Sept. 2008
Themengruppe 3: Empfehlungen zu geotechnischen Eignungsprüfungen		
E 3-5	Versuchsfelder für mineralische Basis- und Oberflächenabdichtungsschichten	1997
Themengruppe 4: Empfehlungen zu Herstellungsverfahren		
E 4-2	Herstellung von mineralischen Entwässerungs- und Schutzschichten	April 2011
E 4-3	Herstellverfahren für Baugruben im Abfallkörper	April 2011

4.5 Vorgaben für Konstruktion und Qualitätssicherung in der Tschechischen Republik

Eine Deponie ist definiert gem. Gesetz Nr. 185/2001, über Abfälle, als Anlagen (Technische Einrichtungen, Standort, Bau oder Teil eines Baus) errichtet im Einklang mit besonderer gesetzlicher Vorschrift (Baugesetz) und betrieben in drei unmittelbar aneinander anschließenden Betriebsphasen.

Eine Deponie ist auch eine Anlage betrieben durch Abfallverursacher zum Zweck der Beseitigung und Lagerung der eigenen Abfälle mit der Ausnahme der Lagerung der Abfälle, die vorübergehend in dazu bestimmter Einrichtung höchstens 3 Jahre vor ihrer Nutzung oder 1 Jahr vor ihrer Beseitigung gesammelt worden sind.

Weitere vornehmlich technische Anforderungen an Abfalldéponien inklusive der Bedingungen für ihre Unterbringung, technische Sicherung des Deponiebetriebs, Abdichtungen, Monitoring und Bedingungen für Oberflächenabdichtung und Rekultivierung stellen tschechische technische Normen ČSN der Reihe 838032 bis 838036 fest, auf die die Bekanntmachung Nr. 294/2005 Slg. hinweist. Diese sind somit für die Deponiebetreiber verbindlich.

Diese CSN-Normen betreff der Deponien verweisen auf andere anzuwendende Normen, wie ČSN 721006 Verdichtungskontrolle der Böden und Schüttgüter, ČSN 731001 Gründung der Baustellen, ČSN 736851 Konstruktion aus Asphalt und Beton, ČSN EN 13257 (806157) Geotextilien und ihnen ähnliche Produkte – geforderte Eigenschaften für Nutzung bei Entsorgung fester Abfälle usw. und weitere technische Normen, Gesetze, Bekanntmachungen und Verordnungen.

4.6 Deponieüberwachung

4.6.1 Phasen einer Deponie

Die Deponieüberwachung und andere technischen Maßnahmen richtet sich nach den Phasen oder besser Entwicklungsphasen einer Deponie. Nach deutscher Sicht und Erfahrung bestehen vier Phasen. Die drei letzten sind in der Deponieordnung ausdrücklich definiert. Die EU-Richtlinie kennt bisher nur zwei Phasen.



Die Phasen, die Flächenvorbereitung und Basisabdichtung sowie die Abdeckung und Abdichtung über dem Abfallkörper betreffen, sind nicht gesondert ausgewiesen. Bei allen Fortschritten hat es doch den Anschein, dass die langzeitige Sicherung gegen Umweltgefährdungen unterschätzt wird.

In den tschechischen Vorschriften kommen drei Deponiephasen vor:

- Unter erster Phase des Deponiebetriebs versteht man Inbetriebnahme der Anlage zur Beseitigung der Abfälle (Deponieabfälle) durch Lagerung dieser auf oder unter der Erdoberfläche.
- Die zweite Phase des Deponiebetriebs stellt den Lauf der Anlage dar (Abfalldeponie) zur möglichen Abfallverwertung für die Oberflächenabdichtung und Rekultivierung der Deponie.
- Die dritte Phase des Deponiebetriebes ist gemäß des Abfallgesetzes das Betreiben einer Anlage, die dafür gedacht ist, die abgelagerten Abfälle zu sichern und eine folgende Deponiepflege nach der Oberflächenabdichtung durchzuführen. Dauer und Bedingungen der Deponiepflege nach der Oberflächenabdichtung des Deponiekörpers, Rekultivierung und Sanierung setzt das zuständige Landesamt. Die Frist darf nicht kürzer sein als 30 Jahre.

4.6.2 Gegenstand und Häufigkeit der Überwachung

Abbildung 15: Anforderungen an die Deponieüberwachung bei der EU, in Deutschland und Tschechien

EU	Deutschland	Tschechische Republik
Gesetzliche Grundlagen		
RICHTLINIE 1999/31/EG, besonders Anhang III	DepV(2013), Anhang 5	Gesetz Nr. 185/2001 Slg., Bek. 383/2001 Slg. und Verordnung Nr. 294/2005, ČSN 838036
Fristen:		
In Betriebsphase (häufiger) und Nachsorgephase (weniger) Klimawerte eingeschlossen	Tabelle der Häufigkeit in Anhang 5. Für Ablagerungs- und Stilllegungsphase oft Tageswerte. Für Nachsorgephase oft Monatswerte oder halbjährlich / jährlich. Klimawerte sind zu erfassen. Benachbarte, vergleichbare Station ist möglich.	Deponiekontrolle beim Betrieb – z.B. tschechische Inspektion für Umwelt (Gesetz Nr. 185/2001 Slg., über Abfälle, Gesetz Nr. 255/2012 Slg., über Kontrolle)
Überwachung von Wasser, Sickerwasser, Deponiegas:		ČSN 838036 Deponieüberwachung
Sickerwasser an Austritten: Volumen, Zusammensetzung. Oberflächenwasser oberstrom und unterstrom: Volumen, Zusammensetzung.	Menge und Qualität des Sickerwassers Menge und Qualität des gefassten Oberflächenwassers, falls nicht unverhältnismäßiger Aufwand	z.B. Menge der Sickerwässer: monatliche Überwachung, vierteljährige Zusammensetzung (Deponien im Betrieb), alle 6 Monate (Nachsorge)

EU	Deutschland	Tschechische Republik
Gasmessung für jeden Abschnitt	Aktiv gefasste Gasmenge und Zusammensetzung (CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , N ₂ , ausgewählte Spurengase)	
Grundwasser		
Mindestens 1 Pegel Zustrom, 2 Pegel Abstrom. 3 Stellen vor Ablagerungsbeginn. Grundwasserspiegel Zusammensetzung Auslöseschwellen festlegen.	Überwachung mit mindestens einer Messstelle im Anstrom und einer ausreichenden Zahl, mind. zwei, im Abstrom Grundwasserstände, Beschaffenheit, Kontrolle der Auslöseschwellen (Nullmessung vor Ablagerungsbeginn)	Stellt ČSN 838036 fest
Topografie der Deponie		
Setzungsverhalten der Deponie Struktur Zusammensetzung des Deponiekörpers	Überwachung der Setzungen und Verformungen in den Deponieabdichtungssystemen Setzungen, Verformungen und Verfüllzustände des Deponiekörpers (Daten aus Flug- und Satellitenüberwachung sind nutzbar) Prüfung der Entwässerungssysteme mittels Kamerabefahrung	Stellt ČSN 838036 fest
Weitere Festlegungen		
?	Qualifizierung des Personals mit vorgegebenen inhaltlichen Schwerpunkten (Anhang 5 DepV, Nr. 9)	
?	Kriterien für die Feststellung des Abschlusses der Nachsorge (Anhang 5 DepV, Nr. 10)	

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit dem gegenwärtigen Stand der gesetzlichen und technischen Bestimmungen ist trotz Unterschieden ein relativ einheitliches Niveau in Deutschland und in der Tschechischen Republik geschaffen wurden. Eine weitere Harmonisierung der Abfall- und Deponiewirtschaft im Sinne des 7. Umweltaktionsprogramms der EU ist möglich.

Jedoch sind die EU-Richtlinien mit ihren Anhängen häufig Mindestforderungen. Diese Forderungen umgesetzt, führt zu einem technischen Konzept, das noch zu sehr vom Ablagerungsprozess ausgeht als von einer dauerhaften Sicherung der abgedeckten Deponien. Aus deutscher Sicht darf die Harmonisierung nicht zur Angleichung an ein Mindestniveau führen. Fachlich ist die Durchsetzung der Barrieren notwendig besonders auch unter Beachtung der Klimatendenzen in Mitteleuropa.

Mit der Verminderung der deponierten Abfallmengen und der biologisch abbaubaren Abfallmengen auf Deponien verschwinden die bestehenden Deponien nicht einfach aus der Umwelt und Landschaft. Damit wird die dauerhafte Sicherung von Deponien ein zunehmend wichtiges Thema in den angrenzenden Staaten. Der Beitrag konnte aufzeigen, dass in der Tschechischen Republik ähnlich gelagerte Voraussetzungen wie in Deutschland gegeben sind. Weitergehende Untersuchungen sind möglicherweise die Aufgabenstellung für einen zukünftigen Deponieworkshop.

Der Beitrag zeigt auch auf, dass die Übersichtlichkeit deutscher Bestimmungen nicht ideal ist. Trotz allem fachlichen Niveau bleibt das Begreifen dieses Konstrukts für Ausländer, aber wohl auch für manchen in Deutschland, schwierig. Es wurde versucht, das Verständnis zu erhöhen. Die gesetzliche Lage und Standards erscheinen in Tschechien zumindest im Überblick einfacher strukturiert.

Příprava nového zákona o odpadech a aktuální stav odpadové legislativy v ČR

Vorbereitung des neuen Abfallgesetzes und aktueller Stand der Abfallwirtschaft in der Tschechischen Republik

Jan Maršák¹

Abstrakt

Příprava nové odpadové legislativy a legislativy týkající se zpětného odběru vybraných výrobků s ukončenou životností je jednou z významných priorit Ministerstva životního prostředí (MŽP). Pro MŽP je důležité v rámci této přípravy získat řadu informací o situacích vznikajících během praktického uplatňování jednotlivých legislativních předpisů. Z tohoto důvodu byly založeny pracovní skupiny (PS) k jednotlivým oblastem, které budou pokryty připravovanou legislativou. V současnosti je založeno 6 pracovních skupin (autovraky, pneumatiky, elektrozařízení, nakládání s plochým sklem, odpady a poplatky). Věcné záměry dvou nových právních předpisů (zákon o odpadech a zákon o výrobcích s ukončenou životností) by měly být vládě předloženy do konce roku 2014. Rovněž stávající zákon o odpadech prochází celou řadou změn, kterým se bude příspěvek věnovat.

Kurzfassung

Die Vorbereitung der neuen Gesetzgebung aus dem Bereich der Abfallwirtschaft hinsichtlich Rücknahme von Produkten mit beendeter Lebensdauer stellt eine der bedeutendsten Prioritäten des Ministeriums für Umwelt der Tschechischen Republik dar. Für das Umweltministerium ist es im Rahmen dieser Vorbereitung wichtig, eine Reihe von Informationen über die Situationen zu gewinnen, die während der praktischen Anwendung der einzelnen gesetzlichen Vorschriften entstehen. Aus diesem Grund wurden für die einzelnen, durch die geplante Gesetzgebung abgedeckten Bereiche Arbeitsgruppen gegründet. Gegenwärtig wurden 6 Arbeitsgruppen gegründet (Autowracks, Reifen, Elektrogeräte, Behandlung von Flachglas, Abfall und Gebühren). Die Vorlagen von zwei neuen Vorschriften (Abfallgesetz und Gesetz über Produkte mit abgelaufener Lebensdauer) sollten der Regierung bis Ende 2014 vorgelegt werden. Auch in dem gegenwärtigen gültigem Abfallgesetz werden viele Veränderungen durchgeführt.

1 Aktuální stav odpadové legislativy v ČR - Zákon o odpadech

Zákon o odpadech opakovaně prochází poměrně dynamickými změnami. V roce 2013 se jednalo o úpravy obsažené v zákoně č. 169/2013 Sb. I v roce 2014 bude zákon o odpadech minimálně dvakrát výrazněji novelizován. Níže je uveden přehled změn zákona v roce 2014.

1.1 Zákon č. 184/2014 Sb.

Novela zákona o odpadech (tzv. elektronovela) - související s transpozicí směrnice 2012/9/EU do zákona o odpadech (části 8 – elektrozařízení). Novela byla publikována ve Sbírce zákonů jako zákon č. 184/2014 Sb. V zákoně o odpadech byly provedeny následující změny:

¹ Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 65, CZ-10010 Praha 10, Jan.Marsak@mzp.cz

- rozšíření rozsahu věcné působnosti právní úpravy nakládání s elektrozařízeními a s tím související nové vymezení skupin elektrozařízení od 15. srpna 2018,
- nová úprava některých definic, zejména stěžejní definice výrobce elektrozařízení,
- zavedení nového institutu pověřeného zástupce výrobce, který bude plnit povinnosti namísto zahraničního výrobce,
- rozšíření evidenčních povinností výrobců elektrozařízení, kteří budou nově povinni vést evidenci toku zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraného elektroodpadu od místa zpětného odběru nebo místa odděleného sběru až po zpracování, využití a odstranění elektroodpadu,
- zjednodušení administrativní podoby Seznamu výrobců elektrozařízení a elektronizace zápisů v tomto seznamu,
- rozšíření povinnosti posledních prodejců odebírat použitá elektrozařízení,
- navýšení minimální úrovně využití elektroodpadu od 15. srpna 2015,
- zřízení centrálního registru míst zpětného odběru, který usnadní konečným uživatelům přístup k informacím o jim dostupných místech zpětného odběru elektrozařízení,
- umožnění výrobcům uvádět odděleně náklady na zajištění plnění povinností pro nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady (tzv. viditelný recyklační příspěvek jako součást ceny výrobku),
- úprava refundací příspěvků hrazených kolektivnímu systému, pokud se prokáže, že elektrozařízení bylo po uvedení na trh v ČR vyvezeno nebo dodáno do jiného členského státu EU,
- umožnění výrobcům a konečným uživatelům, kteří nejsou spotřebiteli, uzavírat dohody o odchylném způsobu financování nakládání s elektroodpadem,
- úprava podmínek pro přeshraniční přepravu použitých elektrozařízení s cílem zamezit nedovolené přepravě odpadů vydávaných za funkční elektrozařízení,
- konkrétní požadavky na hustotu míst zpětného odběru pro elektrozařízení pocházející z domácností,
- podrobnější pravidla pro refundace příspěvků ze strany kolektivních systémů v případě vývozu elektrozařízení,
- technická novela zákona č. 169/2013 Sb. (tzv. ekoauditové novely zákona o odpadech) s cílem odložit účinnost změn v oblasti elektronizace přepravy nebezpečných odpadů a hodnocení nebezpečných vlastností odpadů vyžadujících významné úpravy Integrovaného systému plnění ohlašovacích povinností (ISPOP)².

²Důvodem posunutí účinnosti těchto změn z 1. října 2014 na 1. ledna 2016 je skutečnost, že s ohledem na rozsah agendy přepravy nebezpečných odpadů a stav úprav ISPOP není možné k původnímu datu požadavky zákona realizovat.

1.2 Návrh novely zákona o odpadech (sněmovní tisk 153)

Původně se senátní návrh zabýval pouze problematikou regulace sběren a výkupu kovového odpadu (senátní tisk 196). Po rozsáhlých diskusích v senátních výborech bylo Senátem schváleno doplnění § 78 odst. 4 písm. b) zákona o možnost KÚ odebírat souhlas s provozem zařízení i v případě porušení zákazu výkupu od fyzických osob. Vláda s návrhem Senátu vyslovila souhlas. V červnu a červenci 2014 prošel návrh PSP ČR (doplněny další pozměňovací návrhy) a byl postoupen k opětovnému projednání v Senátu PČR.

V září 2014 Senát PČR tisk vrátil s pozměňovacími návrhy do PSP ČR jako sněmovní tisk 153/5. Poslanecká sněmovna odhlasovala původní znění, které bylo odsouhlaseno ve 3. čtení. Novela zákona byla dne 8. 10. 2014 podepsána prezidentem republiky.

Novela se zaměřuje na problematiku:

- lepší regulace sběren odpadů,
- povinné třídění biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) a kovů,
- zákaz skládkování určitých druhů odpadů,
- termín zákazu skládkování (2024) a
- technické zabezpečení skládek.

Jedná se o důležitou novelu zákona o odpadech, která reaguje na některé dlouhodobě diskutované otázky odpadového hospodářství ČR.

1.3 Regulace zařízení ke sběru a výkupu odpadů

Upravuje se § 78 odst. 4 písm. b) zákona o možnost KÚ odebírat souhlas s provozem zařízení i v případě porušení zákazu výkupu od fyzických osob. KÚ tak budou mít lepší nástroj k odebírání souhlasu právě při porušení povinností při výkupu zejména kovových odpadů od fyzických osob.

1.4 Třídění biologicky rozložitelného komunálního odpadu a kovů

Rozsah odděleného soustřeďování složek komunálního odpadu byl doplněn o biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) a kovy. Tato povinnost je stanovena od 1. 1. 2015. Oddělený sběr kovů požaduje směrnice o odpadech.

Oddělený sběr BRKO má umožnit splnění cíle, který je stanoven ve směrnici o skládkách odpadů. Směrnice o skládkách odpadů (1999/31/ES) ukládá v čl. 5 odst. 2 písm. a), b) c) závazné cíle pro členské státy, které se týkají snižování množství biologicky rozložitelného odpadu na skládky. ČR má tyto cíle splnit v roce 2010 (cíl byl splněn), 2013 (data nejsou k dispozici, ale je spíše předpoklad nesplnění cíle) a 2020.

1.5 Zákaz skládkování určitých druhů odpadů

Novela zákona stanovuje, že na skládky je od roku 2024 zakázáno ukládat směsný komunální odpad a recyklovatelné a využitelné odpady stanovené prováděcím právním předpisem (nový odst. 7 v §21). V tuto chvíli, takový zákaz není stanoven ani ve směrnici o skládkách odpadů, ani ve směrnici o odpadech, fakticky je však takový zákaz obsažen v závazné hierarchii nakládání s odpady. Od té je totiž možné se odchýlit pouze na základě posouzení životního cyklu odpadů, pokud by vyšší stupeň nakládání měl vyšší dopad na životní prostředí. Dle evropské legislativy tak není již v současné době možné ukládat na skládky recyklovatelné a využitelné odpady, i když bez konkrétních zákazů je takový přístup těžko vynutitelný.

7. Environmentální akční program EU (rozhodnutí č. 1386/2013/EU) stanovuje jako cíl do roku 2020: V plné míře provést právní předpisy Unie o odpadech. Toto provádění bude zahrnovat uplatňování hierarchie způsobů nakládání s odpady v souladu s rámcovou směrnicí o odpadech a účinného využívání tržních nástrojů a dalších opatření, které zajistí, aby skládkování bylo omezeno na zbytkový (tj. nerecyklovatelný či jinak nevyužitelný) odpad.

S poukazem na závaznost hierarchie nakládání s odpady požaduje zavedení zákazu skládkování některých druhů komunálních odpadů Evropská komise po České republice také v dokumentu z roku 2011 „Roadmap for Czech Republic“ (http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/CZ_Roadmap_FINAL.pdf). Evropská komise tento dokument vypracovala pro Českou republiku, jako pro jeden z deseti států s nejhrošším výsledkem nakládání s odpady ve vztahu ke skládkování a plnění hierarchie nakládání s odpady.

Připravovaná prováděcí vyhláška bude obsahovat kvalitativní parametry (např. výhřevnost). Mimo kvalitativní parametry však bude obsahovat také některé konkrétní druhy odpadů, které jsou využitelné z jiného důvodu, než je vysoká výhřevnost, případně druhy odpadů, u nichž je výhřevnost zbytečně zjišťovat.

V nově představeném návrhu na novelizaci odpadových směrnic³ Evropská komise dále akcentuje svůj přístup k této otázce. Návrh proto obsahuje výslovný zákaz skládkování všech biologicky rozložitelných odpadů a to od roku 2025.

1.6 Technické zabezpečení skládek

Novela zákona stanovuje, že maximální celkové množství odpadů uložených na skládku jako materiál pro technické zabezpečení skládky (TZS) může dosahovat maximální výše 20% celkové hmotnosti odpadů uložených na skládku v daném kalendářním roce. Jako technologický materiál na technické zabezpečení skládky je možné využívat pouze odpady stanovené prováděcím předpisem, které svými technickými parametry tomuto účelu odpovídají. Cílem ustanovení je zlepšit situaci při výběru poplatků za ukládání odpadů na skládky.

V současnosti nejsou odpady použité jako TZS zpoplatněny do úrovně 25% objemu všech odpadů uložených na skládce za každý kalendářní rok. Vzhledem k obtížné kontrolovatelnosti tohoto parametru dochází k únikům finančních prostředků, které by měly být vybírány. Problematikou je zejména výběr rizikové složky poplatku u nebezpečných odpadů.

Na problematiku obcházení výběru poplatků za ukládání nebezpečného odpadu na skládky za odpadů opakovaně upozorňuje Nejvyšší kontrolní úřad (viz např. poslední závěr č. 12/20 z roku 2013 - <http://www.nku.cz/kon-zavery/K12020.pdf>) a opakovaně také vyzval MŽP k legislativnímu řešení současného nastavení technického zabezpečení skládek. Vláda uložila MŽP přijmout legislativní změny v zákoně o odpadech (viz usnesení vlády č. 5/2014).

Podle NKÚ dochází k neustálému poklesu ve výběru rizikové složky poplatku za nebezpečný odpad, která je příjmem Státního fondu životního prostředí (SFŽP). Ze závěru NKÚ lze uvést, že na kontrolovaných skládkách bylo uloženo přes 90% nebezpečného odpadu bez poplatku (prostřednictvím postupů, které jsou od poplatku osvobozeny). V roce 2011 se podíl nebezpečných odpadů ukládaných bez poplatku zvýšil až na 98,49%, s poplatkem bylo uloženo již jen 1,51% nebezpečného odpadu.

Jak vyplývá z poslední zprávy SFŽP, došlo například u 13 skládek ke ztrátě na nevybraných

³Směrnice evropského parlamentu a Rady, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech, směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech, 1999/31/ES o skládkách odpadů, směrnice 2000/53/ES o vozidlech s ukončenou životností, směrnice 2006/66/ES o bateriích a akumulátorech a odpadních bateriích a akumulátorech a směrnice 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (SWD(2014) 207 final, SWD(2014) 208 final, SWD(2014) 209 final, SWD(2014) 210 final). Návrh směrnice je součástí zveřejněných dokumentů k oběhovému hospodářství (circular economy), které se stává jednou z priorit Evropské komise (viz Sdělení komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů „Směrem k oběhovému hospodářství: program nulového odpadu pro Evropu“).

poplatcích ve výši 680 miliónů. Jedná se pouze o údaje vztahující se k nebezpečnému odpadu. Ztráta ve výběru za všechny druhy odpadů může být podstatně vyšší (přes 1 mld. Kč),

Prostředky, které nebyly vybrány prostřednictvím SFŽP (riziková složka poplatku za nebezpečný odpad), nemohly být využity ke zkvalitnění odpadového hospodářství v ČR, nemohly být využity v rámci odpadového hospodářství krajů a obcí, k řešení problematiky černých skládek a dalších palčivých problémů.

Snížení podílu nezaplatněného odpadu, který bude možné ukládat na skládky, nemůže ohrozit bezpečnost skládek, která se řídí normami pro budování skládek a v žádném případě nezávisí na množství odpadů, který nebude zpoplatněn.

1.7 Další novely zákona o odpadech

V roce 2015 bude řešena novela zákona o odpadech, která bude reagovat zejména na výtky Evropské komise podané v rámci infringementového řízení (č. 2014-2057). Bude připravena do konce roku 2014.

2 Koncepční dokumenty k odpadovému hospodářství

2.1 Nový Plán odpadového hospodářství 2015 - 2024

- Plán odpadového hospodářství České republiky (POH ČR) je základním strategickým dokumentem v oblasti odpadového hospodářství. Platnost stávajícího POH ČR, která byla ještě o rok prodloužena končí k 31. 12. 2014. Česká republika musí přijmout nový POH ČR do konce roku 2014.
- Ministerstvo životního prostředí připravilo návrh nového POH ČR na další desetileté období (2015-2024).
- Návrh byl představen Radě pro odpadové hospodářství v březnu 2014 a v květnu 2014 proběhlo meziresortní připomínkové řízení.
- V září 2014 proběhlo vypořádání připomínek z meziresortního připomínkového řízení.
- Běží rovněž proces posuzování vlivů této koncepce na životní prostředí (SEA).
- MŽP předpokládá předložení nového POH ČR vládě do konce roku 2014.
- Cílem MŽP je mít účinný nový POH ČR od ledna 2015. Schválený nový POH ČR je jednou z podmínek pro čerpání prostředků z EU.

2.2 Program předcházení vzniku odpadů

- Povinnost předložení Programu předcházení vzniku odpadů („Program“) vyplývá z rámcové směrnice o odpadech (2008/98/EU).
- Návrh Programu zpracovaný Ministerstvem životního prostředí prošel v roce 2013 mezi-resortním připomínkovým řízením.
- Dne 18. 12. 2013 byl předložen vládě pro informaci a dne 3. 1. 2014 byl prostřednictvím Stálého zastoupení ČR při EU zaslán Evropské komisi.
- Návrh Programu je dostupný na webových stránkách MŽP (http://www.mzp.cz/cz/predchazeni_vzniku_odpadu_navrh).
- V roce 2014 program prošel procesem posouzení vlivů koncepce na životní prostředí (SEA). 28. 8. 2014 bylo vydáno souhlasné stanovisko SEA.

- Po schválení vládou bude Program odeslán Evropské komisi (říjen 2014).

2.3 Operační program životní prostředí 2014 – 2020

- Problematika odpadů je zahrnuta do prioritní osy 3 - „Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika“.
- Struktura prioritní osy 3 (PO 3) kopíruje hierarchii nakládání s odpady. PO 3 se primárně zaměřuje na podporu prevence vzniku odpadu, materiálové a energetické využití odpadů, odstraňování černých skládek.
- Rozsáhlá diskuse s Evropskou komisí je vedena zejména k oblastem souvisejícím s energetickým využitím odpadů a reportingem o odpadovém hospodářství ČR.
- Do konce roku 2014 by měl být nový OPŽP 2014+ schválen.

3 Příprava nové legislativy odpadového hospodářství

Příprava nové odpadové legislativy a legislativy týkající se zpětného odběru vybraných výrobků s ukončenou životností je jednou z významných priorit Ministerstva životního prostředí (MŽP).

Pro MŽP je důležité v rámci této přípravy získat řadu informací o situacích vznikajících během praktického uplatňování jednotlivých legislativních předpisů. Z tohoto důvodu byly založeny pracovní skupiny (PS) k jednotlivým oblastem, které budou pokryty připravovanou legislativou. V současnosti je založeno 6 pracovních skupin (autovraky, pneumatiky, elektrozařízení, nakládání s plochým sklem, odpady a poplatky).

V každé skupině jsou zastoupeny subjekty, kterých se nová legislativa významně týká, a které byly nominovány stranami memoranda. MŽP činností pracovních skupin naplňuje ustanovení memoranda, která jsou zaměřena k projednávání nových návrhů legislativních předpisů.

Věcné záměry dvou nových právních předpisů (zákona o odpadech a zákona o výrobcích s ukončenou životností) by měly být vládě předloženy do konce roku 2014.

Plánované změny legislativy skládkování v ČR z pohledu ČAOH

Geplante legislative Veränderungen im tschechischen Abfallgesetz aus Sicht von ČAOH (Tschechische Abfallwirtschaft Assoziation)

Petr Havelka⁴

Abstrakt

V posledních dvou letech se vede diskuze o přípravě nového zákona o odpadech. Některé navrhované změny se týkají i skládkování odpadů. Část navrhovaných opatření týkajících se skládkování je racionální a může vést ke vhodnému nastavení systému OH v ČR na další roky a k zajištění splnění cílů EU v budoucích termínech. Některé změny naopak vyvolávají spíše rozpory a otázky nad jejich smysluplností a nezbytností. Část obcí jako hlavních producentů komunálních odpadů nesouhlasí s návrhem na citelné zdražení poplatků. Otevírá se jak otázka ekonomiky skládkování komunálních odpadů, tak nebezpečných odpadů, otázka definování odpadů, které mají být odkloněny od skládkování, otázka technického zabezpečení skládek a další důležité body. Presentace ČAOH shrnuje jednotlivé podstatné okruhy, zmiňuje jejich souvislosti a nabízí vhodné řešení jak systém nastavit do budoucna tak, aby evropské cíle byly plněny, aby odpadové hospodářství bylo nastaveno dle evropské hierarchie a aby nová legislativa měla co nejmenší ekonomický dopad na původce odpadů.

Kurzfassung

Während der letzten zwei Jahre wird eine Diskussion über die Vorbereitung eines neuen Abfallgesetzes geführt. Manche vorgeschlagene Veränderungen betreffen auch das Deponieren von Abfällen. Ein Teil der vorgeschlagenen Maßnahmen, die den Bereich des Deponierens betreffen, kann zu einem passenden Ansatz der Abfallwirtschaft in der Tschechischen Republik in den folgenden Jahren sowie zur Erfüllung der Ziele der EU in den künftigen Terminen führen. Manche Veränderungen verursachen aber eher Widersprüchlichkeiten und führen zu Fragen hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit und Notwendigkeit. Ein Teil der Gemeinden als Hauptverursacher der Kommunalabfälle ist mit dem Vorschlag einer bedeutenden Erhöhung der Gebühren nicht einverstanden. Somit stellen sich die Frage der Wirtschaftlichkeit des Deponierens von Kommunalabfällen sowie gefährlicher Abfälle, die Frage der Definierung von Abfällen, die nicht deponiert werden sollten, die Frage der technischen Sicherung von Deponien sowie weitere wichtige Fragen. In der Präsentation des Tschechischen Verbandes der Abfallwirtschaft werden die wesentlichen Bereiche zusammengefasst, es werden ihre Zusammenhänge erwähnt und geeignete Lösungen für die zukünftigen Ansätze des Systems angeboten, um die europäischen Ziele zu erfüllen und die Abfallwirtschaft der europäischen Hierarchie einzustellen. Die Novellierung sollte auch so weit wie möglich geringe Auswirkungen auf die Abfallverursacher haben.

⁴ředitel České asociace odpadového hospodářství, Pod Pekárnami 157/3, 19000 Praha 9, havelka@caoh.cz

Podstatným prvkem blížících se změn odpadového hospodářství je v průběhu roku 2014 (květen – září) schvalovaná kontroverzní poslanecká novela zákona o odpadech. Ta byla s podporou MŽP ve Sněmovně narychlo načtena nejprve v rámci tisku 172 (původně elektronovela), odkud byla po velmi široké a intenzivní kritice nakonec ve třetím čtení stažena. Obratem pak byla v mírně upravené formě, opět poslaneckým návrhem vložena do tisku 153 (původně novela ke sběrnam). Zde byly strategické a bohužel neprojednané změny odpadového hospodářství nakonec schváleny, a to opět po široké kritice a dlouhých debatách jak v Senátu, tak ve Sněmovně. Bohužel se předmětné podstatné změny neřešily ve standardním legislativním procesu a nebylo tak možné korigovat poměrně vážné legislativní a věcné chyby, které finální znění nakonec obsahuje. Je zřejmé, že tím, kdo na tyto nekvalitně připravené změny doplatí zejména, jsou obce a jejich občané, ale také firmy a český průmysl. O to více je nyní třeba soustředit se na připravovaný nový zákon o odpadech, který má nastavit pravidla fungování odpadového hospodářství a samozřejmě s tím také spojenou nákladovost služeb v sektoru na další období.

Níže jsou uvedeny jednotlivé konkrétní body proběhlých novel spolu s komentářem pozitivních a problémových souvislostí a také možných rizik ve vztahu k EU. V jednotlivých bodech je také uvedeno možné řešení věci, které doporučuje ČAOH jako největší svaz odpadových firem ze sektoru OH působících v ČR. Firem, které finálně zajišťují plnění recyklačních a dalších cílů odpadové legislativy, a to většinovým podílem na trhu v rámci celé ČR.

Podrobnější komentář k hlavním bodům předmětných novel a novely schválené:

1. Zavedení povinnosti třídění kovů

- a) Tato povinnost může být vymáhána po ČR přes infringement. Na zavedení třídění je široká shoda a ČAOH toto opatření dlouhodobě podporuje, neboť vede ve zvýšení recyklace.

2. Zavedení povinnosti třídění biologicky rozložitelných odpadů

- a) Tato povinnost může být vymáhána po ČR přes infringement. Na zavedení třídění BRO je široká shoda a ČAOH toto opatření dlouhodobě podporuje a prosazuje, neboť vede ke zvýšení recyklace a odklonu odpadů od skládkování. Opatření rovněž zásadním způsobem pozitivně ovlivní splnění konkrétního cíle EU ke skládkování, a to omezení skládkování BRO pro rok 2020 na 35% ve vztahu k roku 1995. Ve vztahu k reálné možnosti plnění nové povinnosti ze strany obcí je však vhodné stanovit, že se jedná o biologicky rozložitelný odpad rostlinného původu a že obce mají volnou cestu jak třídění BRO dosáhnout. Problémový je také termín nabytí účinnosti tohoto bodu novely, a to 1.1.2015, který je objektivně pro většinu obcí jen velmi obtížně splnitelný.
- b) Opatření jako takové by přitom nemuselo vyžadovat žádné navýšení zákonných poplatků. V komunálním odpadu (KO) je cca 45% BRKO a jeho odkloněním se výrazně snižuje produkce SKO a tedy náklady na svoz SKO. BRO neskončí na skládkách, ale v kompostárnách či bioplynových stanicích a vytvoří se z něj komodita s pozitivní hodnotou. Je vhodné propojit využití výstupů do zemědělství.
- c) Problémem ve vztahu k nákladům je však opět zejména nereálný termín nabytí účinnosti. Tato věc může obcím naopak přinést poměrně nemalé a hlavně zbytečné navýšení nákladů. Prosazovatelé novely však tyto zcela objektivní připomínky nevyslyšeli a tato odpovědnost je tedy logicky na nich.
- d) Změna ohlášených dat k BRO. Co se týká otázky splnění cílů omezení skládkování BRO na 50% v roce 2013, zde je třeba uvést, že dlouhodobě existuje široká odborná shoda na tom, že ČR ohlásila data pro srovnávací rok 1995 v chybných a neodpovídajících hodnotách (ohlášená čísla byla citelně podhodnocena). Od chybných dat se pak odvíjí nereálně nízká hodnota cílů v jednotlivých letech. Je prokazatelné, že

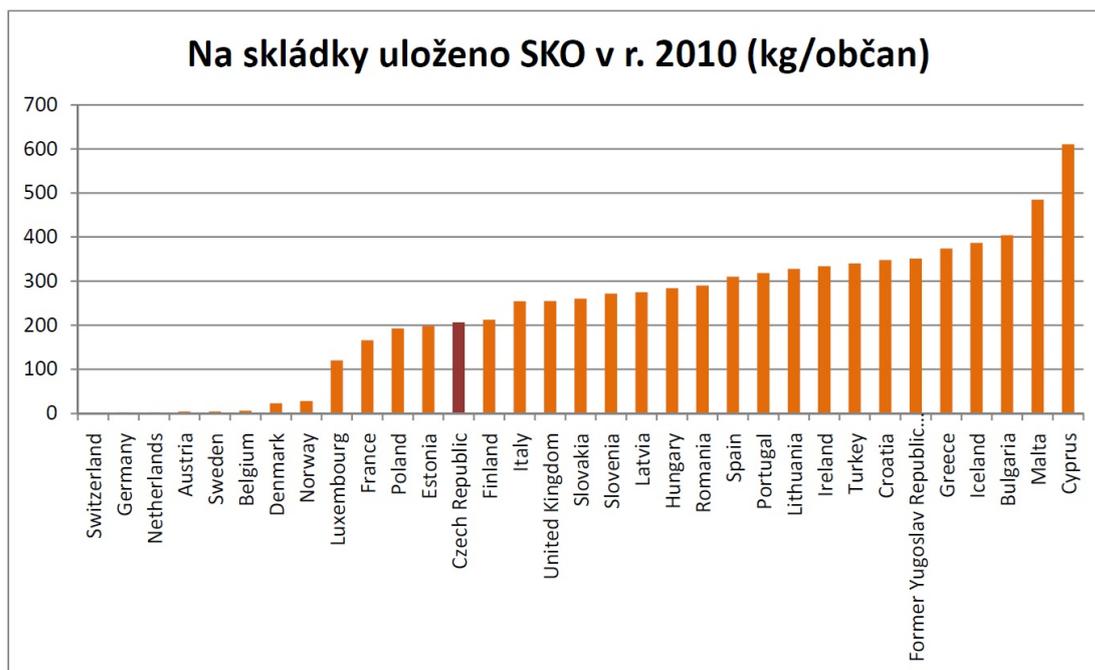
předaná data neodpovídala realitě, a proto by je ČR měla do EU korigovat tak, jak to učinily i některé ostatní státy. V opačném případě se díky dřívější chybě zbytečně zvyšují náklady obcím a dalším původcům odpadů a stát se rovněž zbytečně vystavuje možným sankcím ze strany EK. MŽP samo dlouhodobě souhlasí s tím, že data k roku 1995 jsou chybná, k jejich korekci však zatím bohužel nepřistoupilo.

3. Termín ukončení skládkování k roku 2024; novela obsahuje zákaz skládkování směšného komunálního odpadu (pozor nejen neupraveného, ale veškerého) + recyklovatelných a využitelných odpadů

- a) Tato povinnost nemůže být vymáhána po ČR přes infringement, neboť povinnost není definována v žádném platném a závazném evropském předpisu.
- b) V odborných pracovních skupinách na MŽP byla cca roční shoda na termínu omezení skládkování v roce 2025 (resp. 10 let od účinnosti povinnosti). MŽP termín roku 2025 prezentovalo i na odborných konferencích.
- c) Pro rok 2024 může být finálně shoda a ČAOH jej může podpořit. V tomto směru je však zásadní otázka, které odpady nebude možné po tomto termínu skládkovat. Úplný zákaz skládkování je z odborného hlediska zřejmý nesmysl a je nerealizovatelný (jen ze spaloven je nutně na každých 100tis tun vstupu skládkovat cca 30000 tun odpadu). Podobné je to i u zákazu skládkování veškerého SKO, tak jak bylo nyní novelou schváleno. Toto je silně kritizováno prakticky všemi partnery odborné diskuze (obce, kraje, sdružení odpadových firem, ekologové...). Jediní, kdož tomuto návrhu vyslovili podporu bylo Teplárenské sdružení. Návrh je z odborného hlediska chybný (viz níže).
- d) Skutečnost ohledně míry skládkování v ČR a EU – celková produkce směšných komunálních odpadů (SKO) v ČR je cca 3,2 mil tun v roce 2012 (v tomto parametru shoda dat MŽP ISOH i ČSÚ); skládkuje se 53.8% (rok 2012, zdroj MŽP). V ČR se tak na občana a rok skládkuje v absolutní hodnotě průměrné či podprůměrné množství komunálních odpadů ve vztahu k dalším státům. Více skládkuje např. UK; Finsko; Itálie; Slovinsko; Slovensko; Španělsko; Portugalsko; Irsko a další. Aktuální data Eurostatu (2012) pak uvádějí pro ČR přepočteno na občana 174 kg za rok.
- e) Zákaz skládkování veškerého SKO by vedl k zásadnímu navýšení nákladů na OH. Nevede k potřebě dalších úprav směšných odpadů, ale dle své dikce naopak k tomu, aby byl celý obsah sběrných nádob na SKO svážen rovnou do spaloven odpadů.
- f) Z odborného hlediska je logické přijmout zákaz skládkování neupraveného SKO s definovaným parametrem - výhřevnost. Vysvětlení – recyklovatelné odpady je zakázáno na skládky ukládat již nyní (vyhl. č. 294/2005 Sb.), na skládky se neukládají mimo jiné i proto, že mají pozitivní hodnotu; definovat využitelný odpad výčtem katalogových čísel je chybné, neboť povinnost bude obcházena jiným zařazením odpadu; ze skládek má smysl, kromě recyklovatelných odpadů odklonit odpady s obsahem energie, a ty využít v k tomu určených energetických zdrojích (paliva z odpadů, či spalovny); biologicky rozložitelný odpad se ze skládek odkloní zavedením povinnosti třídění – v obcích, kde toto opatření již dobrovolně zavedli, se to jednoznačně efektivně daří; zbylý odpad, který není ani recyklovatelný, ani biologicky rozložitelný a nemá potřebnou energetickou hodnotu se samozřejmě bude dále skládkovat.

4. Úplné omezení technického zabezpečení skládek (TZS) na strop 20%

- a) Zásadní věcná a technická chyba návrhu je omezení nikoli nezpлатněného TZS, ale veškerého TZS, tedy úplné omezení možnosti využití odpadu na TZS v míře max. 20% (stavebně-technicky); toto opatření kriticky ovlivní stavebně technickou stabilitu těles skládek – jiné množství TZS potřebuje těleso údolní skládky, jiné množství



Graf 4 – Na skládky uloženo SKO v r. 2010 (kg/občan) (zdroj údajů – Eurostat)

Výše uvedený graf zobrazuje data Eurostatu ve vztahu k míře skládkování komunálních odpadů v jednotlivých státech EU. Od roku 2008 se dále v ČR množství skládkovaných odpadů z celkové produkce odpadů citelně snižovalo, a to o 1 000 000 tun za 5 let. V absolutní hodnotě je to pokles ze 4 906 906 tun na 3 803 624 tun z celkové produkce odpadů v roce 2011 (zdroj Statistická ročenka MŽP 2012 strana 51).

potřebuje kopcovitá skládka, apod.; takové opatření je tedy silně environmentálně negativní a může způsobit nemalé škody na ŽP neboť tělesa skládek a jejich zabezpečení podléhá stavebně-technickým podmínkám konkrétního projektu skládky a příslušné technické normy; v případě realizace povinnosti navržené novelou bude logicky docházet k sesuvům těles skládek.

- b) Otázka nastavení procent je úzce spojená s nákladovostí OH pro původce zejména nebezp. odpadů, tedy většinou pro průmysl; při nastavení na hodnotu 20% to znamená zásadní zdražení nákladů průmyslu (zejména producentům nebezpečných odpadů) a omezení jeho konkurenceschopnosti. Při nevhodném nastavení, bude reálně docházet k ukládání odpadů mimo povolená zařízení, což je environmentálně neakceptovatelné. Zásadní zdražení dopadne také na rozpočet MF ve vztahu k financování sanací starých ekologických zátěží – zde bude dopad v řádech mld Kč.
- c) Objektivní nastavení procent nezaplatněného TZS je při realistickém přepočtu objemové hmotnosti skutečně využívaných odpadů cca 40% hmotnostních. Zcela hraniční hodnota je 35% hmotnostních. Důležitá je rovněž možnost využití nebezpečných odpadů na TZS na skládkách nebezpečných odpadů (často se jedná o kontaminované zeminy).
- d) Souhlasíme s důvodem navrhované změny, tedy potřeba zajištění kontroly a výběru poplatků - k zajištění většího výběru poplatků jednoznačně povede změna dosavadních objemových procent na hmotnostní v kombinaci se snížením současně výše rizikové složky poplatků, kterou má ČR doposud násobně nejvyšší na světě – v ČR je celková cena za skládkování tuny NO 6200 Kč, další nejdražší stát v EU Belgie má cenu ve výši cca 1760 Kč (zdroj ETC/SCP, 2011).

v kombinaci s řešením přes objemová procenta hlavním důvodem dosavadní neefektivnosti výběru poplatků.

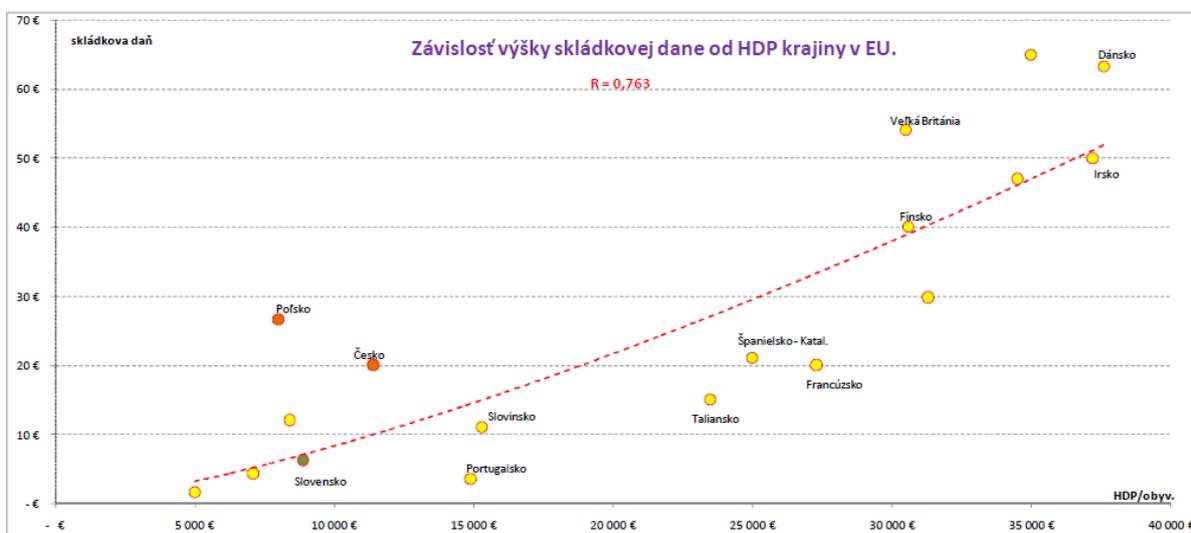
5. Otázka výše skládkovacího poplatku

Ač situace v OH navýšení poplatku dle názoru ČAOH nevyžaduje, vnímáme tlak na určité zvýšení skládkovacích poplatků. V tomto směru je však nezbytné hledat cestu maximálně efektivní s co nejmenším dopadem na občana. Objektivně v obcích neexistuje příliš prostor pro navýšení poplatků a zkušenost ukazuje, že jakékoli, byť malé navýšení poplatku je občany vnímáno velmi negativně. Obratem se citelně zvyšuje míra neplacení poplatků a roste problém s černými skládkami (situace z roku 2012 – novela zákona o místních poplatcích – navýšení z 500 Kč na 1000 Kč).

Při srovnání výší skládkovacích poplatků v ostatních státech je někdy účelově zmiňováno, že ČR má poplatek příliš nízký a je srovnávána se zeměmi jako Německo, Rakousko, Belgie, Dánsko apod., kde je poplatek citelně vyšší. Takové srovnání však logicky není objektivní a je irelevantní, neboť v porovnání není zohledněn ekonomický parametr kupní síly obyvatelstva či HDP státu. Výše poplatku pro průměrného občana v Německu či Dánsku znamená ve vztahu k výši jeho platu výrazně nižší procento nákladů než pro občana ČR s jeho násobně nižším příjmem. Při započítání těchto nezbytných proměnných je pak situace ve srovnání poplatku zcela jiná než jak ji prosazovatelé citelného zdražení prezentují – viz níže uvedený graf objektivně srovnávající i HDP (zdroj: Ing. Marek Hrabčák – Geosofting, s.r.o. Prešov).

V tomto smyslu a jak graf ukazuje je zřejmé, že poplatek v ČR je nad průměrem EU a není tedy racionální dále snižovat konkurenceschopnost ČR vyšším zdaněním svých občanů a firem (vyšší skládkovou daní) ve vztahu k ostatním státům. Pokud by však i přes tyto věcné argumenty byla politická vůle prosadit zdražení, pak ČAOH kompromisně navrhuje nárůst poplatku v součtu jednotlivých druhů poplatků max. na 700 Kč v roce 2020. Toto opatření v dostatečné míře vytvoří prostor pro ještě větší odklon odpadů od skládkování a nemá takový dopad na občany jako navrhované navýšení na 1000 Kč, které nemá ekonomickou logiku, není zřejmé, jak se k číslu došlo, apod. (je to málo pro spalovny a zbytečně moc pro recyklaci). Pokud se časem ukáže, že se nedaří odklonit dostatečné množství odpadů, vždy je možné poplatek dále navýšit. Nikdy však již není reálné poplatek snížit.

Je třeba si uvědomit, že tento poplatek je poplatkem, který platí všichni občané a firmy, tedy všichni původci odpadů.



Při debatě nad nutností navyšování poplatku je také vhodné analyzovat dosavadní data,

která ukazují, že od roku 2008 pokleslo množství skládkovaných odpadů z celkové produkce o více než 1 000 000 tun, a to bez jakéhokoli navýšení poplatku. Tento trend dále pokračuje. Odpady stále ve větší míře jdou do zpracovatelských zařízení, kterých se v posledních 6 letech vybudovaly na území ČR řádově stovky (viz Statistická ročenka ŽP rok 2012).

Vývoj nových technologií

**Präsentationen zur
Verfahrensentwicklung**

Praktické zkušenosti a závěry z pilotního testování kombinované membránové technologie pro čištění skládkových výluhů

Über erste praktische Erfahrungen bei der Anwendung einer Membran-Technologie zur Reinigung von Deponiewässern

Nataliya Savchuk¹, Petra Křížová²

Abstrakt

Řada studií se v posledních letech zabývala technologií pro úpravu komunálních a průmyslových odpadních vod, které obsahují vyšší koncentrace nebezpečných organických látek. Většina navržených technologií bohužel vykazuje buď nízkou efektivitu odstranění rozpuštěných látek, nebo vysokou technologickou a ekonomickou náročnost. Reverzní osmóza jako jedna z mála technologií poskytuje vysokou kvalitu vyčištěné vody jak od organických tak i minerálních sloučenin. Bohužel se však vykazuje poměrově vyšším objemem odpadního proudu.

V rámci výzkumu možnosti uplatnění membránových procesů v čištění vysoce koncentrovaných odpadních vod byla řešena problematika likvidace skládkových výluhů. Jedná se o velice problematické odpadní vody, které v dnešní době představují značnou ekologickou zátěž. Hlavním cílem byl vývoj „málo-odpadové“ technologie, která by splňovala požadované limity pro vypouštění vyčištěné vody do povrchových vod. Na technologii byly kladené i další nároky: mobilnost, nízká náročnost na obsluhu a dostatečná kapacita pro pokrytí sezonních výkyvů produkce odpadních vod. Neposlední roli hraje i ekonomická náročnost technologie – požadavkem bylo, aby cena zpracované odpadní vody nebyla vyšší než odvoz skládkových výluhů na komunální čistírnu odpadních vod.

Byly provedené četné laboratorní testy včetně předúpravy a možností použití membránových separačních procesů jak s modelovou tak i s reálnou odpadní vodou. Následně byla sestavena kombinovaná membránová technologická linka, která kombinovala tlakový membránový proces reverzní osmózy a elektromembránový proces elektrodialýzy pro docílení optimální kvality vyčištěné vody a snížení množství výsledného odpadního proudu. Membránovým separačním procesům předcházela fyzikálně-chemická předúprava v podobě číření a následné filtrace, která měla za cíl snížení obsahu nerozpuštěných a organických látek.

Technologická linka pro čištění skládkových výluhů byla pilotně ověřená po dobu několika měsíců v podmínkách reálné skládky komunálních odpadů. Testování bylo prováděno v teplém a převážně bezdeštném období, kdy koncentrace solí a organických látek je nejvyšší. Během pilotního testování byly dosažené stabilní parametry provozu a kvalita vyčištěné vody splňovala požadované limity. Kombinovaná technologická linka v navrženém uspořádání zároveň splňovala požadavky na mobilnost a nízkou produkci odpadního proudu – představoval cca 5 až 10 % původního objemu skládkových výluhů. Potřebná kapacita a ekonomika technologie by měla být posouzená až po provedení testování v různých sezonách, jelikož množství a kvalita skládkových výluhů je bezprostředně závislá na počasí a množství srážek.

V rámci plánovaného budoucího výzkumu je nalezení nových metod předčištění skládkových výluhů pro snížení pravděpodobností zanesení membrán. Budou otestované metody biologického předčištění v podobě kořenové čistírny a použití inovativních AOP procesů.

¹MemBrain s.r.o., Pod Vinicí 87, CZ-47127 Stráž pod Ralskem, Nataliya.Savchuk@membrain.cz

²MemBrain s.r.o., Pod Vinicí 87, CZ-47127 Stráž pod Ralskem, petra.krizova@membrain.cz

Kurzfassung

In den vergangenen Jahren befassten sich mit der Technologie zur Aufbereitung von kommunalem und des Industrieabwasser mit höheren Konzentrationen von gefährlichen organischen Stoffen eine Reihe von Studien. Die meisten der vorgeschlagenen Technologien weisen leider entweder eine geringe Effizienz bei Abbau der gelösten Stoffe oder einen hohen technologischen und wirtschaftlichen Aufwand aus. Als eine der wenigen Technologien liefert die Umkehrosmose eine hohe Qualität des Abwassers, aus dem organische sowie mineralische Verbindungen entfernt wurden. Leider weist sie aber ein verhältnismäßig höheres Volumen des Abfallstroms aus.

Im Rahmen der Untersuchung der Möglichkeiten der Anwendung von Membranen gestützten Prozessen zur Reinigung stark kontaminierter Abwasser wurde die Problematik der Behandlung des Deponiesickerwassers bearbeitet. Es handelt sich um ein sehr problematisches Abwasser, das gegenwärtig eine bedeutende Umweltbelastung darstellt. Das Hauptziel war die Entwicklung einer „abfallarmen“ Technologie, die die geforderten Grenzwerte für die Einleitung des behandelten Abwassers in das Oberflächenwasser erfüllen würde. Die Technologie sollte auch weiteren Anforderungen genügen: sie sollte mobil sein, die Bedienung sollte nicht aufwändig sein und sie sollte über eine ausreichende Kapazität für die Abdeckung der saisonalen bedingten Abwasserproduktion verfügen. Eine Rolle spielt letztendlich auch der wirtschaftliche Aufwand der Technologie – die Anforderung war, dass der Preis für das behandelte Abwasser den Preis für den Abtransport des klassischen Deponiesickerwassers zur kommunalen Kläranlage nicht übersteigen sollte.

Es wurde eine Reihe von Laboruntersuchungen einschließlich einer Vorbehandlung durchgeführt. Mit Hilfe eines Modellabwassers sowie eines tatsächlichen Abwassers wurde nach Möglichkeiten des Einsatzes von Membranen gestützten Trennungsprozessen gesucht. Folgend wurde eine kombinierte Membranen gestützte technologische Strecke zusammengestellt, in der das Verfahren der Umkehrosmose mit Druckmembrane und ein elektrochemisch betriebener Membranprozess der Elektrodialyse für das Erreichen einer optimalen Qualität des Aufbereiteten Abwassers und die Reduzierung des Volumens des Abfallstromes kombiniert wurden. Den Membranen gestützten Trennprozessen wurde eine physiko-chemische Aufbereitung in Gestalt der Klärung und einer folgenden Filtrierung vorgeschaltet mit dem Ziel, den Gehalt an ungelösten organischen Stoffen zu reduzieren.

Die technologische Strecke für die Reinigung des Deponiesickerwassers wurde im Laufe mehrerer Monate unter Bedingungen einer wirklichen Kommunalabfalldeponie geprüft. Der Testbetrieb fand in einer warmen und überwiegend regenlosen Zeit statt, wann die Konzentrationen von Salzen und organischen Stoffen die höchsten sind. Während des Testbetriebes wurden stabile Betriebskennzahlen erreicht und die Qualität des behandelten Wassers erfüllte die geforderten Grenzwerte. Gleichzeitig erfüllte die kombinierte technologische Strecke in der vorgeschlagenen Anordnung die Anforderungen hinsichtlich der Mobilität und der Produktion eines geringen Abfallstroms – dieser betrug etwa 5 –10% des ursprünglichen Volumens des Deponiesickerwassers. Die notwendige Kapazität und Wirtschaftlichkeit der Technologie sollte erst nach dem Testen während unterschiedlichen Zeitabschnitten beurteilt werden, da die Menge und Qualität des Deponiesickerwassers unmittelbar von dem Wetter und der Niederschlagsmenge abhängig sind.

Im Rahmen der geplanten zukünftigen Forschung ist das Finden von neuen Methoden zur Reinigung des Deponiesickerwassers notwendig, um die Wahrscheinlichkeit der Verschlamung der Membranen reduzieren zu können. Es werden die Methoden der biologischen Vorbehandlung in Gestalt einer Wurzelkläranlage und Anwendung von innovativen AOP-Prozessen

getestet.

Die Ergebnisse wurden im Rahmen der Bearbeitung des Projektes „Membránové Inovační Centrum (Membraneninnovationszentrum), Projekt nr. CZ.1.05/2.1.00/03.0084 erarbeitet.

1 Úvod do problematiky

Odstranění skládkového výluhu je jednou z hlavních ekologických i technických komplikací, se kterou se setkávají provozovatelé skládek. Složení průsakových vod může být velice různorodé a koncentrace jednotlivých kontaminantů závisí na stáří skládky, probíhajících chemických a mikrobiálních procesech a na aktuálních fyzikálních podmínkách prostředí. Nejnebezpečnější (toxické a karcinogenní) jsou soli těžkých kovů, fenoly, kvarterní amoniové sloučeniny, některé povrchově aktivní látky (tenzidy), meziprodukty a produkty oxidace organických látek, metabolity a toxiny produkované hnilobnými mikroorganismy a spousta dalších specifických sloučenin, které se mohou dostat na skládku. Do určité míry si s takovým znečištěním mohou poradit i přírodní samočisticí procesy. Nicméně v místě velkého nahromadění nebezpečných odpadů je ve většině případů třeba použít efektivnější způsoby čištění, aby nedocházelo k průnikům nebezpečných látek spolu s dešťovými vodami do povrchových a podzemních vod.

Řada studií se v posledních letech zabývala technologií pro úpravu komunálních a průmyslových odpadních vod, které obsahují vyšší koncentrace nebezpečných organických látek. Většina navržených technologií bohužel vykazuje buď nízkou efektivitu odstranění rozpuštěných látek, nebo vysokou technologickou a ekonomickou náročnost. Reverzní osmóza jako jedna z mála technologií poskytuje vysokou kvalitu vyčištěné vody jak od organických tak i minerálních sloučenin. Bohužel se však vykazuje poměrově vyšším objemem odpadního proudu.

V rámci výzkumu možnosti uplatnění membránových procesů v čištění vysoce koncentrovaných odpadních vod byla řešena problematika likvidace skládkových výluhů. Hlavním cílem byl vývoj nízkoodpadové technologie která by splňovala požadované limity pro vypouštění vyčištěné vody do povrchových vod. Na technologii byly kladené i další nároky: mobilnost, nízká náročnost na obsluhu a dostatečná kapacita pro pokrytí sezonních výkyvů produkce odpadních vod. Neposlední roli hraje i ekonomická náročnost technologie – požadavkem bylo, aby cena zpracované odpadní vody nebyla vyšší než odvoz skládkových výluhů na komunální čistírnu odpadních vod.

Byly provedené četné laboratorní testy včetně předúpravy a možností použití membránových separačních procesů jak s modelovou tak i s reálnou odpadní vodou. Následně byla sestavena kombinovaná membránová technologická linka, která kombinovala tlakový membránový proces reverzní osmózy a elektromembránový proces elektrodialýzy pro docílení optimální kvality vyčištěné vody a snížení množství výsledného odpadního proudu. Membránovým separačním procesům předcházela fyzikálně-chemická předúprava v podobě čiření a následné filtrace, která měla za cíl snížení obsahu nerozpuštěných a organických látek.

2 Základní technologická linka

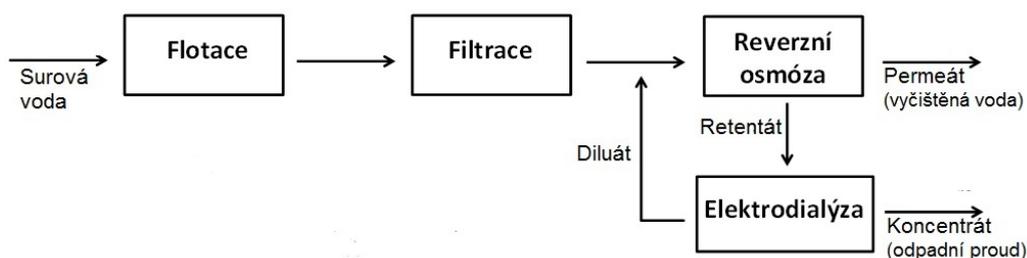
Na základě výsledků analýz vzorků výluhové vody za bezdešťového počasí a informací o množství a kvalitě vznikajících skládkových výluhů, byl rozpracován technologický koncept technologické linky čištění skládkových výluhů, která byla vyzkoušená při pilotním testování na skládce komunálního odpadu po dobu 2 měsíců. Jedná se o poměrně jednoduchý systém, jehož hlavní součástí je tlakový membránový proces – reverzní osmóza. Bylo provedeno laboratorní a pilotní testování jednotlivých součástí technologického návrhu.

Čistírna skládkových výluhů obsahovala 3 základní technologické stupně. Prvním stupněm technologické linky byla fyzikálně-chemická předúprava, která se skládala s flotací, dosazovací nádrže a pískové filtrace.

Flotace byla provozována s použitím koagulačního a flokulačního činidla pro zvýšení účinností odstranění koloidních látek. V laboratorních podmínkách byly provedeny koagulační a flokulační testy pro nalezení vhodných činidel, jejich optimálních dávek a zjištění efektivity procesu koagulace, a následně byly provedeny pilotní testy flotační jednotky jak v laboratoři s použitím reálné skládkové vody, tak i přímo na skládce. Dále pro účely pilotního testování byl zvolen tlakový pískový filtr s vícevrstvou náplní „triple medium“, která má výborné separační účinky a částečně odstraní i zbytkové železo z vody. Sloužil jako pojistný stupeň před membránovou technologií, která je velice náročná na přítomnost nerozpouštěných látek ve vodě.

Druhým a hlavním technologickým krokem pilotní linky na čištění skládkových výluhů byla reverzní osmóza se speciálními membránami, které obsahují ochrannou vrstvu proti foulingu (zanášení). V tomto stupni docházelo k odstranění až 98% veškerých látek rozpuštěných ve vodě.

V laboratorních podmínkách byl rovněž testován ještě jeden technologický stupeň čistírny skládkových výluhů, a to proces elektrodialýzy. Důvodem byla snaha minimalizace objemu vzniklého odpadního proudu (tzv. retentátu) z reverzní osmózy. Procesem elektrodialýzy lze produkovat koncentrovaný roztok s maximální koncentrací, který představuje finální odpadní proud a musí se zpracovávat jako nebezpečný odpad. Objemové množství koncentrovaného roztoku však tvoří pouze 20 – 25 % původního objemu zpracovaného retentátu z reverzní osmózy. Odsolený proud z elektrodialýzy je vrácen zpět do technologie jako nástřík do reverzní osmózy. Celý schematický návrh integrované technologie je uveden na Obrázku 1.



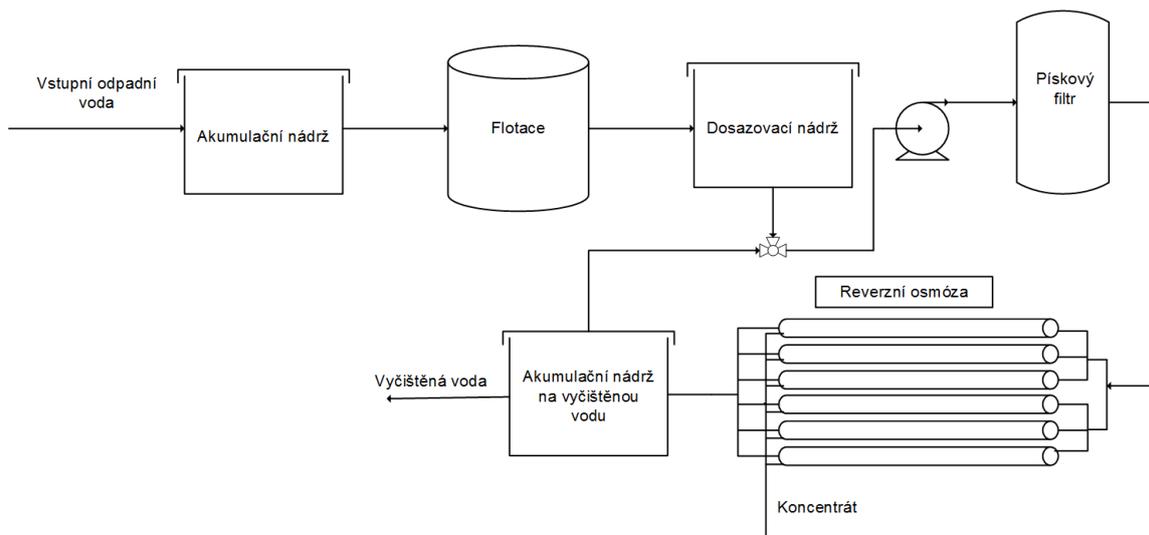
Obrázek 1: Návrh technologického uspořádání základní technologické linky čištění skládkových výluhů.

3 Výsledky pilotního testování

Technologická linka pro čištění skládkových výluhů byla pilotně ověřena po dobu několika měsíců v podmínkách reálné skládky komunálních odpadů. Testování bylo prováděno v teplém a převážně bezdeštném období, kdy koncentrace solí a organických látek je nejvyšší. Technologická linka byla umístěna ve standardním kontejneru 20'. Sestava je zobrazená na následném schématu. Koncentrát s reverzní osmózy byl následně zpracováván elektrodialýzou v laboratorních podmínkách.

Během pilotního testování technologie byla provedena četná analytická stanovení hlavních sledovaných složek v surové zpracovávané skládkové vodě i v jednotlivých proudech po každém technologickém stupni. Hlavním účelem tohoto monitoringu bylo nalezení optimálních podmínek navrhované předúpravy vody před reverzní osmózou. Průměrné výsledky jsou uvedeny v Tabulce 1.

Koncentrát s elektrodialýzy, který je hlavním odpadním proudem celé technologie, měl velice rozkolísané hodnoty koncentrace jednotlivých polutantů a jeho složení vždy bylo velice závislé na kvalitě vstupní vody – a to jak na chemickém složení, tak i na teplotě. Průměrné složení koncentrátu je uvedeno v Tabulce 2, nicméně nelze takové průměrné složení považovat za směrodatný výsledek.



Obrázek 2: Schéma technologické linky, testované na skládce tuhých odpadů.

Tabulka 1: Srovnání některých ukazatelů ve skládkovém výluhu a vyčištěné vodě z jednotlivých stupňů technologie.

Veličina	Skládkový výluh	Flotace	Filtrace	Reverzní osmóza (permeát)	Elektrodialýza (diluát)
CHSK _{Cr} [mg O ₂ /l]	883	693	680	7	1440
NL [mg/l]	81	62	19	<5,0	38
RL [mg/l]	4956	4693	4686	153	748
N _{amon} [mg/l]	530	526	527	42	21
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	170	167	169	<5,0	148
Ca ²⁺ [mg/l]	122	84	82	0,2	33
Na ⁺ [mg/l]	903	878	897	37	114
vodivost [mS/cm]	10,6	10,3	10,3	0,3	6,3

Je třeba poznamenat, že během pilotního testování docházelo k určitým komplikacím, které byly způsobené hlavně charakterem a proměnlivostí kvality skládkových výluhů. Hlavní komplikace, které byly zaznamenány během několikaměsíčního pilotního testování lze shrnout do těchto bodů:

- Při změnách počasí a větších srážkách docházelo k určité změně kvality vody, a koagulační činidlo přestávalo mít dostatečnou účinnost. V důsledku toho netvořily se vločky v odpadní vodě a následné kroky předčištění jako dosazovací nádrž a pískový filtr nemohly zabránit přísunu většího množství nerozpuštěných látek do membránové části technologie. Po několika experimentech bylo zjištěno, že podmínkou pro tvoření vloček s použitím vybraných koagulačních a flokulačních prostředků je mírně zásadité pH. Při nastavení automatického dávkování roztoku hydroxidu sodného pro udržení hodnoty pH ve flotační nádrži na úrovni cca 8,5 byl dosažen stabilní hod předúpravy.
- Surová odpadní voda obsahuje určité množství mikroorganismů, které se dostávají na membrány a mohou jednak časem poškodit membrány a hlavně značně ovlivnit kvalitu vyčištěné vody. Aby k tomuto nedocházelo je třeba buď pravidelně provádět chemické čištění anebo dávkovat biocidní přípravky. Během pilotního testování tento problém byl eliminován častým chemickým čištěním.

Tabulka 2: Průměrné složení koncentráту elektrodialýzy.

Ukazatel	Koncentrát
pH	7,73
rozp. látky, mg/l	12460
nerozp. látky, mg/l	200
CHSK _{Cr.} mg O ₂ /l	1440
Cl ⁻ , mg/l	5670
SO ₄ ²⁻ , mg/l	2442
Mn, mg/l	1829
Al, mg/l	51
B, mg/l	9,70
Ca, mg/l	364
Cr, mg/l	246
Cu, mg/l	0,0534
Fe, mg/l	9,24
K, mg/l	2830
Li, mg/l	947
Mg, mg/l	241
Mn, mg/l	1,97
Na, mg/l	2270
Si, mg/l	23,8

- Velice důležitou role odehrává i teplota vstupní vody. Nižší teplota výrazně ovlivňuje účinnost předúpravy, a v zimních měsících by se pravděpodobně musely hledat účinnější koagulační přípravky. Pro jejich ověření by bylo potřeba provést sérii pilotních testování v chladnějším období.

4 Možnosti rozšíření předúpravy

4.1 O₃/H₂O₂

Pro splnění limitů vody před vstupem do reverzní osmózy, a tím i prodloužení doby životnosti membránových modulů, je třeba snížit koncentraci organických látek ve vodě po předúpravě. Jednou z možností, která připadá v úvahu je zařazení dalšího stupně úpravy vody. Zvolen byl AOP proces ozon/peroxid vodíku s následným průtokem vody UV komorou osazenou středotlakou výbojkou, kde dojde k rozložení zbylého rozpuštěného ozonu a dalšímu dočištění vody AOP procesem ozon/UV. Jedná se o velice účinnou metodu, která dovoluje odstranit málorozložitelné organické látky a zároveň zoxidovat zbytkové železo ve vodě na nerozpustný oxid železitý.

Ve spolupráci s ústavem Technologie vody VŠCHT Praha byly provedené testy ohledně možnosti použití této metody. Z výsledků praktických experimentů se prokázalo, že touto metodou lze dosáhnout účinnosti odstranění organických látek v reálné skládkové vodě ze skládky tuhých odpadů až 65% a v průběhu reakce bylo vysráženo i určité množství železa. Tento krok může být aplikován v technologické lince čistírny skládkových výluhů jako velice účinná a provozně nenáročná náhrada aerační kolony, kdy do vody se nepřidávají chemické látky, které mohou zhoršit kvalitu odtoku.

4.2 Fentonová reakce

Jedná se o neselektivní a účinnou metodu odstranění organických látek, která taky patří do skupiny AOP procesů. Samotný rozklad probíhá vlivem peroxidu vodíku za katalytického

působení železnatých iontů v kyselém prostředí.

Jelikož pro následnou koagulaci se používá dávkování železa, lze využít této skutečnosti a zařadit do linky čistírny skládkových výluhů Fentonovu reakci jako nultý stupeň předčištění - před flotační jednotkou. V tomto případě do reaktoru, umístěného před flotací, se dává železnatá sůl, peroxid vodíku a kyselina. Samotná reakce probíhá při dostatečně nízké hodnotě pH a následně voda před flotací se musí zpět alkalizovat, aby proběhl proces koagulace.

Podle laboratorních testů, provedených se vzorkem reálné skládkové vody ze skládky, lze odhadnout účinnost odstranění organických látek až 42%. I přes to, že investiční náklady pro tuto technologii jsou poměrně nízké, jednalo by se o dávkování většího množství kyseliny pro snížení hodnoty pH na úroveň přijatelnou pro Fentonovu reakci, a pak i následnou alkalizaci.

5 Závěr

Technologická linka pro čištění skládkových výluhů byla pilotně ověřená po dobu několika měsíců v podmínkách reálné skládky komunálních odpadů. Testování bylo prováděno v teplém a převážně bezdeštném období, kdy koncentrace solí a organických látek je nejvyšší. Během pilotního testování byly dosaženy stabilní parametry provozu a kvalita vyčištěné vody splňovala požadované limity. Kombinovaná technologická linka v navrženém uspořádání zároveň splňovala požadavky na mobilnost a nízkou produkci odpadního proudu – představoval cca 5 až 10% původního objemu skládkových výluhů. Potřebná kapacita a ekonomika technologie by měla být posouzená až po provedení testování v různých sezonách, jelikož množství a kvalita skládkových výluhů je bezprostředně závislá na počasí a množství srážek.

Výsledky pilotního testování lze shrnout do následujících bodů:

- Během pilotního testování technologické linky skládkových výluhů byly dosaženy stabilní podmínky provozu, a kvalita odtékající vyčištěné vody byla prakticky stejná i přes to, že koncentrační složení vstupující vody se měnilo v závislosti na počasí.
- Dvoustupňová předúprava – flotace a písková filtrace – se jeví jako dostatečná pro danou vodu. Výsledky laboratorních testů potvrdily, že flotací lze odstranit až 60% nerozpuštěných látek ve vodě a zároveň i podstatně snížit koncentraci organických látek. To je však dosahováno především při aplikaci vysokých provozních dávek chemikálií a vyšší koncentraci trojmocných iontů v již vyčištěné vodě – což by mohlo poškodit membrány následujících technologických stupňů.
- Reverzní osmóza se ukázala jako účinný a energeticky nenáročný nástroj čištění kontaminovaných vod. V průběhu pilotáže byla reverzní osmóza provozována za poměrně nízkého tlaku - pod 2 MPa, přičemž bylo dosaženo konverze 75%. Další membránový proces – elektrodialýza – může být zařazen do technologie čištění kontaminovaných vod jako nenáročná technologie pro podstatnou minimalizaci odpadního proudu – přibližně 20-25% původního objemu retentátu.
- Účinnosti odstranění kontaminantů ze vstupního roztoku reverzní osmózu dosahuje až 97%. Ale i přes to je koncentrace některých látek ve vyčištěné vodě, zejména amoniakálního dusíku, příliš vysoká. V případě následného vypouštění vyčištěné vody do vod povrchových by se jednalo o překročení výpustních limitů a pro vyřešení tohoto problému by bylo nutné zařadit další technologický stupeň.

V rámci plánovaného budoucího výzkumu je nalezení nových metod předčištění skládkových výluhů pro snížení pravděpodobnosti zanesení membrán. Budou otestované metody biologického předčištění v podobě kořenové čistírny a použití inovativních AOP procesů.

Literatura

- [1] M. Kubal, J. Burkhard, a M. Březina. Dekontaminační technologie, FRVŠ 0621/F1, 2001.
- [2] S. Renou, J. G. Givaudan, S. Poulain, F. Dirassouyan, a Moulin. Landfill leachate treatment: Review and opportunity, J Hazard Mater. Feb 11; 150(3): 468-93., 2007.
- [3] Z. Honzajková, M. Kubal, M. Podhola, a kol. Membránové technologie a jejich použití při čištění podzemních vod a skládkových výluhů, Chem. Listy, 105: 245-250, 2011.
- [4] B. Bruggen a kol. A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production, Environmental Progress, 22 (1): 46-56, 2003.
- [5] L. Machuča a D. Tvrzník. Continuous electrodialysis – scale up from laboratory to industrial modele, Electromembrane Processes and Materials, ISBN 978-80-905035-3-3, L6-4, 2012.

Testování metod k plošnému průzkumu mocnosti rekultivačních vrstev na skládkách

Prüfung von Methoden zur flächenhaften Erkundung der Mächtigkeit von Rekultivierungsschichten auf Deponien

Thomas Hohlfeld¹, Thomas Dörrer², Claudia Sandig³, Andreas Krellmann⁴, Axel Pörschke⁵

Abstrakt

Ve spolupráci se společností GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH s.r.o. byly v rámci výzkumného a vývojového projektu (podpořeného z prostředků EU a Svobodného státu Sasko) testovány metody zjišťování mocnosti rekultivačních vrstev. Vhodnou metodou plošného průzkumu se ukázalo být 2D-geoelektrické měření odporu. V kombinaci s kutacími pracemi pro ověření a kalibraci výsledků byla potvrzena hloubka rekultivační vrstvy. Cílem bylo zaručení funkce a úkolu rekultivačních půd a zabránění nevratným škodám na těsnících prvcích.

Kurzfassung

In Zusammenarbeit mit der GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH wurden im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts (gefördert durch die EU und den Freistaat Sachsen) Methoden zur Erkundung der Rekultivierungsschichtmächtigkeit getestet. Die 2D-geoelektrische Widerstandsmessung stellte sich dabei als geeignete Methode zur flächendeckenden Erkundung heraus. In Kombination mit Schürfen zum direkten Nachweis und zur Kalibrierung der Geophysikergenergebnisse konnten die Mächtigkeiten der Rekultivierungsschicht nachgewiesen werden, um die Funktionen und Aufgaben des Rekultivierungsbodens zu gewährleisten und irreversible Schäden der Dichtungskomponenten zu vermeiden.

Chybí souhlas se zveřejněním příspěvku.

Zustimmung zur Veröffentlichung des Beitrages fehlt.

¹GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH, Bautzner Straße 67, D04347 Leipzig

²GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH, Bautzner Straße 67, D04347 Leipzig

³CWH Ingenieurgesellschaft mbH, Moritzburger Weg 67, D-01109 Dresden

⁴CWH Ingenieurgesellschaft mbH, Moritzburger Weg 67, D-01109 Dresden, a.krellmann@cwh-ing.de

⁵CWH Ingenieurgesellschaft mbH, Moritzburger Weg 67, D-01109 Dresden

Změny klimatu – Nová situace na skládkách?

Klimawandel – eine neue Situation für Deponien?

INTERKLIM – klimatická kooperace pro česko-saské pohraničí

INTERKLIM - Klimakooperation für den sächsisch-böhmischen Grenzraum

Nils Feske¹

Abstrakt

Globální změny klimatu mají různou regionální charakteristiku. Pro cílené přizpůsobení se klimatickým změnám je nutno zohlednit dosavadní i budoucí změny klimatu v přeshraničních souvislostech. V rámci projektu INTERKLIM, podpořeného z programu Cíl 3, vytvořil Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii a Český Ústav globální změny (Czech Globe) jednotnou znalostní a informační základnu ke změnám klimatu v česko-saském pohraničí.

V centru pozornosti projektu je výměna, zpracování a společné vyhodnocení dat ze sledování klimatu za uplynulá desetiletí. Kromě toho jsou vytvářeny a vyhodnocovány české a saské regionální projekce klimatu pro 21. století. Odhad šíře různých možných budoucích scénářů vývoje klimatu se vytváří na základě různých scénářů emisí skleníkových plynů.

Kurzfassung

Der globale Klimawandel ist regional sehr unterschiedlich ausgeprägt. Für eine zielorientierte Anpassung an den Klimawandel ist es notwendig, bisherige und auch zukünftige Klimaänderungen in einem grenzüberschreitenden Zusammenhang zu betrachten. Im Rahmen des Ziel 3-Projekts INTERKLIM erarbeiten das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie und das tschechische Institut für globalen Wandel (Czech Globe) eine einheitliche Wissens- und Informationsbasis zum Klimawandel im sächsisch-tschechischen Grenzraum.

Im Mittelpunkt des Projekts stehen der Austausch, die Aufbereitung und die gemeinsame Auswertung klimatischer Beobachtungsdaten der vergangenen Jahrzehnte. Zudem werden tschechische und sächsische regionale Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert entwickelt und ausgewertet. Die Abschätzung der Bandbreite verschiedener, zukünftig möglicher Klimaentwicklungen erfolgt anhand unterschiedlicher Treibhausgas-Emissionsszenarien.

1 Zielstellung und Projektgebiet

1.1 Ziele des Projekts

- Gemeinsame Diagnose des Klimas für den Zeitraum 1961 – 2010
- Entwicklung, Auswertung und Bereitstellung einer grenzübergreifenden Projektion der zukünftigen Klimaentwicklung bis ins Jahr 2100 auf Grundlage aktueller wissenschaftlicher Methoden

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat 51 Klima, Luftqualität, Pillnitzer Platz 3, D-01326 Dresden, nils.feske@smul.sachsen.de

- Regional differenzierte Analyse relevanter Klimaparameter unter Berücksichtigung der komplexen orographischen Ausgangsbedingungen
- Initiierung und Verbesserung des grenzüberschreitenden Austausches von Fachinformationen zum Klimawandel
- Vermittlung der Projektergebnisse an Akteure aus den Bereichen Umwelt und Naturschutz, Regionalplanung, Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Tourismus und öffentliche Verwaltung
- Information der Bevölkerung im Grenzraum über den Klimawandel durch Veranstaltungen, Vorträge, Publikationen und Informationstafeln

1.2 Die Projektregion

Vielfältige Mittelgebirgslandschaften prägen die INTERKLIM-Projektregion. Von Südwest nach Nordost bestimmen Elstergebirge, Vogtland, Erzgebirge, Elbsandsteingebirge, Lausitzer Bergland und Zittauer Gebirge den sächsisch-tschechischen Grenzraum. Die spezifischen orographischen Gegebenheiten prägen die klimatischen Verhältnisse in den einzelnen Regionen. Insbesondere Lage und Ausrichtung des Erzgebirges beeinflussen die regionalklimatische Ausprägung großräumiger Zirkulationsmuster (Luv- und Lee-Effekte). Vor dem Hintergrund des Klimawandels stellt diese orographische und klimatische Komplexität besondere Anforderungen an ein zukunftsfähiges, wissenschaftlich fundiertes und grenzübergreifendes Umweltmanagement.



Abbildung 1: INTERKLIM Projektregion

2 Stetiger Temperaturanstieg in Frühjahr und Sommer

Die höchsten Jahresmitteltemperaturen treten im sächsischen Tiefland und im Nordböhmisches Becken auf, während die Gipfel des Riesengebirges die niedrigsten Werte aufweisen.

Im Osten des Projektgebietes führen verstärkt kontinentale Klimaeinflüsse zu größeren Temperaturunterschieden zwischen Winter und Sommer als in weiter westlich gelegenen Gebieten, welche einem größeren Einfluss maritimer Luftmassen atlantischen Ursprungs ausgesetzt sind.

Die Jahresmitteltemperatur im Projektgebiet betrug 8,2 °C im Zeitraum 1991 – 2010 – eine Erwärmung um 0,7 °C im Vergleich zum Zeitraum 1961 – 1990. Die letzte Dekade des Untersuchungszeitraums (2001 – 2010) war dabei mit 8,3 °C die wärmste im Untersuchungszeitraum, die erste (1961 – 1970) mit 7,3 °C die kälteste. Insbesondere im Frühjahr und im Sommer ist sowohl dekadisch als auch im Vergleich beider Untersuchungszeiträume ein stetiger Anstieg der Mitteltemperaturen zu beobachten. Hier stieg im Zeitraum 1991 – 2010 im Vergleich zu 1961 – 1990 die Temperatur um jeweils etwa 1 °C an. Die Erwärmung im Frühjahr führte zu einer Verfrühung des Vegetationsbeginns um ca. 8 Tage, während das Ende der Vegetationsperiode im Herbst keine relevanten Änderungen aufwies.

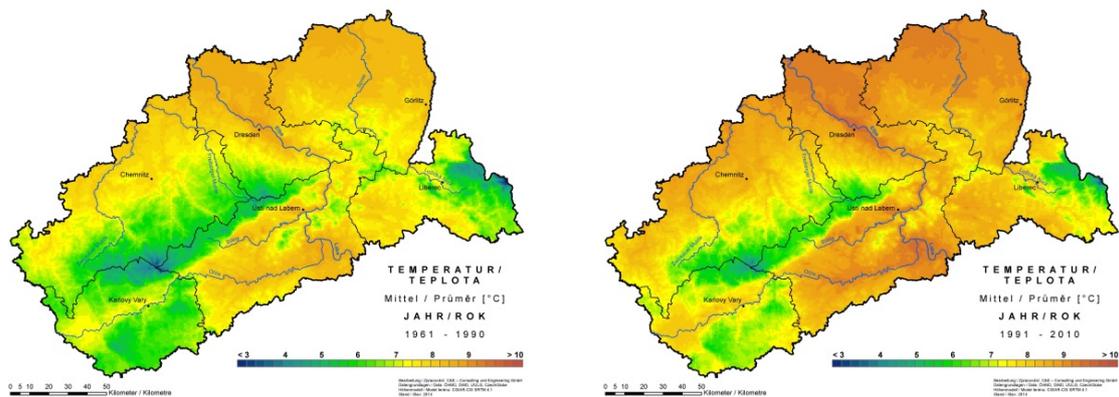


Abbildung 2: Regionale Temperaturentwicklung in den Zeiträumen 1961 – 1990 und 1991 – 2010.

Das Temperaturregime ist erheblichen zeitlichen Schwankungen ausgesetzt. Dazu zählen sowohl kürzere Hitze- oder Kälteperioden als auch ganze Jahreszeiten oder Jahre mit außergewöhnlich hohen oder niedrigen Temperaturen. Im Untersuchungszeitraum 1961 – 2010 sticht insbesondere der Zeitraum von Juli 2006 bis Juni 2007 heraus. Flächendeckend wurden hier Anomalien von ca. 3 °C gegenüber dem langjährigen Durchschnitt erreicht. Diese Periode war mit großem Abstand wärmer als jeder andere Jahreszeitraum der vergangenen mehr als 120 Jahre. Aufeinanderfolgend waren Herbst 2006, Winter 2006/07 und Frühling 2007 die wärmsten Jahreszeiten im Projektgebiet.

3 Niederschlagszunahme in Sommer und Herbst

Die Jahresniederschlagssumme im Projektgebiet reicht von ca. 400 mm im trockenen Nordböhmisches Becken bis über 1.600 mm auf den Gipfeln des Riesengebirges. Charakteristisch ist eine Niederschlagszunahme mit ansteigender Höhenlage. Der mittlere jährliche Niederschlag im Projektgebiet betrug ca. 766 mm im Zeitraum 1991 – 2010 und ist damit ca. 7 % höher als im Vergleichszeitraum 1961 – 1990 (715 mm). Diese Zunahme ist unter anderem auf das vermehrte Auftreten großräumiger Extremniederschlagsereignisse (z. B. in den Jahren 2002 und 2010) zurückzuführen. Die größten Niederschlagssummen werden im Untersuchungsgebiet typischerweise im Sommer gemessen – 258 mm waren es im Zeitraum 1991 – 2010 bzw. 230 mm im Zeitraum 1961 – 1990. In den übrigen Jahreszeiten liegt die mittlere Niederschlagssumme etwa bei 150 bis 180 mm. Trends der Niederschlagsentwicklung zwischen den Beobachtungszeiträumen unterscheiden sich zum Teil deutlich voneinander. So stieg die Niederschlagssumme im Sommer um 12 % und im Herbst um 11 % an, während sie sich im Winter und im Frühjahr kaum veränderte.

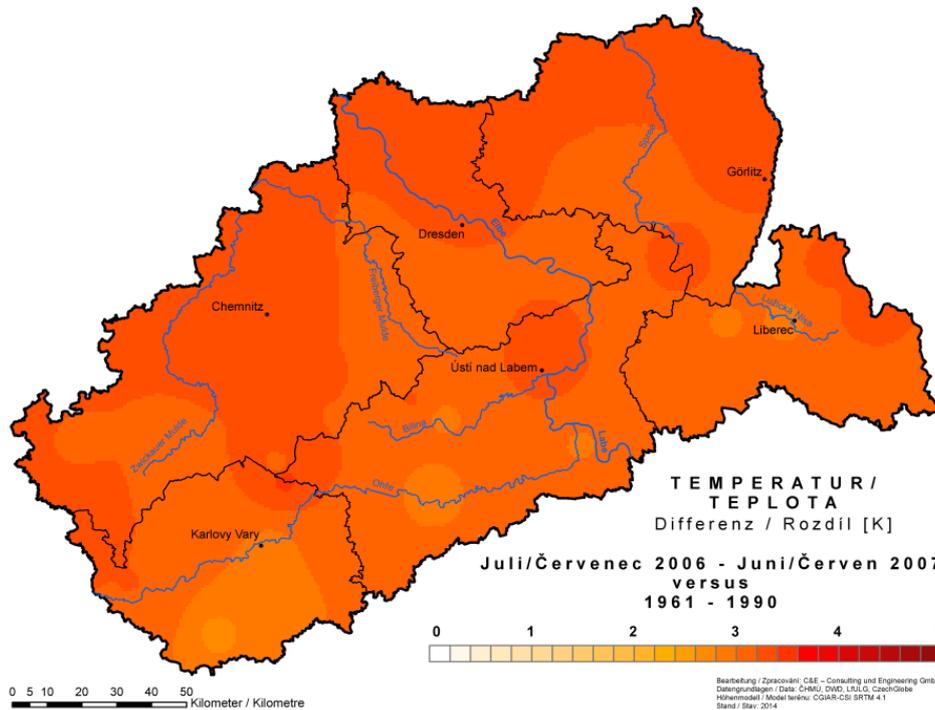


Abbildung 3: Räumliche Verteilung der Temperaturdifferenzen in der Projektregion von Juli 2006 bis Juni 2007 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 – 1990 in °C

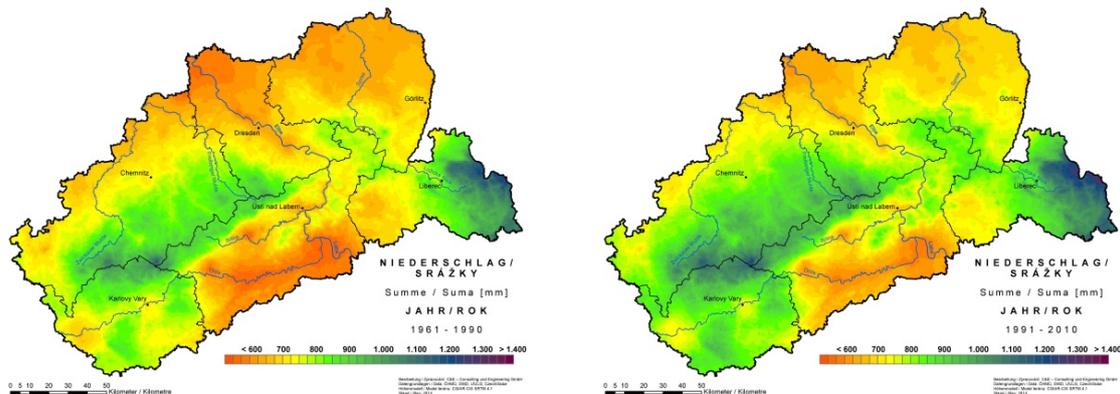


Abbildung 4: Regionale Niederschlagsentwicklung in den Zeiträumen 1961 – 1990 und 1991 – 2010.

Im Zusammenhang mit einer klassischen »Vb-Wetterlage« fielen am 12. August 2002 von Nordsachsen bis nach Nordböhmen hinein Rekordniederschläge, die eines der größten Hochwasserereignisse der vergangenen Jahrhunderte auslösten. Angereichert mit sehr feuchter Luft aus dem Mittelmeerraum zog das Tiefdruckgebiet »Ise« östlich der Alpen entlang nach Tschechien, Sachsen und Polen und wurde dort nahezu stationär. Eine kräftige Nordströmung sorgte für extreme Stauniederschläge, vor allem am Erzgebirgsnordrand. Innerhalb von 24 Stunden fielen großflächig mehr als 100 mm Niederschlag, im östlichen Erzgebirge flächendeckend mehr als 200 mm, und im Raum Altenberg/Zinnwald über 300 mm. Die in Zinnwald von 8 bis 8 Uhr MESZ gemessene Niederschlagsmenge von 312 mm (von 5 bis 5 Uhr MESZ wurden sogar 353 mm registriert) stellt die höchste Regenmenge dar, die je in Deutschland aufgezeichnet wurde.

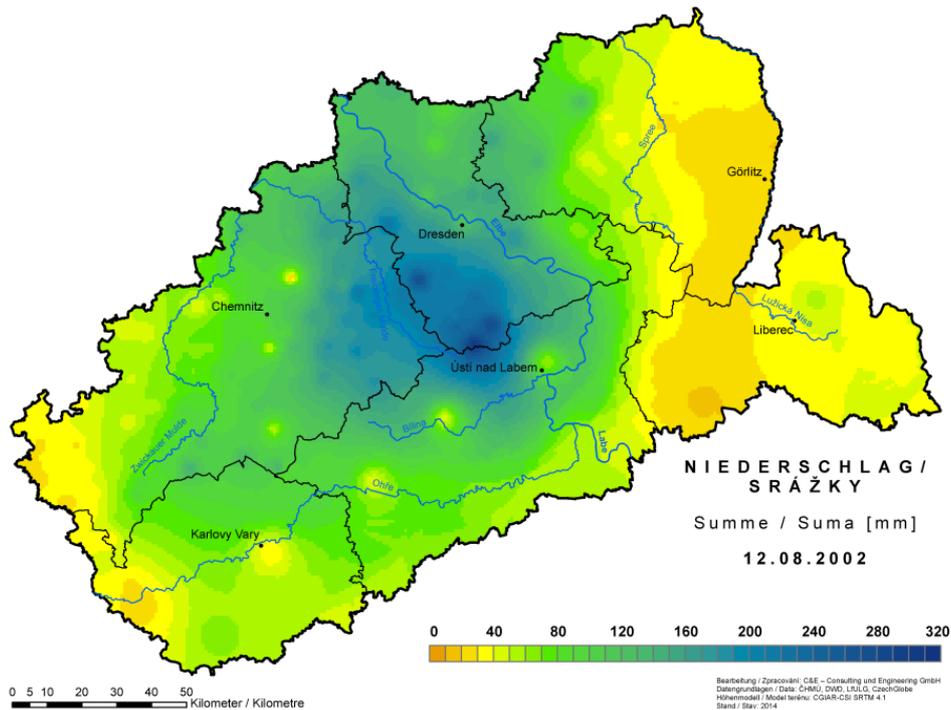


Abbildung 5: Verteilung der Niederschlagsmenge am 12. August 2002

4 Die Beeinflussung des Klimas im Grenzraum durch Wetterlagen

Neben globalen Faktoren (wie der Zunahme von klimarelevanten Treibhausgasen in der Troposphäre) ist die Häufigkeit von Wetterlagen bedeutsam für die langfristige Klimavariabilität der Region. Beispielsweise führte die Zunahme von Westwetterlagen ab den späten 1980er Jahren, bei gleichzeitiger Abnahme von Wetterlagen mit östlicher Anströmung, zu vergleichsweise milderem Wintern. Im Sommer stieg die Häufigkeit von Wetterlagen, die durch ausgedehnte Gebiete tiefen Luftdrucks über oder nahe der Projektregion gekennzeichnet sind (Tief- und Trogwetterlagen), ab den späten 1990er Jahren deutlich an. Dies resultierte u. a. in einer Häufung extremer Hochwasserereignisse (z. B. Oderhochwasser 1997, Elbehochwasser 2002 und 2013, Neißehochwasser 2010).

Die nachfolgenden Abbildungen beschreiben charakteristische Temperatur- und Niederschlagsanomalien regional bedeutsamer Wetterlagen für Winter- und/oder Sommerhalbjahr.

4.1 Temperatur

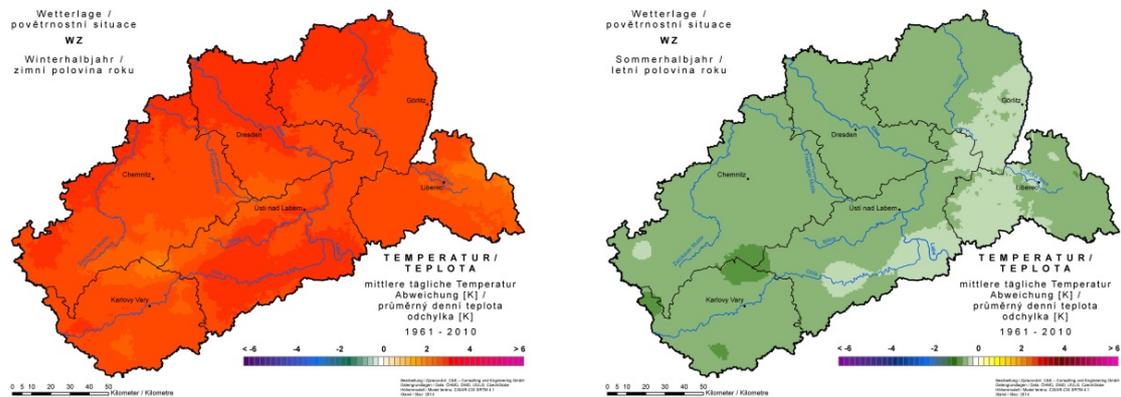


Abbildung 6: Die Zyklonale Westlage (WZ). Die mit Abstand häufigste Wetterlage trat im Zeitraum 1961 – 2010 an ca. jedem 6. Tag (16 %) auf (im Vergleichszeitraum 1991 – 2010 häufiger als im Referenzzeitraum 1961 – 1990). Tiefausläufer führen maritime Luftmassen atlantischen Ursprungs heran, weshalb die WZ im Winter, insbesondere im Tiefland, durch milde Temperaturen gekennzeichnet ist, während sie im Sommer eher kühl daherkommt. Aufgrund ihrer Häufigkeit ist die WZ auch ein bedeutsamer Niederschlagslieferant.

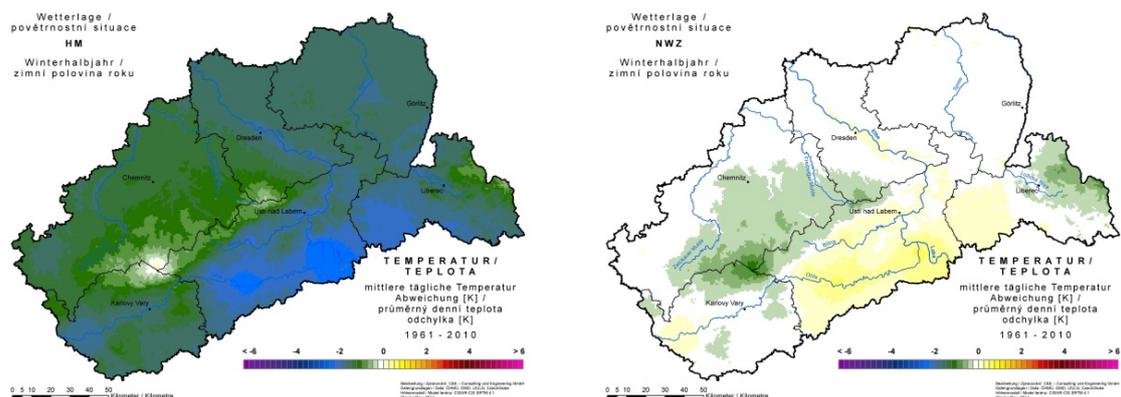


Abbildung 7: Hoch Mitteleuropa (HM) und zyklonale Nordwestlage (NWZ). Im Winterhalbjahr bilden sich durch geringe Sonneneinstrahlung und hohe nächtliche Ausstrahlung häufig Inversionswetterlagen aus, das heißt, die normale Temperaturabnahme mit der Höhe kehrt sich um. Ein gutes Beispiel dafür ist das HM, bei dem die Kammlagen von Erzgebirge und Riesengebirge positive Temperaturabweichungen aufweisen, während im sächsischen Flachland und, noch deutlicher ausgeprägt im Nordböhmisches Becken niedrige Temperaturen vorherrschen. Bei windintensiven Wetterlagen wie der NWZ wird die Inversion selbst im nebelreichen Böhmisches Becken ausgeräumt, weshalb dort, im Gegensatz zum restlichen Projektgebiet, dann positive Temperaturabweichungen vorherrschen.

4.2 Niederschlag

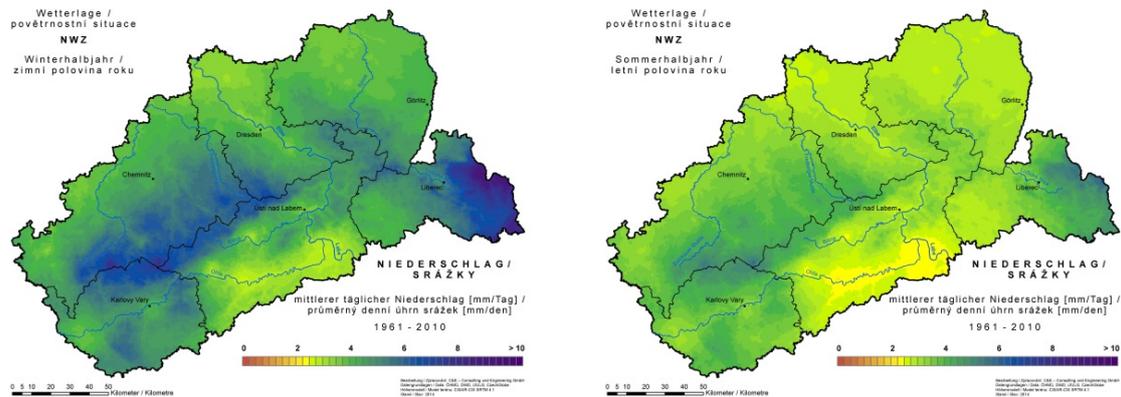


Abbildung 8: Zyklonale Nordwestlage (NWZ). Kühle Luftmassen aus dem Nordatlantik strömen bei dieser Wetterlage gegen die Kammlagen der Mittelgebirge im Grenzraum und des Riesengebirges und werden zum Aufsteigen gezwungen, weshalb die NWZ im Gebirge, insbesondere im Winterhalbjahr, die kräftigsten Niederschläge bringt. Die Niederschlagsmengen der windabgewandten nordböhmisches Gebiete sind dagegen gering.

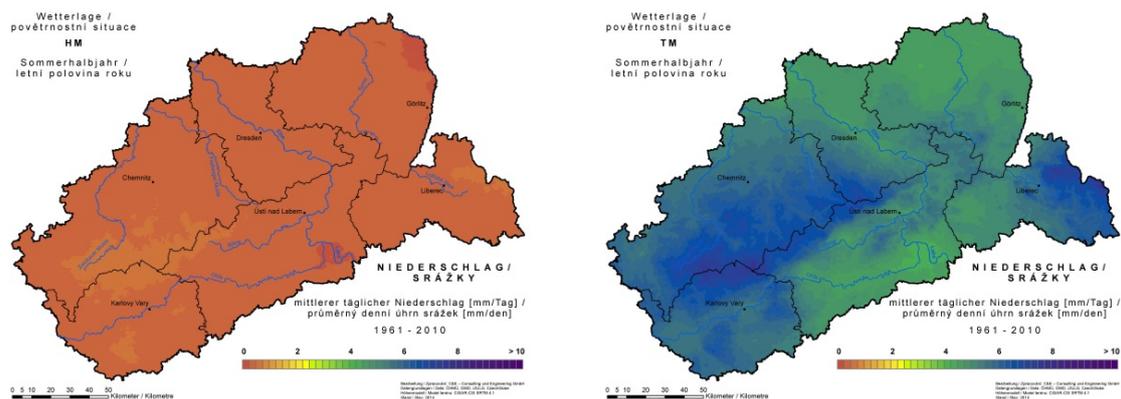


Abbildung 9: Hoch Mitteleuropa (HM) und Tief Mitteleuropa (TM). Die dritthäufigste Wetterlage HM ist durch flächendeckenden Hochdruckeinfluss im Projektgebiet gekennzeichnet und daher grenzüberschreitend eine der trockensten Wetterlagen. Im Gegensatz dazu ist bei TM windarmer Tiefdruckeinfluss bestimmend, so dass insbesondere im Tiefland die größten Niederschlagsmengen aller Wetterlagen zu verzeichnen sind.

5 Klimaprojektionen für den böhmisch-sächsischen Grenzraum

5.1 Anthropogener Treibhauseffekt und Emissionsszenarien

Der anthropogen verstärkte Treibhauseffekt und die damit einhergehende globale Temperaturzunahme stellen die Gesellschaft vor große Herausforderungen. Da die zukünftige Entwicklung der Treibhausgas Emissionen aufgrund des menschlichen Verhaltens nicht exakt vorhersehbar ist, kommen sogenannte Emissionsszenarien zum Einsatz. Diese Szenarien berücksichtigen verschiedene gesellschaftliche, ökonomische und energiepolitische Rahmenbedingungen und repräsentieren damit eine zukünftig mögliche Bandbreite an Entwicklungen.

5.2 Regionale Klimamodelle

Um zu verwertbaren Aussagen auf regionaler Ebene, wie dem böhmisch-sächsischen Grenzraum, zu gelangen, kommen sogenannte regionale Klimamodelle zum Einsatz, welche die Klimainformation globaler Klimamodelle räumlich detailliert auflösen.

Im Rahmen der böhmisch-sächsischen Klimakooperation INTERKLIM wurden die Ergebnisse der Klimamodelle ALADIN, RegCM und WETTREG gemeinsam für den Grenzraum aufbereitet und ausgewertet. Für den Zeitraum 1961 – 2100 liegen Modellabschätzungen für die Emissionsszenarien A1B, RCP2.6, RCP4.6 und RCP8.5 vor. Je nach Szenario beträgt die Spanne der möglichen Temperaturzunahme im Grenzraum bis Ende des 21. Jahrhunderts im Flächenmittel etwa 1 bis 4 °C. Der stärkste Anstieg wird dabei für Winter und Sommer erwartet. Projektionen der regionalen Niederschlagsentwicklung sind in unserem Raum mit großen Unsicherheiten behaftet. Zum Ende des 21. Jahrhunderts deutet sich eine Abnahme der Sommerniederschläge an. In Anbetracht der kombinierten Wirkung von Temperatur und Niederschlag auf den Wasserhaushalt ist zukünftig insbesondere im Tiefland und während der Sommermonate häufiger mit angespannten Wasserhaushaltssituationen zu rechnen.

Vlivy změn klimatu na vodní režim zajištěných povrchů na příkladu skládky v Drážďanech, Langebrücker Straße

Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen am Beispiel der Deponie Dresden, Langebrücker Straße

Volkmar Dunger¹, Mario Müller², Holger Augustin³

Abstrakt

Zajištění dlouhodobé funkčnosti systémů zajištění povrchů skládek závisí v rozhodující míře na hydrologických vlastnostech jednotlivých těsnících prvků. Významný je v této souvislosti vysoký výpar rekultivační, případně hydrologické vrstvy, dlouhodobá těsnost a odolnost minerálních izolačních komponent vůči vysychání, minimalizace množství povrchového odtoku a zbytkového průsaku a bezproblémové odvádění drenážní vody. Aby bylo možno tyto požadavky splnit, jsou v Nařízení o skládkách a trvalých úložištích (Deponieverordnung), v doporučení „Geotechnika skládek a reliktních úložišť (GDA-Empfehlungen) a ve Spolkových standardech kvality (Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS)) zakotveny požadavky na složení a vlastnosti vrstev a na testy k prokázání jejich vhodnosti a kvality.

Viděno z dlouhodobého pohledu závisí vodní režim v systémech izolací povrchů (především v rekultivačních, hydrologických vrstvách a v oxidačních vrstvách metanu) nejen na stabilizaci vlastností jednotlivých vrstev porostu, ale také na změnách klimatu, které jsou pro budoucí desetiletí předpovídané.

Cílem příspěvku je osvětlit vlivy změn klimatu na vodní režim v prvcích izolací povrchů na příkladu skládky Langebrücker Straße v Drážďanech (ke 30.6.1999 uzavřená skládka).

Kurzfassung

Die Gewährleistung einer langfristigen Funktionalität von Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen hängt entscheidend vom wasserhaushaltlichen Verhalten der einzelnen Abdichtungskomponenten ab. In diesem Zusammenhang sind von Bedeutung u. a. hohe Verdunstungsleistungen der Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht, langfristige Dichtheit und Austrocknungsresistenz mineralischer Dichtungskomponenten, Minimierung von Oberflächenabfluss- und Restdurchsickerungsmengen sowie schadlose Abführbarkeit von Drainwassermengen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, sind in der Deponieverordnung, in den GDA-Empfehlungen und in den Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) die Anforderungen an Schichtaufbauten und Schichteigenschaften sowie zu deren Eignungs- und Qualitätsnachweis notwendigen Untersuchungen bzw. Nachweisen fixiert.

Auf lange Sicht betrachtet wird der Wasserhaushalt von Oberflächenabdichtungssystemen (insbesondere der Rekultivierungs-, Wasserhaushalts- und Methanoxidationsschichten) nicht

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Gustav-Zeuner-Straße 12, D-09596 Freiberg, dungerv@geo.tu-freiberg.de

²DBI-EWI GmbH Freiberg, Halsbrücker Str. 31, D-09599 Freiberg, m.mueller@dbi-ewi.de

³Zweckverband Abfallwirtschaft Oberes Elbtal (ZAOE), Meißner Straße 151a, 01445 Radebeul, holger.augustin@zaoe.de

nur von der Stabilität der Eigenschaften der einzelnen Schichten sowie vom Bewuchs abhängen sondern auch von den klimatischen Veränderungen, die für die kommenden Jahrzehnte prognostiziert sind.

Ziel des Beitrages ist es, die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf den Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen herauszuarbeiten und am Beispiel der Deponie Langebrücker Straße in Dresden (per 30.06.1999 geschlossene Abfalldeponie) zu quantifizieren.

1 Problemstellung

Oberflächenabdichtungssysteme sollen vielfältigen Anforderungen gerecht werden. Aus wasserhaushaltlicher Sicht sind solche Anforderungen wie hohe Verdunstungsleistung der Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht, langfristige Dichtheit und Austrocknungsresistenz mineralischer Dichtungskomponenten, Minimierung von Oberflächenabfluss- und Restdurchsickerungsmengen sowie schadlose Abführbarkeit der Drainwasserspitzen zu nennen.

Damit ein Oberflächensicherungssystem in der Lage ist, diese mit dem Wasserhaushalt eng verbundenen Dinge zu gewährleisten, sind Anforderungen an die Eigenschaften der Sicherungsschichten zu stellen.

Die derzeit gültige Deponieverordnung [3] steckt den Rahmen bezüglich der grundlegenden Anforderungen ab. In den Empfehlungen des Arbeitskreises 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) werden die in der Deponieverordnung genannten Anforderungen untersetzt. Die Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) regeln u. a., welche qualitätssichernden Untersuchungen bzw. Nachweise bezüglich der Einschätzung der wasserhaushaltlichen Wirksamkeit der Schichten von Oberflächensicherungssystemen notwendig sind.

Entscheidend ist, dass die durch die Eigenschaften der verschiedenen Schichten bedingte Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems langfristig erhalten bleibt. Auf lange Sicht betrachtet wird der Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen nicht nur von der Stabilität der Eigenschaften der einzelnen Schichten, dem Zusammenwirken der Schichten untereinander sowie vom Bewuchs abhängen sondern auch von den klimatischen Veränderungen, die für die kommenden Jahrzehnte prognostiziert sind.

Die Existenz eines vorrangig anthropogen bedingten Klimawandels ist spätestens seit dem dritten IPCC-Bericht [7] bekannt. Danach ist die globale Mitteltemperatur seit 1900 bereits um $0,7 \pm 0,2$ °C angestiegen, in Sachsen um $0,63$ °C [9]. Dieser Trend wird sich in Zukunft verstärken. Global ist bis 2100 gegenüber heute eine Erwärmung von $1,1$ °C bis $6,4$ °C prognostiziert [8]. Die großen Prognoseunsicherheiten resultieren vor allem aus den Unsicherheiten der natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Klimavariabilität, der unsicheren Bandbreite der zukünftigen Emissionsentwicklung und aus den Modellunsicherheiten [6].

Im Raum Dresden, dem Standort der betrachteten Deponie Langebrücker Straße, wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts je nach Emissionsszenario und regionalem Klimamodell eine Temperaturzunahme zwischen > 2 °C und > 5 °C prognostiziert [2]. Deutlich unsicherer sind die Prognosen für die maßgebende Inputgröße bezüglich des Wasserhaushalts, den Niederschlag. Je nach verwendetem Modell werden leichte Zunahmen bis deutliche Abnahmen (um bis zu 100 mm/a) vorausgesagt. Verantwortlich hierfür sind nicht nur die Modellunsicherheiten sondern auch die Lage von Dresden im Übergangsbereich zwischen Nordeuropa, für das zunehmende Jahresniederschläge modelliert werden und Südeuropa, für das die Prognosen von abnehmenden Niederschlägen ausgehen [2].

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt sind außerordentlich vielfältig (s. u. a. [6, 10, 11, 13, 14]). Bezogen auf den Wasserhaushalt von Deponieoberflächenabdichtungen können die folgenden maßgebenden Änderungspotenziale postuliert werden, deren Wahrheitsgehalt für den Standort Langebrücker Straße zu prüfen ist:

- gegenüber heute höhere potenzielle und ggf. reale Verdunstungswerte und folglich abnehmende Restdurchsickerungsmengen,
- stärkeres Austrocknen mineralischer Schichten und folglich Erhöhung des Trockenstrespotenzials für den Bewuchs,
- geringere Wasserzischenspeicherung in Form von Schnee,
- intensivere Starkregen kurzer Dauer und folglich eine Zunahme der schnellen Abfluskomponenten (Oberflächen- und Drainwasserabflüsse).

2 Kurzcharakteristik des betrachteten Deponiestandorts

Die Hausmülldeponie Langebrücker Straße, deren Inhaber der Zweckverband Oberes Elbtal (ZAOE) ist, liegt am nördlichen Stadtrand Dresdens nur etwa 2 km vom Flugplatz Dresden-Klotzsche entfernt. Die Deponie wurde in insgesamt 3 Bauabschnitten mit einer endgültigen Oberflächenabdichtung versehen, die aus folgenden wasserhaushaltlich relevanten Komponenten besteht:

- $\geq 1,50$ m Rekultivierungsschicht, davon $\geq 0,20$ m Oberboden
- Drainagematte mit BAM-Zulassung, $k_f \geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/s
- $\geq 2,5$ mm KDB, sandrau mit BAM-Zulassung,
- 0,50 m mineralische Abdichtung, 2 Lagen je 0,25 m, $k_f \leq 5 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Die Deponie umfasst eine Gesamtfläche von 7,8 ha. Die Neigung der Böschungen beträgt 33%. Beim Bewuchs handelt es sich überwiegend um einen Sandtrockenrasen. Der nordöstliche Teil (betrifft die Hydrotupe 3 und 4 in der Abbildung 1) wird forstwirtschaftlich genutzt. Auf ihr befinden sich Weihnachtsbaumpflanzungen. Kleinflächig über die Deponie verteilt sind ferner mehrjährige Strauchhecken und Feldgehölze vorhanden.

3 Modellierung des Wasserhaushalts unter dem Aspekt des Klimawandels

3.1 Modellaufbau und -parametrisierung

Zur Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtung wurde das Deponie- und Haldenwasserhaushaltsmodell BOWAHALD [4, 5] verwendet.

Für eine verlässliche Deponiewasserhaushaltsmodellierung ist bezüglich der Horizontaldiskretisierung eine Untergliederung in Hydrotupe (Flächen mit gleichen hydrologischen Eigenschaften) notwendig. Bei der Hydrotupeinteilung gilt es, vor allem Unterschiede hinsichtlich der Expositionen (Ausrichtungen), der Hangneigungen und Hanglängen zu berücksichtigen. Die Abbildung 1 soll einen Eindruck bezüglich der Hydrotupeinteilung vermitteln.

Für die nachfolgenden Betrachtungen zum Wasserhaushalt sind die Hydrotupe 3 und 5 wegen ihrer Nord- bzw. Südexponiertheit als Modellhydrotupe ausgewählt worden, um die expositionsbedingte Schwankungsbreite der Wasserhaushaltsgrößen vor allem bezüglich der Verdunstung, der Austrocknung und der Sickerwasserbildung zu erfassen.

Im Folgenden sind die im Kapitel 2 aufgeführten Schichten entsprechend ihrer wasserhaushaltlichen Eigenschaften bezüglich Wassertransport- und -speichereigenschaften zu parametrisieren. Eine Übersicht bezüglich der Parametrisierung der Schichten enthält die Tabelle 1. Die angegebenen gesättigten hydraulischen Leitfähigkeiten (k_f -Werte), nutzbaren Feldkapazitäten (n_{FK}) und Luftkapazitäten (LK) sind im Zuge der Eigen- (EP) und Fremdprüfung (FP) während

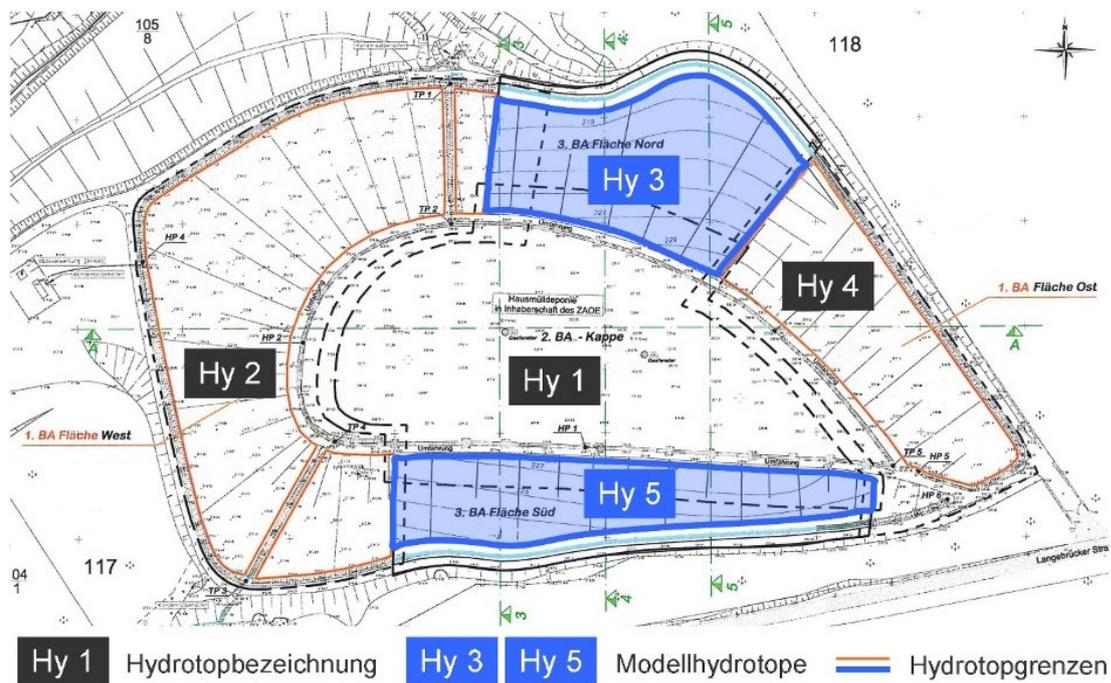


Abbildung 1: Deponie Langebrücker Straße mit Hydrotopeinteilung

der Herstellung der Oberflächenabdichtung ermittelt worden. In der Tabelle 1 sind ferner Informationen zu den modellrelevanten Bewuchsparametern enthalten. Im Zuge der Modellrechnungen betrachtet wurden lediglich der Grasbewuchse und die Weihnachtsbäume, letztere hinsichtlich des Wuchsstadiums als Dickung (Brusthöhendurchmesser der Stämme < 5 cm) angenommen.

Zur Charakteristik des gegenwärtigen wasserhaushaltlichen Verhaltens wurden die Klimadaten der DWD-Station Dresden-Klotzsche (Flughafen) für den Zeitraum 1981 – 2010 (aktuelle DWD-Referenzperiode) ohne Änderungen auf den Standort übertragen. Zur Modellierung der zukünftigen wasserhaushaltlichen Situation (bis 2100) wurden die Klimaprojektionen des Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie herangezogen. Diese sind mit dem regionalen Klimamodell WEREX IV generiert und beruhen auf der Regionalisierung des globalen Klimamodells ECHAM5 des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg. Betrachtet wird der mittlere Lauf. Trockene bzw. feuchte Läufe bleiben unberücksichtigt.

3.2 Modellergebnisse

Langjähriges wasserhaushaltliches Verhalten: Zunächst ist geprüft worden, wie gut das Klimamodell in der Lage ist, die tatsächlichen klimatischen Bedingungen wiederzuspiegeln. Hierzu sind ausgewählte Klimaelemente der Messreihe 1961 – 1990 mit denen des Klimamodells, die für den gleichen Zeitraum simuliert wurden, verglichen worden. Den Vergleich enthält die Tabelle 2.

Insgesamt gesehen bildet das verwendete Klimamodell die real gemessenen Bedingungen recht gut ab. Lediglich die Sonnenscheindauer wird in der Jahressumme um knapp 10% überschätzt, was dazu führt, dass die u. a. durch die Sonnenscheindauer beeinflusste potenzielle Verdunstung leicht überschätzt wird.

Im Folgenden sollen die am Ende des Abschnitts 1 postulierten Potenziale bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Deponieoberflächensicherungen hinsichtlich ihres Wahrheitsgehalts überprüft werden. Die Abbildung 2 vermittelt ein Bild in Bezug auf die Veränderungen der potenziellen Verdunstung im Zeitraum 1960 – 2100. Dargestellt

Tabelle 1: Modellrelevante Daten und Parameter.

Parameter / Kenngröße	Prüfmethode	Anforderung	Werte EP und FP	Modellwert
k_f-Werte: - Rekultivierungsschicht	Hazen	Gutes Inf.-vermögen	2,3·10 ⁻⁶ m/s	2,3·10 ⁻⁶ m/s
- Drainagematte	BAM-Zul.	≥ 1·10 ⁻³ m/s	-	1·10 ⁻³ m/s
- KDB	BAM-Zul.	-	-	2·10 ⁻¹³ m/s ¹⁾
- mineralische Dichtung	DIN 18130	≤ 5·10 ⁻⁹ m/s	≤ 1,2·10 ⁻⁹ m/s	1,2·10 ⁻⁹ m/s
nFK-Werte: - Rekultivierungsschicht	DIN 11274	140 mm ²⁾	208 – 263 mm ²⁾	208 mm ²⁾
- Drainagematte	-	-	-	5 Vol.-% ¹⁾
- KDB	-	-	-	-
- mineralische Dichtung	-	-	-	5 Vol.-% ¹⁾
LK-Werte: - Rekultivierungsschicht	DIN 11274	> 8 Vol.-%	9,6 – 12,4 Vol.-%	9,6 Vol.-%
- Drainagematte	-	-	-	75 Vol.-% ¹⁾
- KDB	-	-	-	-
- mineralische Dichtung	-	-	-	1 Vol.-% ¹⁾
Bewuchsart	-	Gras-/Kraut kleine Bäume	Gras-/Kraut kleine Bäume	Gras-/Kraut kleine Bäume
Bewuchsentwicklung	-	normal	normal - üppig	normal
Wurzeltiefe Gras [m]	-	-	-	1,0
Wurzeltiefe Bäume [m]	-	-	-	1,5

¹⁾ Parametrisierung auf Basis der HELP-Modelldatenbank [1]

²⁾ über die Gesamtmächtigkeit der Rekultivierungsschicht (Unterboden + Oberboden)

Tabelle 2: Vergleich ausgewählter Klimatelemente der Messreihe 1961 – 1990 mit denen des Klimamodells (als Jahresmittel bzw. Jahressummen).

Klimatelement	Messreihe	Klimamodell
Jahresmittel der Lufttemperatur [°C]	8,9	9,1
Jahresmittel der relativen Luftfeuchte [%]	76	76
Jahressumme der Sonnenscheindauer [h]	1 565	1 700
Jahressumme des Niederschlages [mm]	671	664
Jahressumme der potenziellen Verdunstung [mm]	623	650

sind die Zehnjahresmittel 1961 – 1970 ... 2090 – 2100. Betrachtet werden die Werte für die Ebene (nur theoretischer Natur, da die betrachteten Hydrotope Böschungen sind) sowie für die beiden nach Norden bzw. Süden exponierten Hydrotope.

Man erkennt eine deutliche Zunahme der potenziellen Verdunstung. Hervorgerufen wird diese Zunahme dadurch, dass sich das Energiedargebot erhöht. Hervorgerufen wird diese

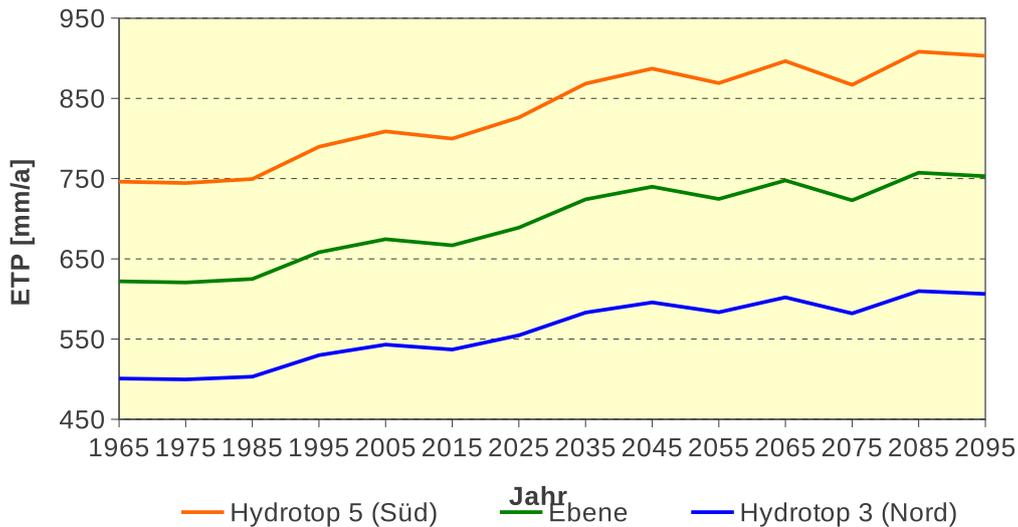


Abbildung 2: Modellerte Zehnjahresmittel der Jahressummen der potenziellen Verdunstung ETP, Zeitraum 1961 – 2100.

Erhöhung durch eine Zunahme der Temperaturen und der Sonnenscheindauern sowie einem Rückgang der relativen Luftfeuchte. Ein wärmeres, sonnenscheinreicheres und seitens der Luftfeuchte trockeneres Klima bewirkt höhere potenzielle Verdunstungswerte. In der Abbildung 3 sind diese Zusammenhänge grafisch umgesetzt.

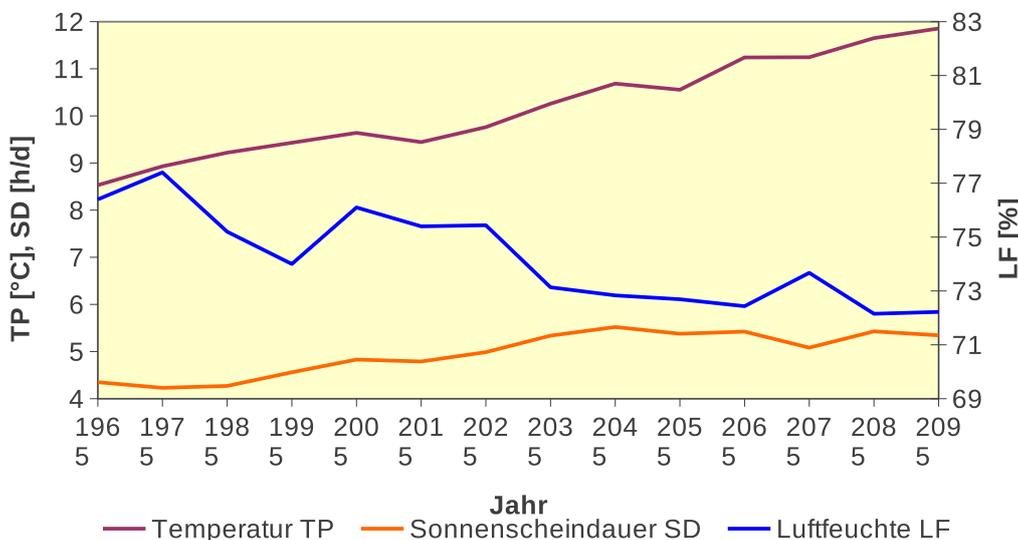


Abbildung 3: Zehnjahresmittel der Klimaelemente Temperatur TP, Sonnenscheindauer SD und relative Luftfeuchte LF, Zeitraum 1961 – 2100.

Die Abbildung 4 enthält die zeitliche Entwicklung der realen Verdunstung für die beiden Bewuchsarten Gras/Kraut und kleine Bäume (Weihnachtsbaumpflanzungen) des Hydrotops 3 (Nordexposition) sowie für das grasbewachsene Hydrotop 5 (Südexposition).

Die reale Verdunstung ist neben dem Energiedargebot noch vom Wasserdargebot abhängig. Dies machen die in der Abbildung 4 dargestellten unterschiedlichen Verläufe der realen und potenziellen Verdunstung deutlich. Während die potenzielle Verdunstung bis 2100 deutlich ansteigt, verharren die realen Verdunstungswerte in etwa auf ein und demselben Niveau bzw.

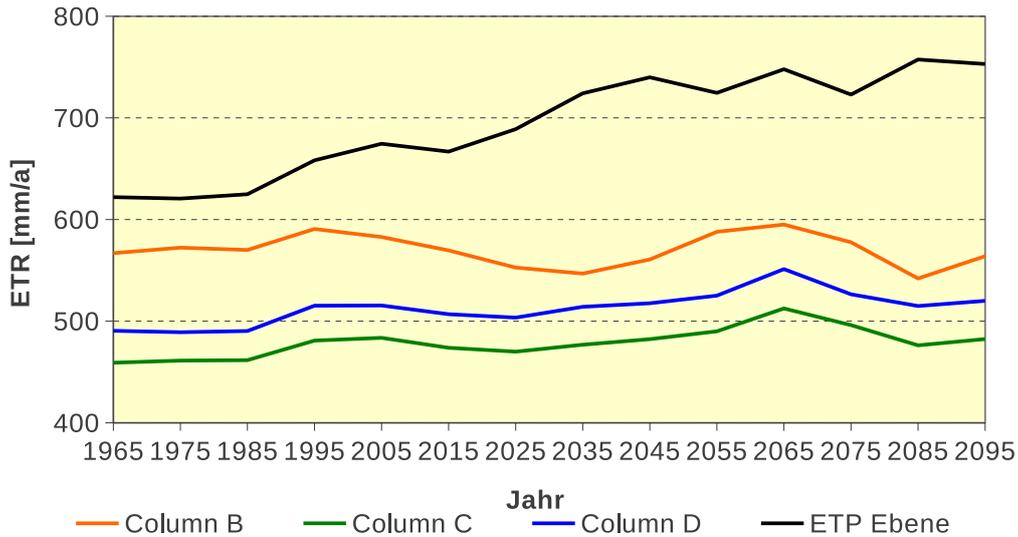


Abbildung 4: Modellierte Zehnjahresmittel der realen Verdunstung ETR, Zeitraum 1961 – 2100.

weisen nur einen sehr geringen Anstieg auf. Dies weist auf eine Limitierung infolge des begrenzten Wasserdargebots hin.

Noch deutlicher wird dies, wenn man sich den zeitlichen Verlauf des Niederschlages anschaut, der in der Abbildung 5 visualisiert ist. Das Klimamodell prognostiziert für den Raum Dresden bis zum Jahr 2100 tendenziell kleinere Niederschläge im Vergleich zum gegenwärtigen Zustand und damit eine Abnahme des Wasserdargebots.

Der Abbildung 4 ist ferner entnehmbar, dass bei gleichen Randbedingungen (hier: Nordexposition) der Baumbewuchs (Weihnachtsbaumpflanzungen) durch eine höhere wasserhaltliche Wirksamkeit in Form einer höheren Verdunstungsleistung im Vergleich zum Grasbewuchs gekennzeichnet ist.

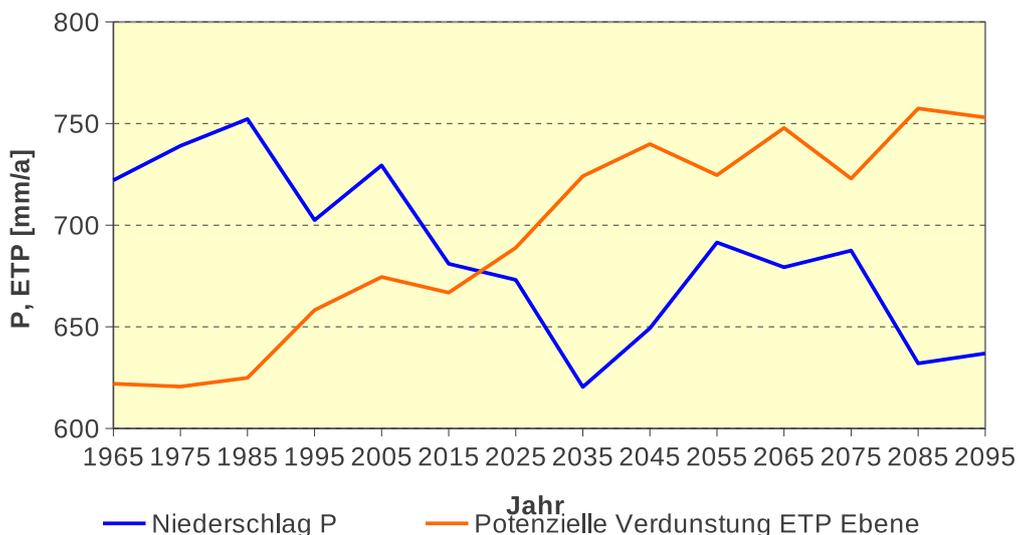


Abbildung 5: Gemessene bzw. prognostizierte Zehnjahresmittel des Niederschlages P (Wasserdargebot) im Vergleich zur potenziellen Verdunstung ETP (Energiedargebot), Zeitraum 1961 – 2100.

Steigendes Energiedargebot bei gleichzeitig sinkendem Wasserdargebot lassen eine Ab-

nahme der Sickerwassermengen erwarten. In der Abbildung 6 sind die jährlichen Versickerungsmengen aus der Rekultivierungsschicht als Zehnjahresmittel dargestellt.

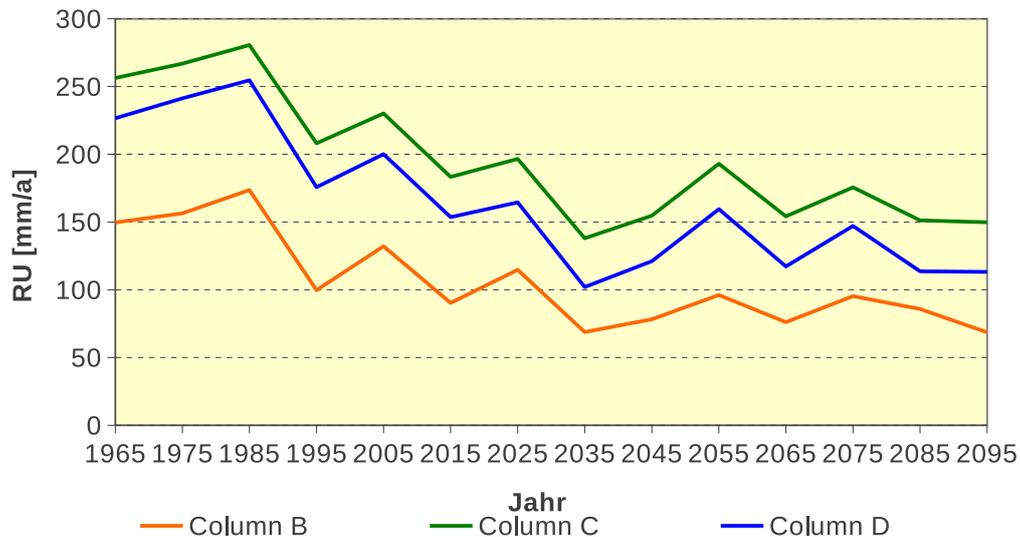


Abbildung 6: Modellierte Zehnjahresmittel der Sickerwassermengen aus der Rekultivierungsschicht RU, Zeitraum 1961 – 2100.

Die Erwartungen werden durch die Modellrechnungen gestützt. Tendenziell sinken die aus der Rekultivierungsschicht in die Drainschicht versickernden Wassermengen.

Die Vermutung, dass es durch mildere und ggf. regenreichere Winter zu einer Zunahme der Versickerungsmengen kommt, kann durch die Modellrechnungen folglich nicht bestätigt werden. In der Abbildung 7 sind die mittleren monatlichen Niederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) in ihrer zeitlichen Entwicklung von 1961 – 2100 visualisiert. Eine tendenzielle Zunahme der Winterniederschläge wird durch das verwendete Klimamodell für den Raum Dresden nicht prognostiziert. Allerdings nimmt erwartungsgemäß die in der Schneedecke gespeicherte Wassermenge infolge der zunehmenden Temperaturen ab. Dies führt jedoch zu keiner Zunahme der Versickerungsmengen.

Austrocknung der Rekultivierungsschicht und Pflanzentrockenstress: Im Folgenden ist das Verhalten der Rekultivierungsschicht bezüglich der Veränderungen der Bodenfeuchte untersucht worden. Die Bodenfeuchteentwicklung in der Rekultivierungsschicht während sommerlicher Trockenperioden gestattet eine Abschätzung, in wie weit die Vegetation in Stresssituationen gelangt. Will man Trockenstresssituationen charakterisieren und quantifizieren, so sollte man zunächst einmal Grenzwerte festlegen. Nach [12] können Bodenfeuchtwerte über 30% nutzbarer Feldkapazität (nFK) als ausreichend für eine gute Bewuchsentwicklung angesehen werden (s. auch Abbildung 8).

Trockenstress spielt bei Bodenfeuchtwerten unterhalb von 30% nFK eine zunehmende Rolle. Bei Wassergehalten unter 10% nFK kann von akutem Trockenstress ausgegangen werden. Derart geringe, nur 10% über dem permanenten Welkepunkt (bezogen auf Feldkapazität) liegende Bodenfeuchtwerte sollten nicht oder nur äußerst selten auftreten.

In der Abbildung 9 sind die Häufigkeiten des Auftretens kritischer Austrocknungsbeträge, d. h. Wassergehalte unter 30% nFK (Beginn des Trockenstresses für den Bewuchs) für den obersten Meter der Rekultivierungsschicht dargestellt. Betrachtet werden die Häufigkeiten für das hydrologische Sommerhalbjahr (Mai – Oktober). Die Abbildung 10 betrachtet die Häufigkeiten des Auftretens sehr kritischer Austrocknungsbeträge, d. h. Wassergehalte unter 10% nFK (sehr hohes Trockenstresspotenzial für den Bewuchs).

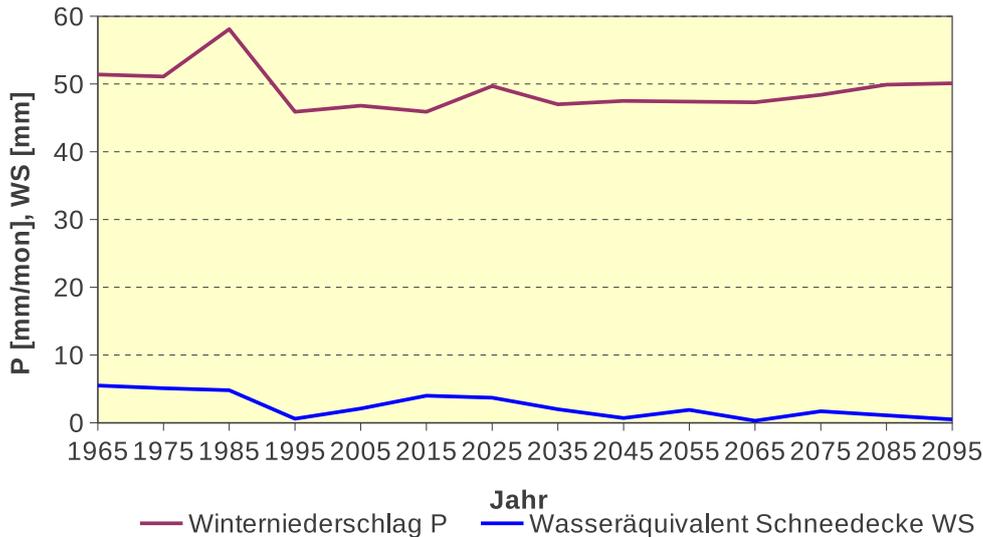


Abbildung 7: Modellierte Zehnjahresmittel der Winterniederschläge P (Monate November – April) sowie der in der Schneedecke (Monate Dezember – März) zwischengespeicherten Wassermengen WS, Zeitraum 1961 – 2100.

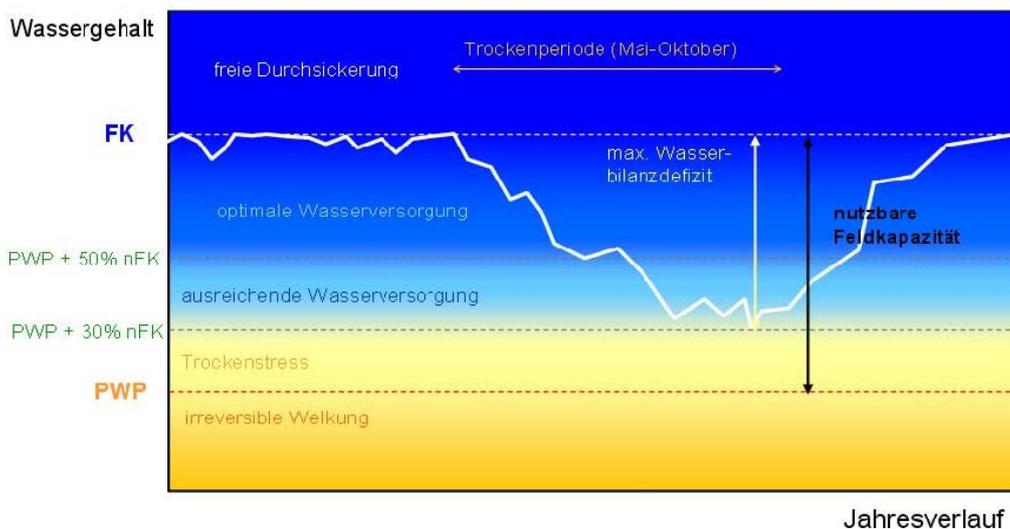


Abbildung 8: Grad der Wasserversorgung mit Bezug zum Pflanzenwachstum (aus [12]).

Wie den Abbildungen 9 und 10 entnehmbar ist, spielt Trockenstress naturgemäß vor allem auf den südexponierten Böschungsf lächen eine große Rolle. Verglichen mit dem Istzustand kann davon ausgegangen werden, dass sich die Häufigkeit des Auftretens trockenstressrelevanter Zustände bis zum Ende des Jahrhunderts nahezu verdoppelt.

War es in der Vergangenheit auf der grasbewachsenen Südböschung beispielsweise so, dass an etwa einem Viertel aller Tage im hydrologischen Sommerhalbjahr, dies entspricht ca. 45 Tage, die Bodenfeuchte im obersten Meter der Rekultivierungsschicht in den trockenstressrelevanten Bereich absank, so steht zu befürchten, dass es bereits Mitte des Jahrhunderts in etwa der Hälfte aller Tage, d. h. an ca. 90 Tagen (3 Monate lang) zum Absinken der Bodenfeuchte in den trockenstressrelevanten Feuchtebereich kommt.

Auch steht zu befürchten, dass sehr kritische Austrocknungsbeträge (unter 10% nFK, d. h. sehr nahe am permanenten Welkepunkt), die möglichst nicht auftreten sollten, zunehmende

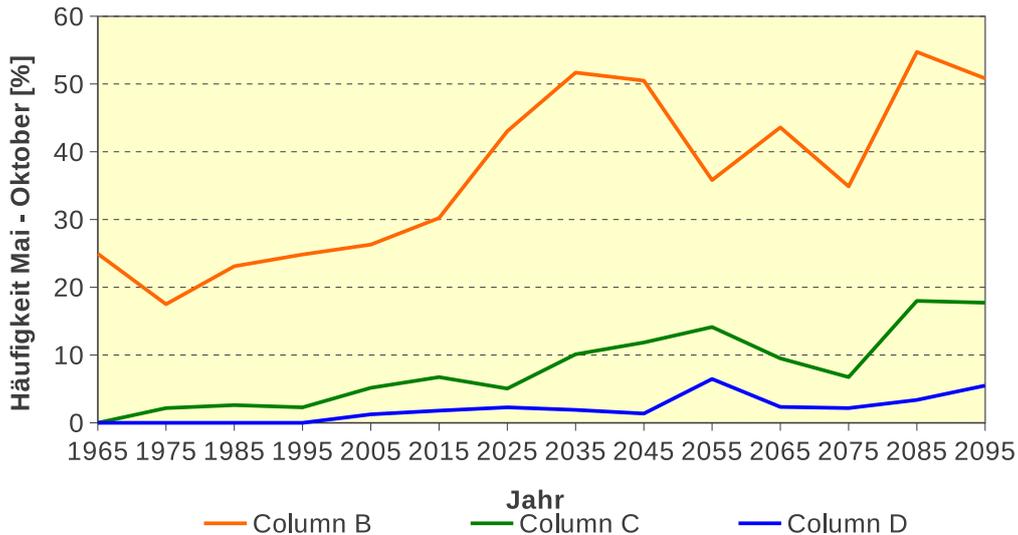


Abbildung 9: Modellierte Zehnjahresmittel der Häufigkeiten des Auftretens kritischer Austrocknungsbeträge (< 30% nFK) für den obersten Meter der Rekultivierungsschicht, Zeitraum 1961 – 2100.

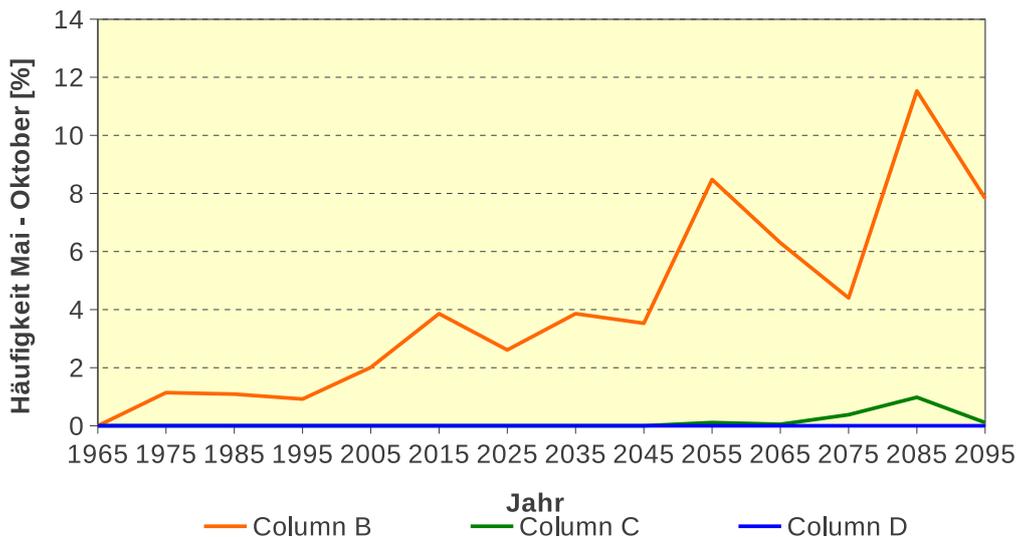


Abbildung 10: Modellierte Zehnjahresmittel der Häufigkeiten des Auftretens sehr kritischer Austrocknungsbeträge (< 10% nFK) für den obersten Meter der Rekultivierungsschicht, Zeitraum 1961 – 2100.

Bedeutung erlangen.

Verhalten im Starkregenfall: Abschließend sollen aus den Modellrechnungen Aussagen dazu abgeleitet werden, in wie weit es im Zuge des prognostizierten Klimawandels zu einer Häufung intensiver Starkregen kurzer Dauer und folglich zu einer Zunahme der schnellen Abflusskomponenten Oberflächen- und Drainwasserabflüsse kommt.

In der Abbildung 11 sind die maximalen Tagesspitzen für die Größen Niederschlag, Oberflächenabfluss und Drainabfluss dargestellt, die sich für jedes der betrachteten Jahrzehnte des Zeitraums 1961 – 2100 ergeben. Beispielhaft wird das Hydrotop 3 (Nordexposition) und speziell die mit Gras bewachsenen Bereiche betrachtet.

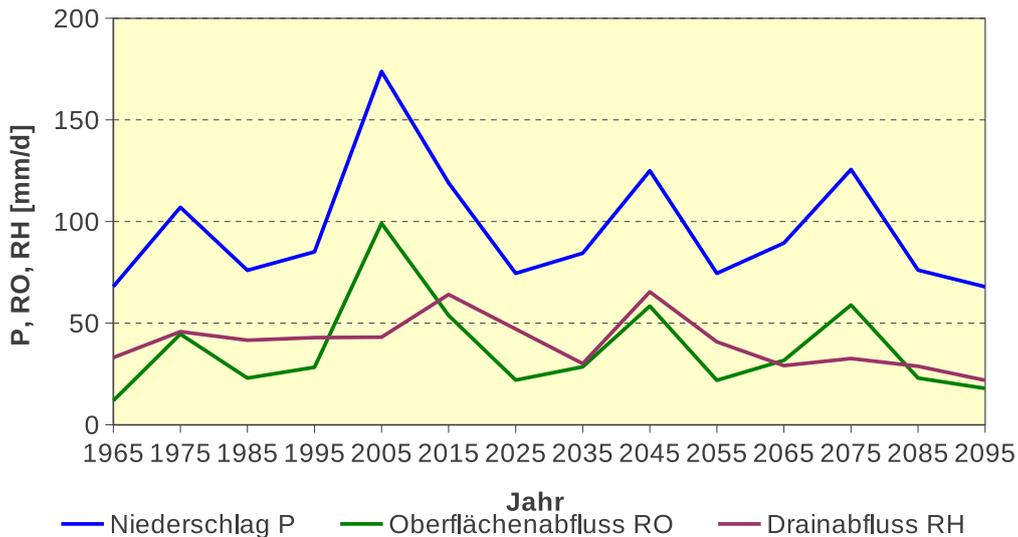


Abbildung 11: Modellierte Zehnjahresmaxima für die Tagessummen der Größen Niederschlag P, Oberflächenabfluss RO und Drainabfluss RH, Zeitraum 1961 – 2100 beispielhaft für das Hydrotop 3 (Nordexposition), mit Gas bewachsene Bereiche.

In der Abbildung 11 kann man sehr schön den direkten Zusammenhang von Niederschlag und Oberflächenabfluss sehen. Dies verwundert nicht, wird doch die Bildung von Oberflächenabflüssen häufig durch Starkregenereignisse hervorgerufen.

Es ist erkennbar, dass sich zumindest auf der zeitlichen Ebene von Tageswerten keine tendenzielle Zunahme von Starkregenereignissen, die höhere Oberflächen- und Drainabflüsse bedingen, ausmachen lässt. Dabei ist es jedoch wichtig darauf hinzuweisen, dass es durchaus sein kann, dass die Starkregen kurzer, d. h. innertäglicher Dauer, in Zukunft eine Änderung erfahren. Da die wasserhaushaltlichen Modellrechnungen auf der Basis von täglichen meteorologischen Messwerten (Vergangenheit) bzw. generierten Werten des regionalen Klimamodells WEREX IV (Zukunft) erfolgt sind und im Übrigen auch das verwendete Wasserhaushaltsmodell BOWAHALD als kleinste zeitliche Diskretisierung Tageswerten verarbeitet, können hierzu jedoch keine qualitativen Aussagen getroffen werden.

4 Schlussfolgerungen, Ausblick

Deponiewasserhaushaltsmodelle wie z. B. HELP oder BOWAHALD können ein brauchbares Instrumentarium darstellen, wenn es darum geht, Aussagen zum künftigen langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten von Oberflächensicherungssystemen abzuleiten.

Infolge der prognostizierten Klimaänderungen kommt es sehr wahrscheinlich zu folgenden Veränderungen im Zusammenhang mit dem langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten von Deponieoberflächensicherungen (exemplarisch für den Standort der Deponie Langebrücker Straße in Dresden ermittelt):

- Erhöhung der potenziellen Verdunstung im Jahresmittel, aber auch in Einzelmonaten,
- Erhöhung der realen Verdunstung nur an Standorten mit ausreichendem Niederschlagsangebot,
- Verminderung der langjährigen Sicker- und Drainwassermengen, allerdings sehr wahrscheinlich keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich der Drainwasserspitzen,
- Abnahme der in der Schneedecke zwischengespeicherten Wassermengen,

- Abnahme der Bodenfeuchte in der Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht und damit einhergehend eine Zunahme von Trockenstresshäufigkeiten und -intensitäten für den Bewuchs, wodurch sich das Gefahrenpotenzial für unterliegende Schichten, insbesondere für mineralische Dichtungselemente (Trockenrissbildung, Durchwurzelung) und mineralische Drainelemente (Durchwurzelung) erhöhen kann.

Allein auf dem Istzustand beruhende Aussagen zum Langzeitverhalten von Oberflächensicherungen gehören folglich auf den Prüfstand.

Auf Basis der Modellrechnungen können keine belastbaren Aussagen zum künftigen Verhalten im Starkregenfall, insbesondere zu den Oberflächenabflüssen, abgeleitet werden.

Darüber hinaus existieren nach wie vor viele Unsicherheiten. Diese beginnen mit den Unsicherheiten bezüglich der globalen Entwicklung der Emissionen klimarelevanter Treibhausgase vor allem im Hinblick auf die zeitlich-räumlichen Veränderungen anthropogener Einträge sowie noch weitgehend unerforschter Rückkopplungs-/Verstärkungseffekte z. B. im Zuge der Kohlendioxid- und Methanfreisetzung beim Auftauen von Permafrostböden [Ippc, 2007].

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ist die Modellunsicherheit bisheriger globaler Klimamodelle vor allem in Bezug auf den Wärmehaushalt der Weltmeere sowie bezüglich der Rolle der Wolken. Hinzu kommen Unsicherheiten beim Herunterskalieren globaler Klimamodelle auf kleinere regionale Einheiten.

Die Kette der Unsicherheiten setzt sich mit den Wasserhaushaltsmodellen fort. Häufig werden konzeptionelle, zum Teil empirische Ansätze verwendet, die lediglich an Daten der Vergangenheit kalibriert und validiert sind. Auch die in den Modelldatenbanken hinterlegten Parameter sind i. d. R. starr und nur selten von äußeren Einflussgrößen (Temperatur, Niederschlag, ...) abhängig.

Literaturverzeichnis

- [1] K. Berger und P. R. Schroeder. Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance HELP Modell. Benutzerhandbuch für HELP-D (Version 3.95 D), 6. überarbeitete Auflage. Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, 2013.
- [2] C. Bernhofer, J. Matschullat, und A. Bobeth. Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. REGKLAM Publikationsreihe, Heft 2. Rhombos-Verlag, Berlin. ISBN: ISBN: 978-3-941216-71-6, 2011.
- [3] DepV. Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts - Artikel 1 Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV). Vom 29. April 2009, BGBl. I Seite 900 ff, 2009.
- [4] V. Dunger. Dokumentation des Modells BOWAHALD zur Simulation des Wasserhaushaltes von wasserungesättigten Deponien/Halden und deren Sicherungssystemen. Nutzerhandbuch, Version 04/2002, 2002.
- [5] V. Dunger. Entwicklung und Anwendung des Modells BOWAHALD zur Quantifizierung des Wasserhaushaltes oberflächengesicherter Deponien und Halden. Habilitationsschrift, TU Bergakademie Freiberg, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, 2006.
- [6] S. Hänsel, K. Ullrich, T. Sommer, R. Benning, N. Prange, und J. Matschullat. Regionaler Wasserhaushalt im Wandel. Klimawirkungen und Anpassungsoptionen in der Modellregion Dresden. REGKLAM Publikationsreihe, Heft 5. Rhombos-Verlag, Berlin. ISBN: 978-3-944101-14-9, 2013.
- [7] IPCC. Climate Change 2001. The IPCC Third Assessment Report. Volumes I (Science), II (Impacts and Adaptation) and III (Mitigation Strategies). Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2001.
- [8] IPCC. Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel of Climate Change, 2007.
- [9] A. Köhl. Veränderungen der Großwetterlagen im Hinblick auf Intensität und räumliche Verteilung des Niederschlages in Sachsen. Diplomarbeit, TU Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Institut für Geographie, 138 S, 2008.
- [10] W. Lahmer. Hydrologische Auswirkungen sich ändernder Klimabedingungen im Land Brandenburg. – GWF Wasser-Abwasser 145, Nr. 6, Oldenbourg Industrieverlag München, ISSN 0016-3651, Juni 2004: S. 400–412, 2004.
- [11] W. Lahmer. Klimaänderung – Mögliche Folgen auf hydrologische Prozesse im Land Brandenburg. – UMWELTPanorama, Heft 7, 2005, Berliner Umweltagentur, Berlin, ISSN 1612-5061: S. 5–7, 2005.

- [12] LANUV NRW – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme – Konkretisierungen und Empfehlungen zur Deponieverordnung. LANUV Arbeitsblatt 13, Eigenverlag, Recklinghausen, 2010.
- [13] J. Scherzer, G. Wriedt, D. Sames, M. Müller, F. Hesser, K. Jasper, und H. Pöhler. KliWEP – Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe - Teil 3: Vorstudie zur Simulation der Stoffflüsse von Stickstoff und Kohlenstoff im Parthe-Einzugsgebiet. Abschlussbericht KliWEP Teil 3 (Vorstudie) für das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. Forschungs- und Entwicklungsvorhabens Nr. 13-8802.3529/39, 2006.
- [14] M. Zeibisch, T. Grothmann, D. Schröter, C. Hasse, U. Fritsch, und W. Cramer. Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Forschungsbericht 20141253, UBA-FB 000844, 2005.

Informační systém „MARE“ pro sběr dat a podporu rozhodování o využití rekultivované krajiny

Informationssystem MARE zur Datenerfassung und Unterstützung der Entscheidungsfindung zur Nutzung der rekultivierten Landschaft

Jan Šembera¹, Kamil Nešetřil², Miloslav Nechyba³, Jan Kurka⁴, František Títl⁵

Abstrakt

Příspěvek představuje hlavní výsledek projektu podporovaného Technologickou agenturou České republiky. Je to komplexní informační a hodnotící systém pro monitoring hydrologického a geotechnického režimu oblasti a vyhodnocování dynamiky procesů. Systém umožňuje udržovat historická data a průběžně sbírat aktuální data, prezentuje měření formou grafů a map, ale také umožňuje zpracování dat, vytváření analýz možných rizik spojených s různými scénáři budoucího využití krajiny. Zvláště rizik vyplývajících z (ne)stability svahů, nedostatku/přebytku vody a kontaminace vody.

Kurzfassung

In dem Beitrag wird das Hauptergebnis eines durch die Technologische Agentur der Tschechischen Republik geförderten Projektes vorgestellt. Es handelt sich um ein umfassendes Informations- und Bewertungssystem für den Monitoring des Wasser- und geotechnischen Haushalts des Gebietes und zur Auswertung der Dynamik der Prozesse. Das System ermöglicht historische Daten aufrecht zu halten und laufend aktuelle Daten zu erfassen. Die Messungen werden in Form von Diagrammen und Karten präsentiert, das System ermöglicht eine Datenverarbeitung sowie Erarbeitung von Analysen möglicher Risiken, die mit unterschiedlichen Szenarien der zukünftigen Landschaftsnutzung verbunden sind. Dabei handelt es sich insbesondere um Risiken, die sich aus der (Un)stabilität der Hänge, Mangel / Überfluss und Kontaminierung des Wassers ergeben.

1 Úvod

Účelem tohoto příspěvku je představit výsledky projektu MARE, který je podporovaný Technologickou agenturou ČR a na jehož řešení se podílejí Technická univerzita v Liberci, GEO-TOOLS o.p.s., AZ Consult, spol. s r.o. a AQUATEST a.s. Řešení projektu bylo zahájeno v březnu 2012 a končí v prosinci 2014.

Hlavním výsledkem projektu je informační a hodnotící systém umožňující efektivní nakládání s daty získanými za různými účely na jedné lokalitě. Ověřován je na dvou lokalitách zasažených

¹Ústav mechatroniky a technické informatiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, CZ-46117 Liberec, jan.sembera@tul.cz

²Ústav mechatroniky a technické informatiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, CZ-46117 Liberec, kamil.nesetril@tul.cz

³GEO-TOOLS, U Mlejnu 128, CZ-25066 Zdiby, miloslav.nechyba@geo-tools.cz

⁴Z Consult, spol. s r.o., Klíšská 1334/12, CZ-40001 Ústí n.L., kurka@azconsult.cz

⁵AQUATEST a.s., Geologická 4, CZ-15200 Praha 5, titl@aquatest.cz

povrchovou těžbou, na nichž probíhá hydrologická rekultivace, avšak může být aplikován i na jiná území. Modelovými lokalitami zvolenými pro ověření informačního systému jsou Jezero Milada (bývalý lom Chabařovice) a Jezero Most (bývalý lom Ležáky).

Hlavním odběratelem výsledků a hlavními dodavateli dat jsou Palivový kombinát Ústí, státní podnik a Povodí Ohře, státní podnik.



Obrázek 1: Testovací lokalita Jezero Chabařovice

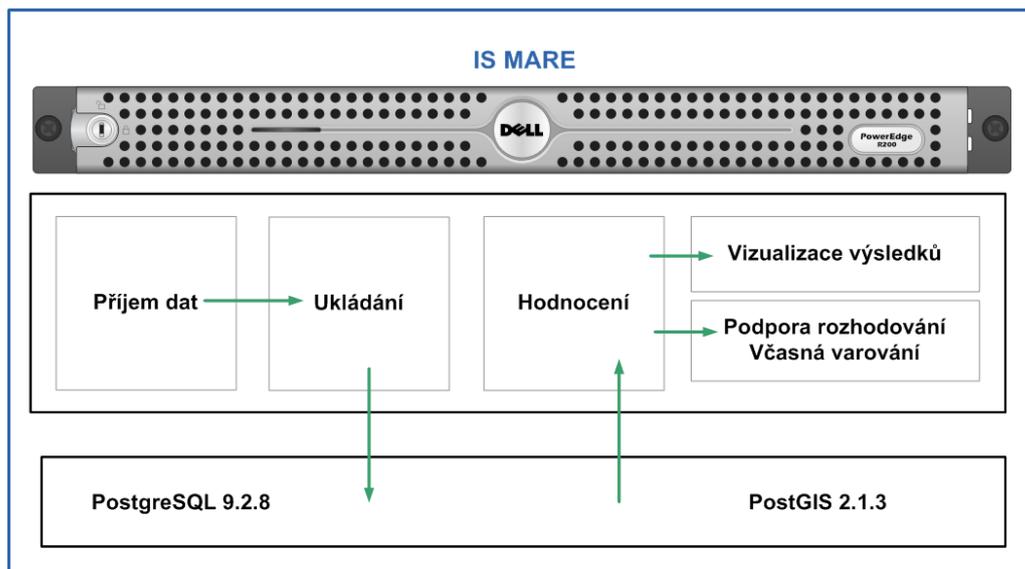
2 Informační systém MARE

Během plánování těžby, těžby, ukončování těžby, plánování rekultivace, rekultivace a následného monitoringu vzniká velké množství dat za různým účelem (příprava odborných studií, podklady k rozhodování, kontrola a ověřování apod.). Získaná data jsou často použita za účelem, pro který vznikla, následně archivována a v podstatě zapomenuta. Informační systém MARE soustředí data vznikající za různými dílčími účely a tím umožňuje jejich komplexní analýzu a znovuvyužití pro další účely, zejména pro podporu při rozhodování o následném využití krajiny po rekultivaci.

Integrovaný informační a hodnotící systém pro podporu kompetentního rozhodování o využití krajiny po revitalizaci je založen na sběru a komplexním zpracování aktuálních i historických dat, ukládání v databázi a variantním zpracování vestavěnými i externími prostředky a jeho funkcionality obsahuje nástroje k posouzení dlouhodobých i akutních rizik.

Struktura databáze systému umožňuje spravovat historická i aktuální data z oblasti geologie, hydrologie, geotechniky a meteorologie. Jeho hlavní funkcí je možnost data sbírat, spravovat a zpracovávat tak, aby bylo možné studovat jejich vzájemné souvislosti. K tomu slouží moduly pro automatické vkládání on-line sbíraných dat, konverzi různých datových formátů historických dat v elektronické formě, i roční vkládání dat do databáze. Dalšími funkcemi jsou možnost zpracování dat simulačními nástroji, možnost jejich veřejné publikace po internetu a zejména možnost identifikace akutních i dlouhodobých rizik. Pro tyto funkcionality systém obsahuje jednak moduly pro export dat do různých formátů pro zpracování zobrazovacími, publikačními a simulačními nástroji, jednak vlastní moduly pro zpracování dat a identifikaci rizik souvisejících se stabilitou svahů, množstvím vody a eutrofizací. V neposlední řadě systém obsahuje modul včasného varování umožňující okamžitě informovat předem zvolené osoby o nežádoucím stavu vyplývajícím z aktuálních hodnot on-line měření cestou e-mailu či SMS.

Systém MARE je modulárně uspořádán, což umožňuje využití a uplatnění části jeho funkcí pro jiné účely (hydrogeologie, sanace) apod. Je založen na softwaru vyvíjeném v rámci řešitelského kolektivu a softwaru třetích stran nezatíženém licenčními poplatky a komunikuje s některými běžně užívanými svobodnými i komerčními softwarovými prostředky.



Obrázek 2: Schéma Informačního systému MARE

3 Případová studie použití IS MARE - Multikriteriální analýza pro predikci geotechnických rizik na testovací lokalitě

Systémy na podporu rozhodování obecně obsahují podpůrné nástroje pro rozhodovací či řídicí procesy a podporují uživatele v hledání a posuzování variantních řešení či rozhodnutí. Při multikriteriálním hodnocení geotechnických rizik bylo třeba užít metodu, která by byla schopna hodnotit souhrnnou míru rizika území z pohledu jeho dalšího využití. K tomu, abychom byli schopni stanovit takovou jednoznačnou míru rizika jednotlivých lokalit, bylo třeba navrhnout a otestovat ucelený postup (metodiku), který by nám pomocí několika přesně definovaných kroků vypočítal či odhadl konkrétní hodnotu rizika daného území a zároveň nám dal informaci o tom, s jakou jistotou se o tuto hodnotu můžeme opírat pro budoucí rozhodování.

K tomu bylo nutné navrhnout metodu, která by v sobě zahrnovala jak klasický deterministický přístup, tak i přístup z oblasti teorie komplexních systémů. Museli jsme vycházet z toho, že jsme neměli k dispozici veškerá potřebná a přesná data ze všech potřebných veličin či parametrů, s požadovanou četností a aktuálností. Proto by bylo nutné kromě klasických matematických či statistických metod na hodnocení časových řad použít i nástroje, které by nám byly schopny neměřitelné, odhadované a slovní hodnocení převést do modelu na celá čísla a umožnila nám zjistit a predikovat chování systému při extrémní změně podmínek některé z jeho složek. Měřené veličiny a ostatní složky, které jsme schopni sledovat a hodnotit, převádíme na parametry.

V prvním kroku bylo nutné provést důkladnou rekognoskaci lokality a vybrat veškeré možné parametry, které budeme v rámci dané lokality sledovat a hodnotit. Z hlediska geotechnika je za nejdůležitější podmínky úspěšného využití území možné považovat dostatečnou únosnost podzákladí, přijatelnou deformabilitu, polohu hladiny podzemní vody a celkovou stabilitu. Při konečném výčtu zvolených kritérií byly zohledněny i specifické podmínky dané zaměřením projektu na krajiny (zbytkových jam hnědouhelných povrchových dolů) po rekultivaci. Z tohoto důvodu jsme zvolili sadu následujících parametrů: Sloj, Výsypka, Typ zemin, Terén, Hladina podzemní vody, Sesuvy (vliv bývalých sesuvů), Provozní vlivy, Subjektivní posouzení, Abraze břehů, Srážky a mikroklima, Teplota, Povrchová eroze a Nasycenost půdy.

Vzhledem k tomu, že se jedná o lokality, jejichž plocha je v řádu několik desítek či stovek metrů čtverečních, je nezbytné tuto plochu rozdělit na menší části. Důvodem je to, že mnoho sledovaných parametrů nelze hodnotit globálně za celou lokalitu, ale existují mezi nimi

významné rozdíly: Příkladem může být terén, kdy se setkáváme na zvolené lokalitě s různými délkami, sklony a orientací dílčích svahů, nebo abraze břehů, která se týká jen určité části lokality. Stejný problém můžeme sledovat u vlivu historických sesuvů nebo u povrchové eroze, kdy má vliv na ten parametr např. vegetační kryt, který je v různých místech velmi odlišný. Z těchto důvodů v našem případě zájmové plochy dělíme na čtvercovou síť o velikosti 10x10 m. Každý tento díl sítě hodnotíme zvlášť.

Hodnocení provádíme na základě pohledů. Do jednoho číselného výsledku jsou shrnuty jinak obecně neporovnatelné a nesouvisející názory podle pravidel nastavených odborným subjektem. Pohled investora, stavaře bude určitě odlišný od pohledu ochránce nebo pasivního správce území z pohledu budoucích rizik. Pro každý tento individuální pohled volíme jinou sadu parametrů. Pro hodnocení kritérií je nutné zvolit metodiku hodnocení v rámci jednotlivých kritérií a dále jejich poměrná důležitost/váha. Pro každé kritérium je zvoleno bodovací rozmezí 0 až 10. Bodování bude provedeno na základě měření, zařazení či subjektivního posouzení. Na základě principů Saatyho metody [1] jsou přiřazeny váhy jednotlivých kritérií, které dávají v součtu 100%.

Navazující kompilací (násobení dílčích bodů váhou) je každá z dílčích ploch 10x10 m ohodnocena v rozmezí 0-10 bodů. Souhrnný výsledek je pak prezentován přehlednou formou k získání obecnějšího náhledu, detailněji lze pak například zkoumat příčiny/zdroje vyššího rizika využití dané plochy [2]. Rovněž se lze zaměřit na dílčí problémy tak, že určité kritérium je studováno izolovaně nebo mu je přidělena vysoká důležitost. Mimo bodování vhodnosti či rizika je v rozmezí 0-10 bodů uváděna hodnota označená jako jistota odvozená od množství a kvality informací pro stanovení. Jistotu vnímáme jako pravděpodobnost míry přesnosti hodnot. Jistotu pohybující se k úrovni 100% může označit u hodnot, kde máme vlastní měření nebo výpočty z exaktních dat, jistotu na úrovni 80-90% u hodnot, které vznikly interpolací a jistota okolo 50% např. od méně expertních odhadů.

Jistota pohybující se daleko od úrovně 100% má za výsledek to, že celková výsledná hodnota rizika se může pohybovat ve velmi širokém pásmu. To může být i impulsem k tomu, aby např. majitel či správce lokality zavedl či rozšířil kontinuální sledování geotechnických rizik.

Celková hodnota, očištěná o jistotu, která nám naznačuje minimální a maximální možnou mez hodnot rizika, prezentuje míru geotechnického rizika na dané lokalitě a jeho dílčích částí. Na základě takto sledovaných hodnot lze vyvodit závěry týkající se budoucího využití krajiny po rekultivaci, které mohou sloužit jako podpora pro rozhodování.

V rámci hodnocení jednotlivých lokalit máme skupiny kritérií charakterem spíše statických, a dále skupiny kritérií dynamických. Kritéria jako sloj, výsypka či např. terén se nemění vůbec nebo jen velmi málo. Naopak parametry jako srážky, teplota, nasycenost půdy, abraze břehů či hladina podzemní vody se mohou měnit velmi významně. Z tohoto důvodu je třeba hodnocení aktualizovat a pokud možno u nejméně dynamických parametrů zajistit jeho kontinuální sledování a hodnotit tím vzniklé časové řady.

Dynamické parametry mají vliv na to, že se celková hodnota rizika lokality či jejích částí může v čase měnit a může zde docházet i k extrémním situacím, kdy hodnota jednoho z parametrů se může stát natolik rizikovou, že ohrozí stabilitu celého systému. Je proto třeba nejen zodpovědně vyhodnocovat jednotlivé parametry, ale pracovat i s možnými extrémními scénáři, kdy může např. souběh vysoké nasycenosti půdy, vyšší hladiny podzemní vody a vysoký přísun srážek mít za následek inicializaci sesuvu.

4 Využití výsledků v praxi

Dlouhodobé uplatnění výsledku lze předpokládat vzhledem k tomu, že řada povrchových dolů bude uzavírána a rekultivována v příštích desetiletích. Záměrem při vytváření IS MARE však bude zajištění jeho snadné rozšiřitelnosti na zpracování dalších environmentálních dat, což jeho potenciální uplatnění rozšíří i na rekultivované plochy po jiných druzích lidské činnosti,

Kritérium										
1										
Sloj										
s využitím pojmu z ČSN 73 0039 - Na vzhování objektů na poddolovaném území										
Definice ČSN										
1.1.2.17 Nespojitě přetvoření terénu										
1.1.2.18 Terénní stupeň										
1.1.2.19 Propadlina (dřve plínka)										
Větvení	Možnosti výběru	Výsledek ze sloupce B	Výběr	Pomocný součinitel	Násobeno	Dílčí výsledek				
Sloj v místě	AND	1	1	1,00	1,00	1,00				
	NE	2		0,00	0,00					
Větvení	Možnosti výběru	Výsledek ze sloupce B	Výběr	Pomocný součinitel	Násobeno	Dílčí výsledek				
Řežba	plň	1	2	2,00	2,00	1,00				
	řežba	2		0,50	1,00					
Větvení	Možnosti výběru	Výsledek ze sloupce B	Výběr	Pomocný součinitel	Násobeno	Dílčí výsledek				
Nespojitě přetvoření	AND	1	2	10,00	10,00	1,00				
	NE	2		0,50	1,00					
Větvení	Možnosti výběru	Výsledek ze sloupce B	Výběr	Pomocný součinitel	Násobeno	Dílčí výsledek				
Blízkost dělního díla	AND	1	2	10,00	10,00	1,00				
	NE	2		0,50	1,00					
Hodnocení							Aktuální body	MAX	MIN	
Doba od skončení činnosti	do 20 let	1	3	6,00	6,00	3,00	6	3		
	rad 30 let	2		2,50	5,00					
	rad 50 let	3		1,00	3,00					
Hloubka činnosti pod aktuálním terénem	do 20 m	1	3	6,00	6,00	3,00	6	3		
	20 až 50 m	2		2,50	5,00					
	rad 50 m	3		1,00	3,00					
Záporné v místě	AND bez sa nace	1	3	3,00	3,00	0,00	3	0		
	AND sanovaný	2		1,00	2,00					
	NE	3		0,00	0,00					
						6	15	6		
						4				
						4,00				
						10				

Obrázek 3: Příklad hodnocení kritéria SLOJ

případně plochy zatížené geohazardy či jinými riziky. Odběrateli budou podle předpokladu zpravidla majitelé a správci pozemků nebo schvalovací orgány.

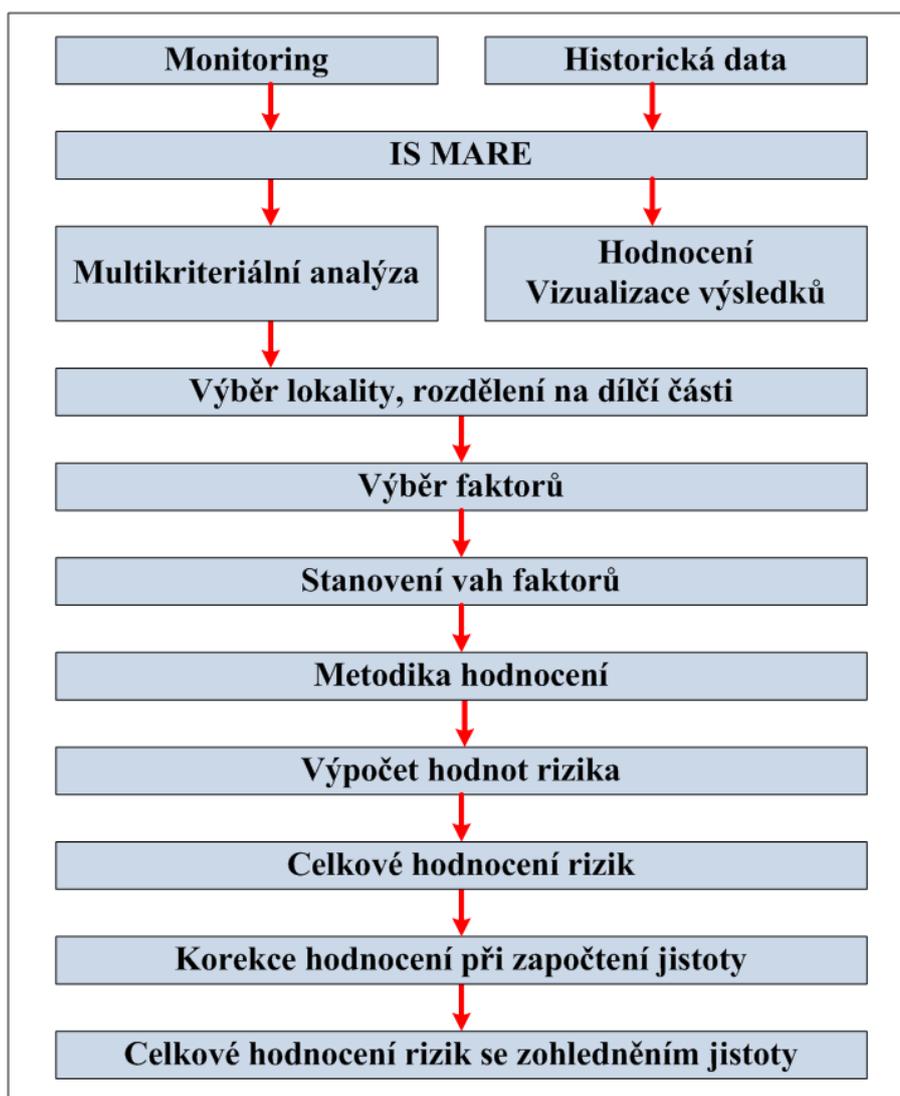
Nepřímé přínosy spatřujeme zejména v možnosti efektivnějšího výkonu rozhodování z pohledu dlouhodobého využití hydrologicky rekultivované krajiny a možnosti předcházení potenciálních rizik, tedy návrhem preventivních opatření úspory na následných sanacích.

5 Závěr

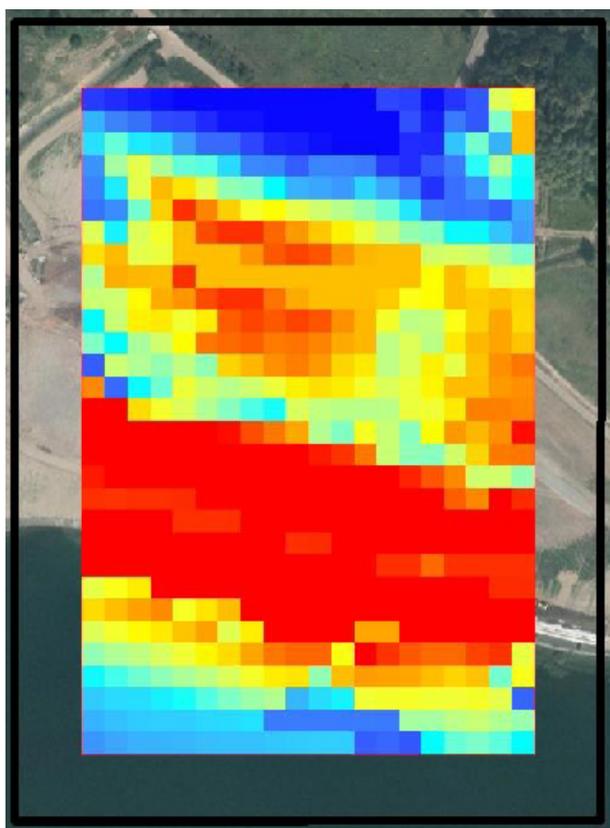
V září 2014 je zahájen testovací provoz Informačního systému MARE a do konce roku bude předán budoucímu uživateli k užívání. Systém bude udržován a dále rozvíjen, jeho možné uplatnění vidíme v dalších oblastech – zejména v podpoře rozhodování o dalším využití krajiny rekultivované dalšími metodami.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury České republiky v rámci řešení projektu č. TA02020177 „Informační systém pro podporu rozhodování o využití krajiny po rekultivaci (MARE)“.



Obrázek 4: Schéma procesu Multikriteriální analýzy



Obrázek 5: Příklad zobrazení vypočítané míry rizika na podkladu leteckého snímku testovací lokality popsané ve zprávě [3].

Literatura

- [1] T. L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation, New York: McGraw Hill International, 281 pp., ISBN 0-07-054371-2, 1980.
- [2] K. Alföldi, J. Kurka, a M. Nechyba. MKA GT - Zdůvodnění a podklady – Skupina kritérií 1-7, pp.1-15. Technická zpráva, AZ CONSULT, Ústí nad Labem, 2013 b.
- [3] K. Alföldi, J. Kurka, a M. Komín. Cvičná plocha Chabařovice 1 - MKA GT - Skupina kritérií 1-7, pp. 1-18. Technická zpráva, AZ CONSULT, Ústí nad Labem, 2013 a.

Modelování vodního režimu v mezinárodním projektování skládek: Zkušenosti z projekční praxe v Evropě a Asii

Wasserhaushaltsmodellierung in der Deponieplanung: Erfahrungen aus der Planungspraxis in Europa und Asien

Petra Schneider¹, Klaus-Dieter Oswald², Anja Lämmel³, Swantje Lindner⁴

Abstrakt

Na základě mezinárodních projektů v Rumunsku, na Kypru, ve Vietnamu a Ománu bude představena praxe v používání hydrologického modelování pro projektování skládek. Modelování vodního režimu pomocí modelu HELP se používá při projektování nových skládek podle dosaženého stavu techniky, ale i při plánování (projektování) uzavírání skládek. Při modelování jsou zohledňovány klimatické vlivy na vodní bilanci (například ve Vietnamu monzunový déšť, v Ománu pak období sucha). V příspěvku budou na praktických příkladech představeny praktické příklady a ilustrovány výsledky projektu.

Kurzfassung

Anhand internationaler Projekte in Rumänien, Zypern, Vietnam und Oman wird die Anwendungspraxis der Wasserhaushaltsmodellierung im Themenfeld Deponieplanung vorgestellt. Die Wasserhaushaltsmodellierung mit dem Modell HELP kommt bei Planungen von neuen Deponien nach Stand der Technik aber auch bei der Planung von Deponieschließungen zur Anwendung. Die speziellen klimatischen Einflüsse auf die Wasserbilanz (z.B. in Vietnam der Monsunregen, Trockenperioden im Oman) finden dabei Berücksichtigung in der Modellierung. Im Beitrag werden die Modellierungsansätze anhand der praktischen Beispiele vorgestellt und mit den Projektergebnissen illustriert.

1 Einleitung

Die Wasserhaushaltsbilanzierung ist ein Werkzeug zur Prognose von Sickerwassermengen, welches in der Deponieplanung zur Anwendung kommt. Bei der Modellierung der Sickerwasserrate von Deponien wird die Wasserhaushaltsbilanz entweder ein- oder zweidimensional umgesetzt. Im Rahmen internationaler Deponieplanungsprojekte der C&E Consulting und Engineering GmbH wird das „Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model“ [1] verwendet, insbesondere da dieses über den Wettergenerator WGEN (climate data generating module of the HELP model) hierfür verfügt, dem eine weltweite Klimadatenbasis hinterlegt ist. Das HELP Modell ist auch für die Anwendung in Deutschland validiert [2].

¹C&E Consulting und Engineering GmbH, Jagdschänkenstr. 52, D-09117 Chemnitz, petra.schneider@cue-chemnitz.de

²C&E Consulting und Engineering GmbH, Jagdschänkenstr. 52, D-09117 Chemnitz, klaus-dieter.oswald@cue-chemnitz.de

³C&E Consulting und Engineering GmbH, Jagdschänkenstr. 52, D-09117 Chemnitz, anja.laemmel@cue-chemnitz.de

⁴C&E Consulting und Engineering GmbH, Jagdschänkenstr. 52, D-09117 Chemnitz, swantje.lindner@cue-chemnitz.de

Die Wasserhaushaltsbilanzierung wird im Zusammenhang mit der Deponieplanung für zwei Anwendungsfälle genutzt:

- a) zur Simulation der Sickerwasserraten unter der zukünftigen Basisabdichtung einer neu zu errichtenden Deponie und
- b) zur Simulation der Sickerwasserraten unter der zukünftigen Oberflächenabdichtung einer bestehenden zu schließenden Deponie.

Die zu bilanzierenden Wasserzuflüsse sind für Deponiestandorte vor allem das oberirdisch zufließende Wasser (Niederschlag) und die die Wasserbilanz beeinflussenden Faktoren wie Evaporation und Transpiration der Deponieoberfläche und des Bewuchses. Bei den nachfolgend vorgestellten Fallstudien handelt es sich um Projekte in:

- Deponieschließung Altdeponie und Errichtung Neudeponie in Albota, Rumänien [3],
- Errichtung der Neudeponie in Güngör, Nordzypern [4],
- Schließung der Altdeponie in Ho Chi Minh City, Vietnam [5] und
- Errichtung der Neudeponie in Barka, Oman [6].

2 Methodik der Modellierung

Die Berechnungen des Wasserhaushaltes erfolgten mit dem HELP Modell Version 3.95D [7]. Das HELP-Modell ist ein „quasi-zweidimensionales“ Schichtmodell und wurde für die Berechnung von Wasserbilanzen von Deponien, Abdecksystemen und Altablagerungen entwickelt. Es ermöglicht eine Abschätzung von Oberflächenabfluss, Evapotranspiration, Versickerung, Dränabfluss (Sickerwasserabfluss) und der Perkolation von Dichtungsschichten.

Das Modell kann für offene, teilweise und vollständig geschlossene Deponien angewendet werden. Die erforderlichen Angaben zur Deponie umfassen die Deponiefläche, den Flächenanteil der Deponieoberfläche mit einer Neigung, die die Bildung von Oberflächenabfluss ermöglicht bzw. von dem der Oberflächenabfluss in Entwässerungsrichtungen gefasst und abgeleitet wird. Neben den Grunddaten sind genaue Angaben zum Deponieprofil erforderlich. Die korrekte Charakterisierung einer Schicht ist wichtig, da die Wasserflüsse in den Schichttypen auf unterschiedliche Weise modelliert werden. Mit HELP können eine bis zwanzig Schichten (Böden, Abfall, geosynthetische oder andere Materialien) modelliert werden. Das Modell unterscheidet vier Schichttypen:

1. Perkolationsschichten,
2. Drainageschichten,
3. Mineralische Dichtschichten,
4. Kunststoffdichtungsbahnen (Geomembranen).

3 Standortcharakteristik

3.1 Generelle Übersicht zur Lage der Standorte

Der Nachholbedarf im Bereich Abfallwirtschaft ist in den Ländern der vorgestellten Fallstudien (Rumänien, Nordzypern, Vietnam und Oman; siehe Abbildung 1) enorm. Nur wenige Abfalldeponien entsprechen westeuropäischen Standards, eine Vorbehandlung des abzulagernden

Abfalls wird nur ausnahmsweise vorgenommen. Im Rahmen des zunehmenden Umweltbewusstseins werden alte Deponien geschlossen und zahlreiche neue Deponien nach internationalen Standards geplant und errichtet. Die Generierung häuslicher Abfälle hat in den letzten Jahren aufgrund der Zunahme der Bevölkerungszahlen und des zunehmenden Wohlstands in den genannten Ländern stetig zugenommen.

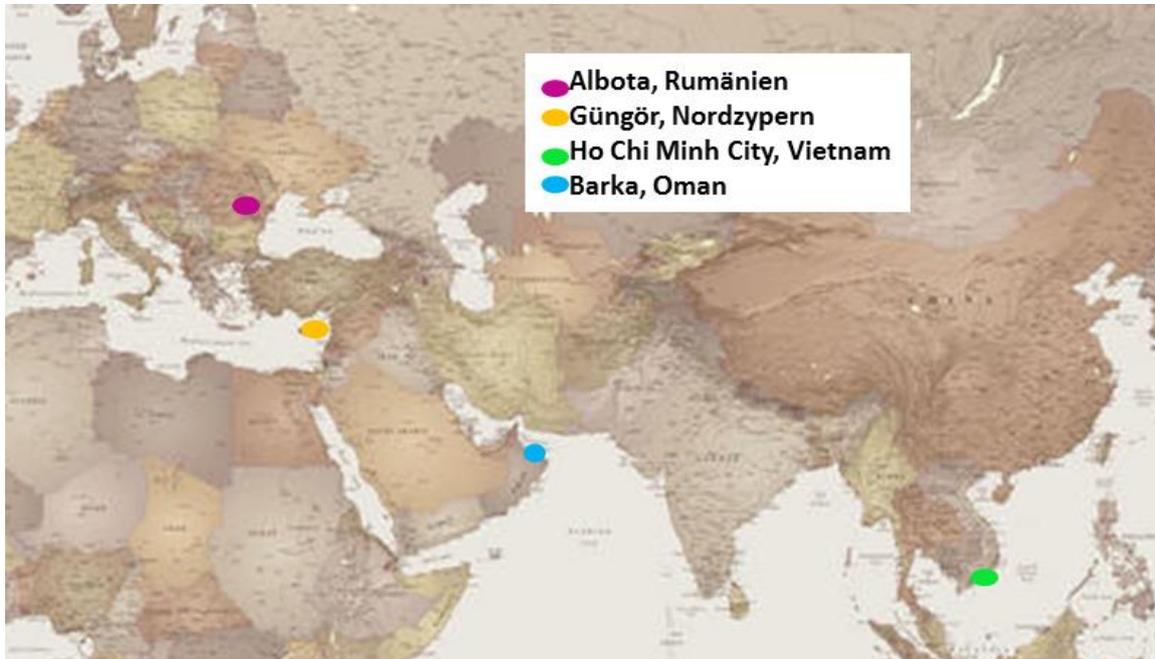


Abbildung 1: Lage der Untersuchungsgebiete.

Die Untersuchungsgebiete sind durch folgende Klimatypen charakterisiert:

- Albota (Pitesti), Rumänien: Übergangsklima,
- Güngör (Nicosia), Nordzypern: Winterregenklima der Westseiten,
- Ho Chi Minh City, Vietnam: tropisches Wechselklima,
- Barka, Oman: trockenes Passatklima.

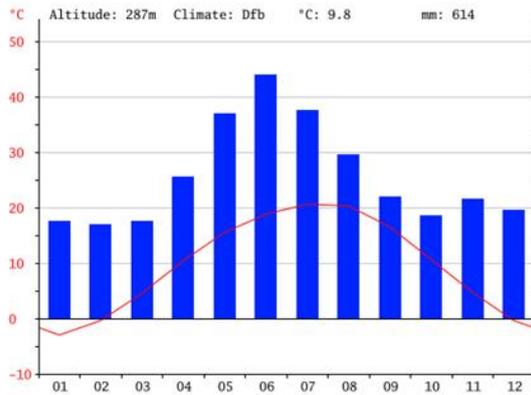
Alle Standorte sind durch spezielle Witterungsbedingungen charakterisiert. In Rumänien sind die Sommer sehr heiß und die Winter sehr kalt, -20°C sind hier keine Seltenheit. Der Standort Güngör nahe Nicosia in Nordzypern unterliegt extremen Hitzeperioden im Sommer, während die Winter moderate Klimaverhältnisse zeigen. Der Standort in Ho Chi Minh City in Vietnam wird durch tropisches Klima mit Monsunregen charakterisiert. Der Standort in Barka im Oman ist durch extreme Trockenperioden mit heftigen Niederschlägen an ein bis zwei Tagen im Jahr gekennzeichnet. Abbildung 2 gibt eine Übersicht über die mittlere klimatische Situation in den Untersuchungsgebieten.

Im Folgenden werden die Standorte mit den jeweils zu lösenden Planungsaufgaben vorgestellt.

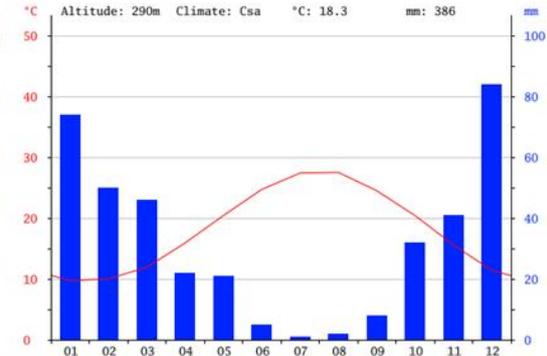
3.2 Deponie Albota, Bezirk Arges, Rumänien

Die Deponie Albota befindet sich nahe der Stadt Pitesti (Kreis Arges) in der Walachei in Rumänien. Sie ist etwa 120 Kilometer in westlicher Richtung von Bukarest entfernt. Die Altdeponie Albota hat eine Größe von 6,6 ha sowie eine Abfallmächtigkeit von ca. 25 m und wurde

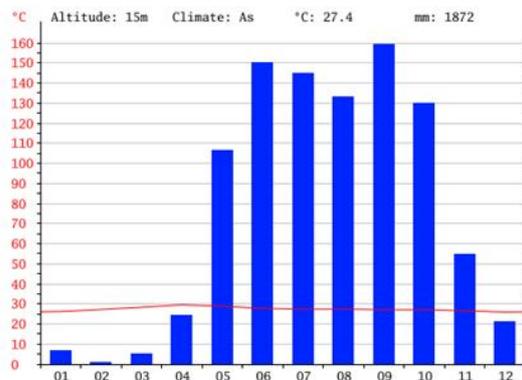
Albota, Rumänien



Güngör, Nordzypem



Ho Chi Minh City, Vietnam



Barka, Oman

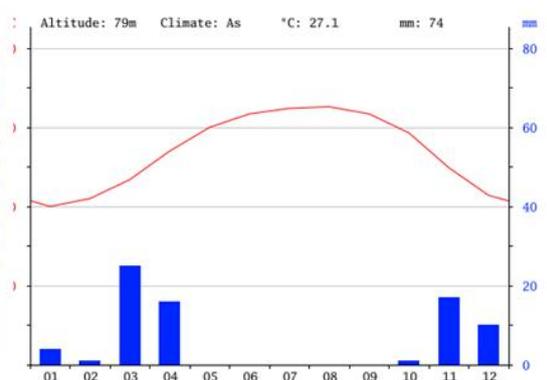


Abbildung 2: Mittlere klimatische Situation in den Untersuchungsgebieten.

im Jahr 2010 geschlossen. Die neue Deponie in Albota hat eine Fläche von 7,1 ha und wurde im Zeitraum 2008 – 2010 errichtet und ist für ein Volumen von 750.000 m³ (1. Zelle) ausgelegt.

Die Schließung der Altdeponie und die Errichtung der Neudeponie erfolgten im Rahmen des EU-Projektes „Technical Assistance for Management and Supervision of ISPA Contracts in the Solid Waste Sector in Arges“ EuropeAid/122694/D/SER/RO [3], welches durch das Konsortium C&E GmbH, Pöyry Deutschland GmbH und Infraconsult SRL Rumänien bearbeitet wurde. Im Rahmen der Errichtung der Neudeponie wurde Abfall aus weiteren zu sanierenden Deponien des Kreises Arges nach dem Neubau in die neue Deponie eingelagert. Ziel der Wasserhaushaltsbilanzierung war die Ermittlung der Sickerwasserrate für verschiedene Planungsvarianten im Rahmen der Planung der Neudeponie und als Planungsgrundlage für die Dimensionierung der Entwässerungssysteme im Rahmen der Schließung der Altdeponie.

3.3 Deponie Güngör, Nordzypem

Die Deponie Güngör befindet sich im Norden der Türkischen Republik Nordzypem in der Nähe der Stadt Nicosia. Die Deponie hat mit Nebenanlagen eine Größe von 9,7 ha (reine Deponiefläche 6,5 ha) und wurde im Rahmen des EU-Projektes „Supervision of works contracts on waste management infrastructure in the northern part of Cyprus“ EuropeAid/126761/C/SER/CY [4] im Zeitraum 2010 – 2011 errichtet und Anfang 2012 in Betrieb genommen. Dieses Projekt wurde durch das Konsortium C&E GmbH, Enviroplan S.A. und Consulgal S.A. bearbeitet. Ziel der Wasserhaushaltsmodellierung war die Schaffung einer Planungsdatenbasis für die Behandlungsanlage für Deponiesickerwässer. In Zypern herrscht ein mediterranes Klima mit

erheblichen Unterschieden zwischen den Minimum- und Maximumtemperaturen und langen Trockenperioden, die sich mit kurzen Regenperioden abwechseln. Die mittlere Niederschlagsmenge beträgt 480 mm, mit Spannweiten von 182 mm (1972/1973) bis 759 mm (1968/69). Die meteorologische Situation am Standort wird durch die nahe gelegene Kyrenia Gebirgskette beeinflusst, deren höchste Erhebungen >1.000 m erreichen. Daneben hat die nahe gelegene Küste des Mittelmeeres einen erheblichen Einfluss auf die mittlere Luftfeuchte, die zwischen 65 und 95% im Winter und zwischen 15 und 30% im Sommer beträgt.

3.4 Deponie Gò Cát, Ho Chi Minh City, Vietnam

Die Deponie Gò Cát westlich der Stadt Ho Chi Minh City ist Untersuchungsgegenstand im BMBF-Forschungsprojekt „SAFEUSE - Erarbeitung von Handlungsoptionen und eines dringlichkeitsangepassten Maßnahme-Konzeptes für die weitere Sicherung und Bewirtschaftung des Deponiestandortes Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam unter dem Aspekt der Optimierung von Klimaschutz und Landnutzung“ [5], welches im Rahmen des CLIENT-Programms des BMBF durch eine Forschungs Kooperation der Firmen C&E GmbH, Intecus GmbH, Iproplan GmbH und Vita34 bearbeitet wird. Ziel des Teilprojektes zum Wasserhaushalt ist die Entwicklung von Wassermanagementoptionen im Rahmen der Deponierekultivierung. Die Deponie Gò Cát hat eine Fläche von 17,5 ha. Sie wurde nach internationalen technischen Standards errichtet und im Zeitraum 2001 bis 2007 betrieben. Die Deponie besteht aus fünf Ablagerungsbereichen (je 3,5 ha), die nacheinander errichtet wurden und von denen nur zwei Ablagerungsbereiche gegen Niederschlagseintrag gesichert wurden. Die durchschnittlich täglich anfallenden Sickerwassermengen betragen in Trockenzeit ca. 300 – 400 m³/d und in Regenzeit ca. 2.000 – 2.500 m³/d.

3.5 Deponie Barka, Oman

Barka ist eine Küstenstadt in der Region al-Bāṭina, im nördlichen Oman, ca. 80 km westlich von Maskat. Das Wilayat von Barka ist eines der bevölkerungsreichsten Wilayats im Süden der Al-Batinah Region mit einer Einwohnerzahl von mehr als 96.400. Das regionale Abfallmanagement in Barka wird durch das Ministry of Regional Municipality and the Water Resources (Verwaltung Barka) durchgeführt. In Barka bestand bereits eine Deponie, die keinerlei internationalen Standards genügte. Aus diesem Grund wurde eine neue Deponie, die die Anforderungen von Umweltschutz und Gesundheitsschutz erfüllt, geplant. Ziel der Wasserhaushaltsbilanzierung war die Ermittlung der Sickerwasserrate für verschiedene Planungsvarianten im Rahmen der Planung der Neudeponie. Das Sickerwasser soll in Verdunstungsbecken eliminiert werden, diese waren auch zu dimensionieren. Das Projekt wurde durch die C&E GmbH im Auftrag der Oman Environmental Services Holding Company (be'ah) bearbeitet [6].

4 Ergebnisse

4.1 Deponie Albota, Rumänien

Die Berechnungen erfolgten für den Standort der Altdeponie mit dem Ziel der Dimensionierung der Entwässerungssysteme nach der Schließung und für die Neudeponie mit dem Ziel der Ermittlung der Sickerwasserrate für verschiedene Planungsvarianten. Die Berechnungen für den Istzustand erfolgten für den reinen Müllkörper ohne Vegetation.

Die mittlere Niederschlagsmenge wurde mit 661 mm/a berechnet. Obwohl die potentielle Evapotranspiration mit 773 mm/a höher ist als die Niederschlagssumme, beträgt der reale Verdunstungsverlust auf Grund fehlender Vegetation nur 455 mm/a. Der Differenzbetrag zwischen Niederschlag und Verdunstung (206 mm/a) sickert in den Deponiekörper ein. Aufgrund der niedrigen gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit der unterlagernden geologischen Barriere

Tabelle 1: Eingabedaten für die HELP Modellierung der Deponie Albota in Rumänien.

Material	SWG [cm ³ /cm ³]	FK pF 2.5 [cm ³ /cm ³]	PWP pF 4.2 [cm ³ /cm ³]	k _f Wert [m/s]
10.0 m Hausmüll (HELP Datensatz 18)	0,671	0,292	0,077	1·10 ⁻⁵
5.0 m unterlagernde geologische Barriere	0,427	0,418	0,367	1·10 ⁻⁹

SWG - Sickerwassergehalt, FK – Feldkapazität, PWP – Permanenter Welkepunkt

fließt eine Wassermenge von 171 mm/a seitlich auf der Deponiesohle ab und tritt an der Oberfläche als Sickerwasser aus. Die verbleibende Menge 35 mm/a sickert in den Untergrund und erreicht das Grundwasser. Für den Zeitraum nach der Schließung des alten Deponiekörpers wurde ein Oberflächenabdichtungssystem mit folgenden Parametern berücksichtigt:

- 1,0 m Rekultivierungsschicht (Lehm, HELP-Datensatz 8),
- 0,3 m Drainageschicht (Kies, HELP Datensatz 21, k_f-Wert 1·10⁻³ m/s),
- 1,0 m mineralische Dichtungsschicht (Bodenbarriere, HELP Datensatz 16, k_f 1·10⁻⁹ m/s),
- 10,0 m Abfälle (Hausmüll, HELP Datensatz 18),
- 5,0 m geologische Barriere (Bodenbarriere, HELP Datensatz 16, k_f 1·10⁻⁹ m/s).

Aufgrund der Grasdecke erreicht die Verdunstung 503 mm/a. Die Differenz zum Niederschlag sickert durch die Rekultivierungsschicht (158 mm/a). Hiervon fließt ein Anteil von 139 mm/a seitlich in der Drainageschicht in die Entwässerungskanäle ab. Die Versickerung durch die mineralische Dichtungsschicht beträgt 19 mm/a. Dieser Betrag sickert auch durch die Deponiebasis und fließt in das Grundwasser. Wenn die Oberflächenabdeckung aus einer Kunststoffdichtungsbahn besteht, kann die Perkolation auf Null reduziert werden. In diesem Fall fließen 158 mm/a über die seitliche Entwässerung in die Entwässerungskanäle des Oberflächenabdichtungssystem ab. In dem dargestellten Szenarium kann nur Sickerwasser den Grundwasserspiegel erreichen, das im Deponiekörper selbst gebildet wird. Die maximale Sickerwassermenge beträgt dann 32 mm/a. Für den Fall der Neudeponie kann die Perkolation auf Null reduziert werden, da die Neudeponie über eine Kunststoffdichtungsbahn an der Basis verfügt. Die Sickerwassermengen werden beim Betrieb der Deponie seitlich an der Deponiebasis als Deponiesickerwasser abgeführt, während nach der Befüllung und Schließung der Deponie eine seitliche Entwässerung über die Entwässerungskanäle des Oberflächenabdichtungssystem erfolgt.

4.2 Deponie Güngör, Nordzypem

Ziel der Wasserhaushaltsberechnung für die neue Deponie in Güngör war die Ermittlung der Sickerwassermenge, die sich auf der Basisabdichtung bildet und als Deponiesickerwasser aufgefangen wird. Dieser Wert wurde für die Dimensionierung der zu planenden Sickerwasserbehandlungsanlage benötigt. Vier Szenarien wurden für die Berechnung berücksichtigt:

- Basisszenarium (nach dem Bau), aber bevor Abfälle in der Deponie eingelagert werden (es besteht eine Basisabdichtung, die mit den EU Regelungen konform ist),
- Deponiebetrieb,
- Szenario Deponieschließung mit Zwischenabdeckung,
- Szenario Deponieschließung mit Endabdeckung.

Tabelle 2: Ermittlung der mittleren Sickerwassermengen Deponie Güngör in Nordzypern.

Deponie	Fläche [ha]	Basis-szenarium [m ³ /d]	Deponie-betrieb [m ³ /d]	Deponieschließung Zwischenabdeckung [m ³ /d]	Deponieschließung Endabdeckung [m ³ /d]
Güngör	6,5	10,2	10,4	6,9	4,2

Tabelle 3: Ermittlung der Sickerwassermengen für Starkregenereignisse während der Betriebsphase der Deponie Güngör in Nordzypern.

Starkregenszenarium	Fläche [ha]	Szenarium: Deponiebetrieb [m ³ /d]
HN10, 60 mm/d	6,5	16,8
HN30, 90 mm/d	6,5	24,5

Weiterhin wurde ein Starkregenszenarium modelliert, wobei Starkregenereignisse mit einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren (60 mm/d) und 30 Jahren (90 mm/d) berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen 2, 3 dargestellt.

Das ermittelte Sickerwasservolumen für das Starkregenereignis mit einem Wiederkehrintervall von 30 Jahren wurde für die Dimensionierung der Sickerwasserbehandlungsanlage verwendet.

4.3 Deponie Go Cat, Ho Chi Minh City, Vietnam

Die Berechnungen erfolgten für drei verschiedene Szenarien. Das erste Szenario entspricht dem aktuellen Zustand ohne Abdeckung. Das zweite Szenario berücksichtigt die bereits aufgebrauchte Zwischenabdeckung auf den Deponiezellen 4 und 5. Das dritte Szenario entspricht einer Deponie mit vollständiger Abdeckung und mit gutem Grasbewuchs. Berechnungsgrundlage war der Zeitraum 1999 bis 2013, für den lokale Klimadaten vorlagen. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge betrug im Zeitraum 1999 bis 2013 lag bei 1.923 mm/a.

Basisabdichtungssystem (Schichtenangaben von oben nach unten):

- 22 m Abfall mit Erdschichten (6· 3,5 m Abfall; 5· 0,15 m Erdschicht),
- 0,3 m Kiesschicht,
- 2 mm HDPE-Folie; 10^{-11} m/s,
- 0,5 m Tonschicht; zw. $1,1 \cdot 10^{-3}$ m/s und $2,7 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Geplanter Aufbau Oberflächenabdeckung:

- 0,8 m lehmiger/toniger Sand,
- 0,2 m Sandschicht,
- 2 mm HDPE-Folie,
- 0,3 m Tonschicht.

Drei Szenarien wurden für die Berechnung berücksichtigt:

- Szenarium 1: offene Deponie ohne Abdichtung,

- Szenarium 2: teilweise Abdichtung, Rest der Deponie ist weiterhin offen,
- Szenarium 3: geschlossene Deponie mit Endabdeckung und gutem Bewuchs.

Die Ergebnisse der Modellierung sind in den nachfolgenden Tabellen 4, 5 zusammen gestellt.

Tabelle 4: Ermittlung der Sickerwassermengen für die offene Deponie (Szenarien 1 und 2).

Parameter	Werte [mm/a]	Wasser- menge pro 1 ha [m³/a]	Wasser- menge (Szena- rium 1: 17,5 ha), [m³/a]	Wasser- menge (Szena- rium 2: 3,5 ha), [m³/a]
Niederschlag	1.923	19.227	33.6471	67.294
Oberflächenabfluss	9	86	1.511	42.296
potentielle Verdunstung	1.687	16.870	295.220	59.044
reale Verdunstung	660	6.601	115.523	20.932,1
Drainagewasser aus Drainageschicht	1.306	13.063	228.603	3.920
Versickerung aus Schicht / Perkolation	4	39	-	138
Drainagewasser aus Drainageschicht	3	-	25	89
Perkolation der Basisabdichtung	3	31	534	0.4

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen für den Plateaubereich (200 m, Neigung 2%) und den Böschungsbereich (80 m; Neigung 33%) der Deponie (Szenarium 3). Insgesamt fließt ein Wasservolumen von 157 mm/a (Plateaubereich) und 1.350 mm/a (Böschungsbereich) in der Drainageschicht direkt in die Drainagekanäle. Den Bereich der Basisabdichtung durchsickert kein Sickerwasser. Es sollte daher eine vollständige Abdeckung der Deponie Gô Cát in Ho Chi Minh City angestrebt werden.

Tabelle 5: Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen für den Plateaubereich (200 m, Neigung 2%) und den Böschungsbereich (80 m; Neigung 33%) der Deponie (Szenarium 3).

Summengrößen	Werte Plateau [mm/a]	Menge (Szena- rium. 3: Plateau) [m³/a]	Werte Böschung [mm/a]	Wasser- menge (Szena- rium 3: Böschung) [m³/a]
Niederschlag	1.923	33.6471	1.923	33.6471
Oberflächenabfluss	1.163	203.532	19	3.395
potentielle Verdunstung	1.687	295.220	1.687	295.220
reale Verdunstung	599	104.735	552	96.601
Drainagewasser aus Drainageschicht	157	27.458	1.350	236.253
Versickerung aus Schicht / Perkolation	4	685	0,5	87
Drainagewasser aus Drainageschicht	2,5	439,3	0,07	13
Perkolation der Basisabdichtung	0,008	1,4	0,00006	0,01

4.4 Deponie Barka, Oman

Ziel der Wasserhaushaltsbilanzierung war die Ermittlung der Sickerwasserrate für verschiedene Planungsvarianten im Rahmen der Planung der Neudeponie, und zwar:

- Szenarium 1: Deponiebetrieb mit Basisabdichtung unter „Worst-Case“ Bedingungen,
- Szenarium 2: Wassermenge, die über die Verdunstungsbecken eliminiert wird,
- Szenarium 3: Oberflächenentwässerung von Plateau und Böschungsbereichen.

Basisabdichtungssystem (Schichtenangaben von oben nach unten):

- 20 m Abfall, $1 \cdot 10^{-5}$ m/s,
- 0,3 m Kiesschicht (Drainageschicht),
- 3,8 mm Drainmatte, $1 \cdot 10^{-1}$ m/s,
- 1,5 mm HDPE-Folie; $2 \cdot 10^{-15}$ m/s,
- 6 mm Bentonitmatte, $3 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Oberflächenabdichtungssystem:

- 40 cm Rip-Rap, $3 \cdot 10^{-2}$ m/s,
- 40 cm Sand, $0,404 \cdot 10^{-4}$ m/s,
- 5 mm Drainmatte, $1 \cdot 10^{-1}$ m/s,
- 1,5 mm HDPE-Folie; $2 \cdot 10^{-15}$ m/s,
- 6 mm Bentonitmatte, $3 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Für die Verdunstungsbecken wurde von einer 0,47 ha Fläche mit einer Neigung von 0,51% ausgegangen. Das Endabdichtungssystem hat folgende räumliche Konfiguration:

	Plateau	Böschung
Fläche:	5.23 ha	4.52 ha
Neigung:	5%	25%

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 6: Sickerwasserprognose für die Deponie Barka (Oman), Szenarium 1.

	Menge [mm]	Menge [m ³]	in % des Niederschlages*
Niederschlag	137,85	13.444,4	100,00
Potenzielle Evapotranspiration	1.680,65	16.3862,95	-
Aktuelle Evapotranspiration	102,26	9.970,09	74,18
Lateraler Abfluss	31,06	3.028,48	22,53
Perkolation/Leakage durch Bentonitmatte	0	0,006	0
Mittlerer Abfluss auf der KDB	0,009	-	-

* Rest zu 100%: Änderung im Bodenfeuchtespeicher

Die Ergebnisse zeigen, dass die Menge an gebildetem Sickerwasser geringer ist als die potenzielle Verdunstung, die Verdunstungsbecken üben somit eine Sicherungsfunktion aus. Generell sind die Niederschlagsmengen, die zur Sickerwasserbildung zur Verfügung stehen, sehr gering.

Tabelle 7: Sickerwasserprognose Deponie Barka, Szenarium 3, P – Plateau, B - Böschung.

	Menge [mm]	Menge [m ³]	Menge [mm]	Menge [m ³]
Niederschlag	137,85	7209,6	137,85	6.230,8
Oberflächenabfluss	6,86	358,55	8,57	387,45
Potenzielle Evapotranspiration	1.680,65	87.897,77	1.680,65	75.965,18
Aktuelle Evapotranspiration	44,24	2.313,69	45,36	2.050,06
abgeleiteter lateraler Abfluss	85,76	4.485,36	82,94	3.749,046
Perkolation/Leakage durch Bentonitmatte	0,0001	0,005	0	0
Mittlerer Abfluss auf der KDB	1,19	-	0,11	-

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Wasserhaushaltsmodellierung mittels HELP ist weltweit zur Lösung von Fragestellungen bei der Deponieplanung geeignet. Bei der Anwendung auf internationaler Ebene ist insbesondere der modellinterne Wettergenerator WGEN von Nutzen, der mit einer weltweiten Klimadatenbasis untersetzt ist. Unabhängig davon sollten die generierten Wetterdaten stets mit Daten lokaler Klimastationen validiert werden.

Die Besonderheiten der Wasserhaushaltsmodellierung in Asien und Südeuropa bilden insbesondere die teilweise extremen klimatischen Bedingungen. Das Übergangsklima in Albota (Rumänien), das Winterregenklima der Westseiten in Güngör (Nordzypern) und das trockene Passatklima, wie es in Barka (Oman) vorliegt, lassen sich gut mit dem HELP Modell abbilden und mit geringen Unsicherheiten modellieren. Das tropische Wechselklima mit Monsunregen in Ho Chi Minh City (Vietnam) stellt modelltechnisch eine Herausforderung dar, da während der Starkregen hohe Oberflächenabflüsse gebildet werden, die im HELP Modell ggf. mit Unsicherheiten berechnet werden. Daher sind für Planungsaufgaben, die die Oberflächenwasserableitung betreffen, parallele Berechnungen mit Einzugsgebietsmodellen zu empfehlen, um die mit HELP ermittelten Daten für den Oberflächenabfluss zeitlich weiter aufzulösen.

Literaturverzeichnis

- [1] P. R. Schroeder et al. The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model. 2 Bd.: User's Guide for Version 3; Engineering Documentation for Version 3; EPA/600/R-94/168a,b. Technická zpráva, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1994.
- [2] K. Berger. Validierung und Anpassung des Simulationsmodells HELP zur Berechnung des Wasserhaushalts von Deponien für deutsche Verhältnisse. Technická zpráva, Umweltbundesamt, Fachgebiet III 3.6 (PT AWAS des BMBF), Berlin, 569 S, 1998.
- [3] C&E. "Technical assistance for management and supervision ISPA contracts in the solid waste sector in Arges, Romania", ISPA 2005 RO 16 P PE 001. Technická zpráva, C&E Consulting und Engineering GmbH., 2011.
- [4] C&E. "Supervision of works contracts on waste management infrastructure in the northern part of Cyprus" EuropeAid/126761/C/SER/CY. Technická zpráva, C&E Consulting und Engineering GmbH, 2013.
- [5] C&E. SAFEUSE - Erarbeitung von Handlungsoptionen und eines dringlichkeitsangepassten Maßnahmekonzeptes für die weitere Sicherung und Bewirtschaftung des Deponiestandortes Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam unter dem Aspekt der Optimierung von Klimaschutz und Landnutzung, Teilvorhaben: Integratives Energie- und Nachnutzungskonzept für die Deponie Go Cat in Ho Chi Minh City, Vietnam, Zwischenbericht 1: Wasserhaushaltsmodellierung unter Berücksichtigung verschiedener Profilierungs- und Nachnutzungsszenarien für die Deponie Go Cat und Erstellung eines Katalogs der Wasserbilanzterme für andere Regionen in Vietnam, November 2014. Technická zpráva, C&E Consulting und Engineering GmbH, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, 2014.
- [6] C&E. Design Report and Water Balance Report Landfill Barka – Oman. Technická zpráva, C&E Consulting und Engineering GmbH, 2013.
- [7] K. Berger und P. R. Schroeder. Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Modell. HELP 3.95 D. Technická zpráva, Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, 2013.

**Uzavírání skládek: Zkušenosti
a kontrola úspěšnosti**

**Deponiestilllegungen: Erfahrungen
und Erfolgskontrolle**

Test vhodnosti a zajištění kvality zemních staveb a pro rekultivační vrstvy

Eignungsprüfung und Qualitätssicherung im Erdbau und für Rekultivierungsschichten

Said Al-Akel¹, Jens Engel², Carsten Lauer³

Abstrakt

Zvětralé horniny jsou v zemním stavitelství využívány jako stavební materiál. Každá část dokončené stavby musí spolehlivě plnit požadovanou funkci. Při projektování a v rámci stavebního dozoru je nutno definovat a kontrolovat předpisy pro materiálové složení a vlastnosti půd. V rámci přednášky bude představen nejnovější vývoj předpisů. Nově zavedené homogenní oblasti umožňují flexibilnější přístup.

Zásady, platné pro konstrukci zemních staveb je možné přenést do oblasti rekultivací. Důležitým parametrem pro zajištění kvality je zde využitelná polní vodní kapacita. Na základě zkušeností mohou být odvozeny návrhy pro zlepšení procesů při zajišťování kvality rekultivačních půd.

Kurzfassung

Im Erdbau wird Lockergestein gezielt als Baumaterial eingesetzt. Jeder Teil des fertigen Bauwerks muss die geforderte Funktion uneingeschränkt erfüllen können. Dazu sind im Zuge der Planung und Bauüberwachung Vorgaben an die Materialzusammensetzung und die Eigenschaften zu definieren und zu kontrollieren. Im Rahmen dieses Beitrags werden die neuesten Entwicklungen der Regelwerke vorgestellt. Mit den neu eingeführten Homogenbereichen ist ein flexibleres Vorgehen möglich.

Die Grundsätze des konstruktiven Erdbaus lassen sich auf den Bereich der Rekultivierungszone übertragen. Hier ist die nutzbare Feldkapazität ein wichtiger Parameter zur Sicherung der Qualität. Auf Grundlage von Erfahrungen lassen sich Vorschläge für die Verbesserung der Abläufe bei der Qualitätssicherung für Rekultivierungsböden ableiten.

1 Besonderheiten des Erd- und Dammbaus

1.1 Einführung

Der konstruktive Erdbau ist Teil des Bauingenieurwesens und behandelt die Planung und Herstellung von Dämmen, Deichen und Deponien. Die Bauweise muss der späteren Nutzung angepasst werden. Bei Eisenbahndämmen für Schotteroberbaustrecken kann das Niederschlagswasser von oben einsickern während bei Straßen die Oberfläche meist versiegelt ist. Verkehrsdämme unterliegen überwiegend vertikaler Belastung, Staudämme weisen eine

¹Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Karl-Liebknecht-Str. 132, D-04277 Leipzig, said.al-akel@htwk-leipzig.de

²HTW Dresden, Friedrich-List-Platz 1, D-01069 Dresden, engel@htw-dresden.de

³HTW Dresden, Friedrich-List-Platz 1, D-01069 Dresden, lauer@htw-dresden.de

Dichtung auf und müssen dem Wasserdruck standhalten und Deiche sollen eine begrenzte Zeitdauer das Binnenland vor dem Hochwasser schützen.

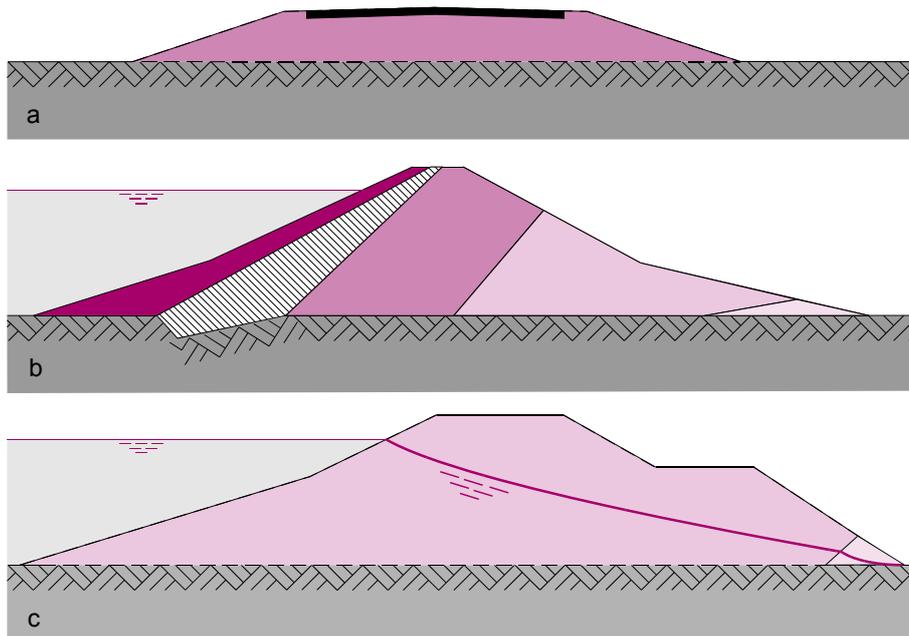


Abbildung 1: Beispiele für Erd- und Dammbauwerke (a - Verkehr, b - Staudamm, c - Deich).

Neben den baulichen Anforderungen sind immer auch die regionale Einordnung und Wirtschaftlichkeit zu beachten. Bei Erd- und Dammbauwerken werden große Massen transportiert und eingebaut. Die Optimierung des Aufwands für den Transport hat wesentlichen Einfluss auf die Gesamtkosten. Auch deshalb ist die Nutzung regional verfügbarer Materialien sinnvoll.

Lockergestein wird im Erdbau zum Baumaterial, dessen Eigenschaften durch die Gewinnung, Zwischenlagerung, Einbau und Verdichtung beeinflusst werden. Jeder Teil des Bauwerks muss die geforderte Funktion uneingeschränkt erfüllen können. Dazu sind im Zuge der Planung und Bauüberwachung Vorgaben an die Materialzusammensetzung und die Eigenschaften nach Einbau zu definieren und zu kontrollieren. Aus den funktionellen Zielstellungen ergeben sich Vorgaben für die Durchlässigkeit (Dichtung oder Drainage), die Festigkeit (Standicherheit) und die Verformbarkeit, die sich durch Kennziffern zahlenmäßig beschreiben lassen. Für das übliche Vorgehen im Erd- und Dammbau liegen umfangreiche Erfahrungen vor, die in Regelwerken und Empfehlungen zusammengefasst worden sind. Für Rekultivierungsschichten und teilweise für den Deponiebau sind ingenieurtechnische Erfahrungen nicht in gleicher Weise verfügbar.

1.2 Bodenklassen und Homogenbereiche im Erdbau

Ein grundlegender Ansatz im Erdbau besteht in der Einteilung der Böden nach ihren bautechnischen Eigenschaften. Dafür nutzt man einfach bestimmbare Größen, z. B. die Korngrößenverteilung und die Konsistenzgrenzen. Das Material wird einer Gruppe zugeordnet. Mit den Bodenklassen der DIN 18300 werden die Böden nach ihrer Lösbarkeit in 7 Bodenklassen unterteilt. Der Bodenklasse 4 werden z. B. Gemische von Sand, Kies, Schluff und Ton mit mehr als 15% Korngrößen $< 0,06$ mm sowie leicht- bis mittelplastische feinkörnige Bodenarten zugeordnet. Gemäß der geotechnischen Klassifikation betrifft dies die Bodengruppen UL, UM, UA, TL, TM, GU*, GT*, SU*, ST*, OU, OH, OK. Als Beispiel für die Anbindung von Erfahrungswerten an Bodenklassen sind in Tabelle 1 Auflockerungsfaktoren von Böden zusammengestellt.

Tabelle 1: Auflockerungsfaktoren in Abhängigkeit von Bodenart und Bodenzustand.

Bodenart	Zustand in situ	Dichte ρ [g/cm ³]		Auflockerungs- faktor f_S
		in situ	nach Lösen	
Bodenklasse 1: Oberboden				
Mutterboden	locker	0,95		1,00
	mitteldicht	1,13		1,19
	dicht	1,37	0,95	1,45
Bodenklasse 3: Leicht lösbare Bodenarten				
nicht- bis schwach- bindiger Sand,	locker	1,51		1,00
	mitteldicht	1,72		1,14
Sand-Kies-Gemische	dicht	1,86	1,51	1,23
organischer Boden	weich (locker)	0,95		1,00
	steif (mitteldicht)	1,13		1,19
	halbfest (dicht)	1,37	0,95	1,45
Bodenklasse 4: Mittelschwer lösbare Bodenarten				
leicht bis mittel- plastischer Ton	weich (locker)	1,47		1,00
	steif (mitteldicht)	1,75		1,19
	halbfest (dicht)	2,08	1,66	1,25

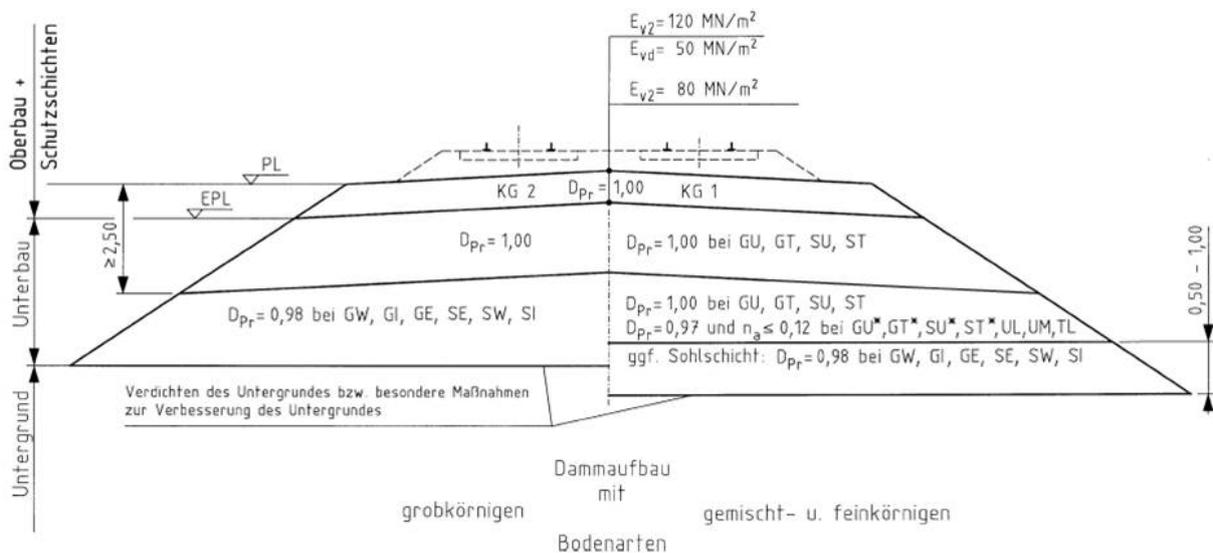


Abbildung 2: Beispiel für die Anforderungen an die eingebauten Böden bei Eisenbahndämmen.

Der Vorgang des Lösen von Boden ist verbunden mit der Auflockerung wodurch sich der Anteil der Luftporen erhöht und der Boden in einem teilgesättigten Zustand vorliegt. Die Volumenvergrößerung lässt sich durch den Auflockerungsfaktor f_S berücksichtigen, der das Verhältnis des Volumens nach dem Lösen zum Volumen im Ausgangszustand beschreibt. Der auf die Trockenmasse bezogenen Wassergehalt w wird zunächst nur wenig beeinflusst. Transport, Zwischenlagerung und Anpassung des Bodens an die Einbauvorgaben sind Prozesse, die die bautechnischen Eigenschaften beeinflussen. Die Anpassung ist z. B. über die Einstellung des

Tabelle 2: Geforderte Verdichtung bei Straßendämmen (siehe ZTV E [4]).

Bereich	Bodengruppen nach DIN 18196	D_{Pr} in %	n_a in %
Planum bis 1 m Tiefe bei Dämmen und 0,5 m bei Einschnitten	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100	–
1,0 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE, SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	98	–
Planum bis Dammsohle und bis 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GU*, GT*, SU*, ST* U, T, OU, OT	97	12

Wassergehalts durch Beregnung oder Austrocknung oder bei wenig geeigneten Böden durch Zugabe von Bindemittel oder Ergänzungsmaterial möglich.

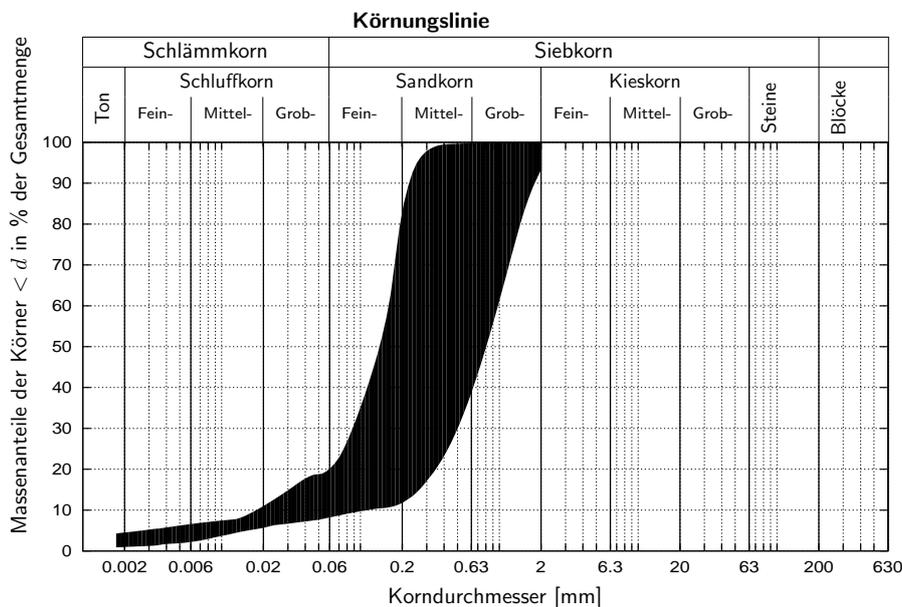


Abbildung 3: Beispiel des Körnungsbandes für die Festlegung eines Homogenbereichs.

Die Praxis des Erdbaus wird bestimmt durch Regelbauweisen. Für das Erdbauwerk werden die einzubauenden Bodenarten in Verbindung mit dem Verdichtungsgrad beschrieben (siehe Abbildung 2 und Tabelle 2). Die Auswahl erfolgt dabei nach den Eigenschaften, die zur Erfüllung der geforderten Funktion notwendig sind.

Eine Alternative zu der relativ starren Einteilung der Bodenklassen und Bodengruppen ist in den letzten Jahren durch die Entwicklung der so genannten „Homogenbereiche“ entstanden (siehe [2]). Im Unterschied zur bisherigen Praxis lassen sich mit Homogenbereichen die Grenzen der Eigenschaften flexibel vorgeben. Es wird damit möglich, die Baugrundsichten in Abhängigkeit der auszuführenden Bauleistung zusammenzufassen. Im Erdbau sollen Böden, die in einem Homogenbereich zusammengefasst werden, ähnliche Eigenschaften in Bezug auf das Lösen, Laden, Transportieren und den Einbau aufweisen. Diese Überlegung ist aus der Einteilung der Bodenklassen entstanden und soll die optimale Wahl der Bauverfahren ermöglichen.

1.3 Eigenschaften von Erdbaumaterialien

Maßgebend für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sind auch im Erd- und Dammbau bodenmechanische Kriterien. Die entsprechenden Kennziffern sind die Scherparameter φ , c bzw. c_u , der Durchlässigkeitsbeiwert k und der Verformungsmodul E_S . Im Zuge der Tragwerksplanung werden Abmessungen und Konstruktion der Bauwerke schrittweise optimiert. Bei einigen Anwendungen des Erd- und Dammbaus, z. B. bei Straßen- und Eisenbahndämmen, erfolgt die Planung auf Grundlage von Regelbauweisen. Diese sind auf Grund von Erfahrungen unter Berücksichtigung rechnerischer Nachweise entstanden und die Vorgaben für Materialart, Einbau und Böschungsneigung in Regelwerken festgelegt.

Sind rechnerische Untersuchungen erforderlich, müssen die Eigenschaften durch Berechnungskennwerte zahlenmäßig beschrieben werden. Für die Angabe der Bandbreite der Kennwerte liegen noch keine praktischen Erfahrungen vor. Homogenbereiche sind aus der Praxis des Erdbaus hervorgegangen. Die Angabe der Bandbreiten für Kennwerte stand nicht im Vordergrund. Für Bodengruppen nach DIN 18196 sind Erfahrungswerte in Tabellen zusammengefasst worden. Die unkritische Kombination dieser tabellierten Erfahrungswerte kann bei Homogenbereichen wegen der größeren Bandbreite zu falschen Bemessungsergebnissen führen.

Tabelle 3: Bandbreite der Kennwerte von Böden für Vorbemessungen.

Bodenart	Wichte [kN/m ³]		Bodengruppe nach DIN 18196	Korngrößen- verteilung		Ungleichförmig- keitszahl C_u [-]	Reibungswinkel φ [°]	Kohäsion c [kN/m ²]	Durchlässigkeits- beiwert k [m/s]	Proctorwerte		Kompressions- kennwerte	
	erdfeucht γ	unter Auftrieb γ'		$\leq 0,06$ mm [%]	$\leq 2,0$ mm [%]					Dichte ρ_{pr} [t/m ³]	Wassergehalt w_{pr} [%]	v	w
Kies, gleichkörnig	16,0	9,5	GE	<5	≤ 60	2	34	-	$2 \cdot 10^{-1}$	1,70	8	400	0,6
	19,0	10,5								1,90	5	900	0,4
Kies, sandig, wenig Feinkorn	21,0	11,5	GW, GI	<5	≤ 60	10	35	-	$1 \cdot 10^{-2}$	2,00	7	400	0,7
	23,0	13,5								2,25	4	1100	0,5
Kies, sandig, tonig, schluffig Feinkorn sprengt nicht Korngerüst	21,0	11,5	GU, GT	8	≤ 60	30	35	7	$1 \cdot 10^{-5}$	2,10	7	400	0,7
	24,0	14,5								2,35	4	1200	0,5
Kies-Sand-Feinkornmisch- Sprengung des Korngerüsts	20,0	10,5	GU', GT'	20	≤ 60	100	28	15	$1 \cdot 10^{-7}$	1,90	10	150	0,9
	22,5	13,0								2,20	5	300	0,7
Sand, gleichkörnig	16,0	9,5	SE	<5	100	1,2	32	-	$5 \cdot 10^{-3}$	1,60	15	150	0,6
	19,0	11,0								1,75	10	250	0,7
Sand, gut abgestuft Sand, kiesig	18,0	10,0	SW, SI	<5	>60	6	33	-	$5 \cdot 10^{-4}$	1,90	10	150	0,70
	21,0	12,0								2,15	6	300	0,55
Sand mit Feinkorn, keine Sprengung des Korngerüsts	19,0	10,5	SU, ST	8	>60	10	32	7	$2 \cdot 10^{-5}$	2,00	11	100	0,80
	22,5	13,0								2,20	7	200	0,70
Sand mit Feinkorn Sprengung des Korngerüsts	18,00	9,0	SU', ST'	20	>60	30	25	25	$2 \cdot 10^{-6}$	1,70	19	40	0,90
	21,5	11,0								2,00	12	140	0,75
Schluff, gering plastisch	17,5	9,5	UL	>50	>80	5	28	10	$1 \cdot 10^{-5}$	1,60	22	25	0,95
	21,0	11,0								1,80	15	60	0,85
Schluff, mittel- und ausgeprägt plastisch	17,0	8,5	UM, UA	>80	100	5	25	20	$2 \cdot 10^{-6}$	1,55	24	25	1,0
	20,0	10,5								1,75	18	60	1,0
Ton, gering plastisch	19,0	9,5	TL	>80	100	6	28	35	$1 \cdot 10^{-7}$	1,65	20	20	1,00
	22,0	12,0								1,85	15	40	1,00
Ton, mittelpplastisch	18,0	8,5	TM	>90	100	5	25	45	$5 \cdot 10^{-8}$	1,55	23	10	1,00
	21,0	11,0								1,75	17	25	1,00
Ton, ausgeprägt plastisch	16,5	7,0	TA	100	100	5	17	60	$1 \cdot 10^{-9}$	1,45	27	6	1,00
	20,0	10,0								1,65	20	20	1,00
Schluff oder Ton organisch	15,5	5,5	OU, OT	>80	100	5	20	35	$1 \cdot 10^{-9}$	1,45	27	4	1,00
	18,5	8,5								1,70	18	7	0,90
Torf	10,4	0,4	HN, HZ	-	-	-	15	15	$1 \cdot 10^{-5}$	-	-	3	1,00
	12,5	2,5								37 ²⁾	5	6	1,00

Nach [2] bzw. DIN 18313 sind für die zahlenmäßige Angabe der Grenzen eines Homogenbereichs folgende Eigenschaften bzw. Kenngrößen anzugeben:

- die Bodengruppe nach DIN 18196, ergänzend die ortsübliche Bezeichnung,

- das zulässige Körnungsband durch Grenzen der Korngrößenverteilung,
- die Bandbreite des Anteils an Steinen und Blöcken,
- die untere und obere Grenze der Wichte γ
- die Bandbreite des Reibungswinkels φ' und der Kohäsion c'
- die Streubreite der undrÄnirten Scherfestigkeit c_u ,
- die obere und unterer Grenze der Verformungsmoduln E_S
- die Bandbreite der DurchlÄssigkeit k
- die Konsistenzbereiche bindiger, die Lagerungsdichte nichtbindiger BÖden
- die SensitivitÄt bindiger BÖden
- die Streubreite des organischen Anteils sowie des Kalkgehalts.

1.4 Bodenmechanik des Erd- und Dammbaus

Als Voraussetzung für die Festlegung der optimalen Einbau- und Verfestigungstechnologie ist die Bewertung des Zusammenhangs zwischen Verdichtung und den geforderten Eigenschaften notwendig. Für Regelbauweisen wird auf langjährig gesicherte Erfahrungen zurückgegriffen. Viele Näherungen zur Abschätzung von Bodenkennziffern beruhen auf Erfahrungen, die für gesättigte Zustände gelten. Auch die meisten konstitutiven Gesetze basieren auf Experimenten, bei denen die BÖden wassergesättigt oder trocken untersucht worden sind. Für praktische Anwendungen sind empirische Modelle geeignet. Nach einem Vorschlag von Rudert [7] lassen sich diese Zusammenhänge für teilgesättigte BÖden anschaulich in einem Koordinatensystem $(n_w, 1 - n)$ darstellen.

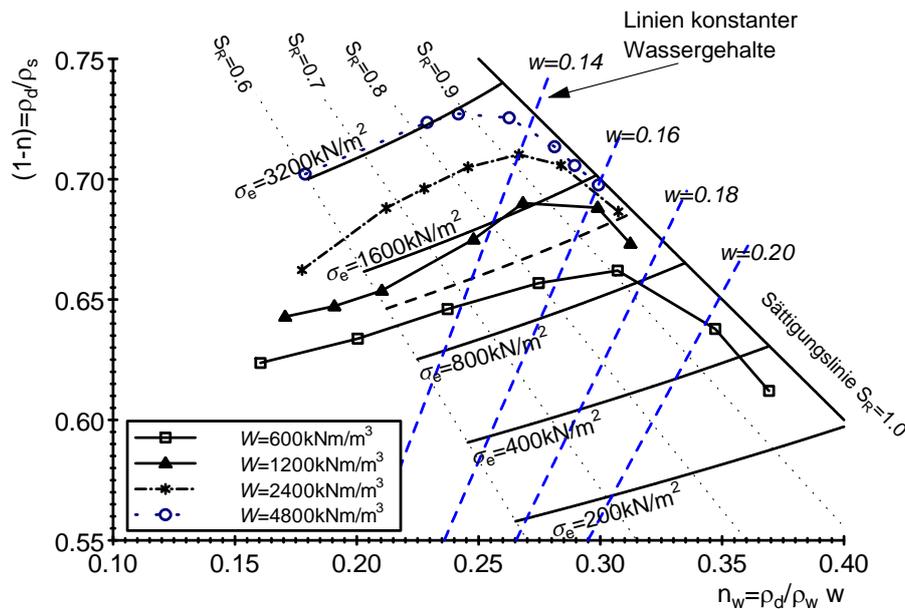


Abbildung 4: Ergebnisse von Proctor- und Kompressionsversuchen.

Abbildung 4 zeigt die Auswertung der Ergebnisse von Ödometer- und Proctorversuchen an einem leicht plastischen Ton. Der Boden ist locker eingebaut und anschließend verdichtet worden. Die für das Erreichen einer bestimmten Trockendichte erforderliche Spannung im Ödometerversuch wird hier mit σ_e bezeichnet. An den Linien gleicher σ_e Werte kann die in Abhängigkeit vom Wassergehalt erreichbare Trockendichte abgelesen werden. Die Neigung dieser Linien entspricht etwa der Neigung des trockenen Astes der Proctorkurve. Sie sind ein Maß für den mechanischen Widerstand des Bodens gegen Zusammendrückung. Bereits Proctor hat darauf hingewiesen, dass der Boden bei der Verdichtung auf der trockenen Seite einen halbfesten Zustand aufweist („hard and firm“).

Die Verdichtung von zunächst locker geschütteten Böden lässt sich in Abhängigkeit vom Einbauwassergehalt beschreiben. Bei niedrigen Wassergehalten liegt die erreichbare Trockendichte auf der trockenen Seite der Proctorkurve. Der Anteil der luftgefüllten Poren im Boden ist noch relativ groß und der Sättigungsgrad S_R niedrig. Bei Aufsättigung kommt es je nach Überlagerungsdruck zur Volumenab- (Sackung) oder -zunahme (Schwellen).

In Abbildung 4 ist das Verhalten eines leicht plastischen Tons bei Wasserzugabe dargestellt. Durch die sehr kleine Vertikalbelastung war der Schwellvorgang nur wenig behindert. Der Wassergehalt nimmt zu, der Boden schwillt und es stellt sich eine wesentlich niedrigere Konsistenz als im Ausgangszustand ein.

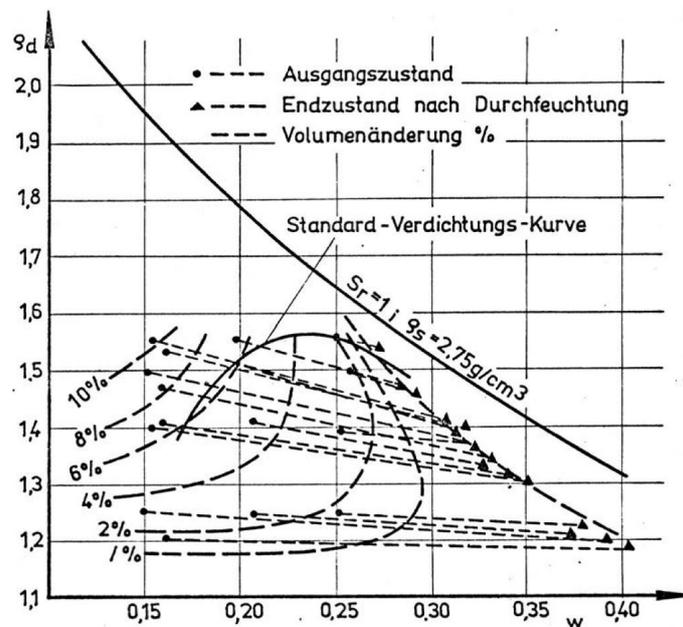


Abbildung 5: Schwellen von verdichtetem Boden bei Wasserzugabe.

Die Qualitätskontrolle im Erdbau erfolgt seit der Veröffentlichung der grundlegenden Arbeiten von R.R. Proctor 1933 [6] auf Grundlage des Vergleichs der erreichten zu einer vorgegebenen Trockendichte. Dies setzt voraus, dass der eingebaute Boden dem zuvor im Labor untersuchten Material entspricht. Deshalb ist die Prüfung des angelieferten Materials ein wichtiger Teil der Gütekontrolle. Die Berechnung der Trockendichte erfordert die experimentelle Bestimmung der Dichte und des Wassergehalts. Wegen des dafür erforderlichen Zeitaufwands sind indirekte Methoden der Verdichtungskontrolle sehr verbreitet.

Dazu gehören z. B. der statische oder dynamische Lastplattenversuch und die flächendeckende dynamische Verdichtungskontrolle. Bei diesen Verfahren wird die Antwort des Untergrunds auf eine mechanische Einwirkung gemessen und über Korrelationen auf den Verdichtungsgrad geschlossen. Dies ist bei Böden zutreffend, deren Eigenschaften sich bei Aufsättigung nur unwesentlich ändern (nichtbindige Böden, flache Proctorkurve).

2 Erdbau und Rekultivierung

2.1 Anforderungen an die nutzbare Feldkapazität

Der Zusammenhang zwischen den Bodengruppen und den erreichbaren Eigenschaften sowie der Qualitätsüberwachung in situ ist im Erdbau zum Stand der Technik geworden. Für den Erdbau im Bereich der Rekultivierungszone lassen sich diese Grundsätze sinngemäß übertragen. Hier ist die nutzbare Feldkapazität ein wichtiger Parameter. Dabei wird auf Erfahrungen aus der Bodenkunde zurückgegriffen.

Die bodenkundliche Kartieranleitung [1] gibt Erfahrungswerte für landwirtschaftlich genutzte Böden an. Für die Planung von Rekultivierungsschichten sind diese Erfahrungen in den Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard [5] übernommen worden. Die Abbildung 6 zeigt die Bewertung der Eignung von Böden als Rekultivierungsschicht. Ziel ist die Gewährleistung einer nutzbaren Feldkapazität von 140 mm bezogen auf die Schichtdicke und eine Luftkapazität von 8 Vol.-%. Als Luftkapazität wird der Luftgehalt des Bodens bei Feldkapazität bezeichnet. Die Luftkapazität wird in Volumen-% angegeben.

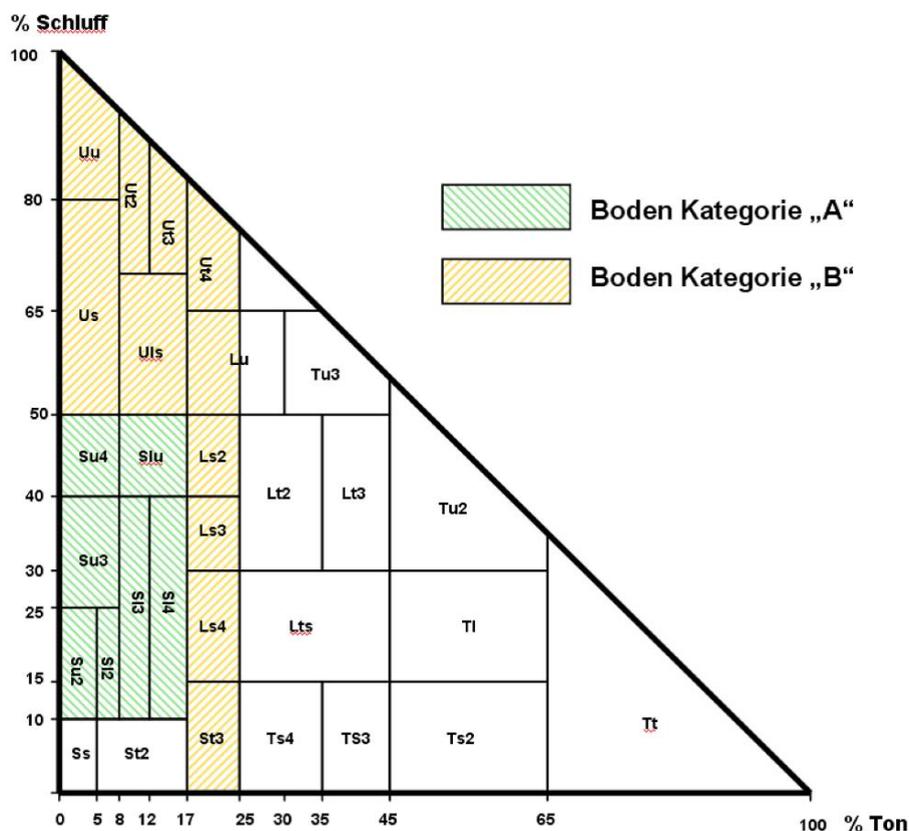


Abbildung 6: Orientierung für die Auswahl geeigneter Rekultivierungsmaterialien [5].

2.2 Nutzbare Feldkapazität nFK

Die nutzbare Feldkapazität nFK beschreibt das für die Pflanzen verfügbare Wasser. Sie wird aus der Differenz von Feldkapazität FK und permanentem Welkepunkt PWP berechnet. Als Feldkapazität wird der volumetrische Wassergehalt bezeichnet, der sich im Boden nach freiem Abfließen des Sickerwassers einstellt. Dagegen wird der volumetrische Wassergehalt, bei dem die Pflanzen kein Wasser mehr ansaugen können, als permanenter Welkepunkt bezeichnet.

Das Entwässerungsverhalten von Böden lässt sich als Funktion der Kapillar- bzw. Saugspannung darstellen. Eine typische Kapillarspannungs-Sättigungs-Kurve zeigt Abbildung 7. Ausgehend vom Zustand vollständiger Sättigung und einem hohen Wassergehalt, wird der Boden durch Erhöhung der Saugspannung allmählich entwässert. Der volumetrische Wassergehalt bei einer Kapillarspannung von 6,3 kPa ist die Feldkapazität und bei 1585 kPa der permanente Welkepunkt.

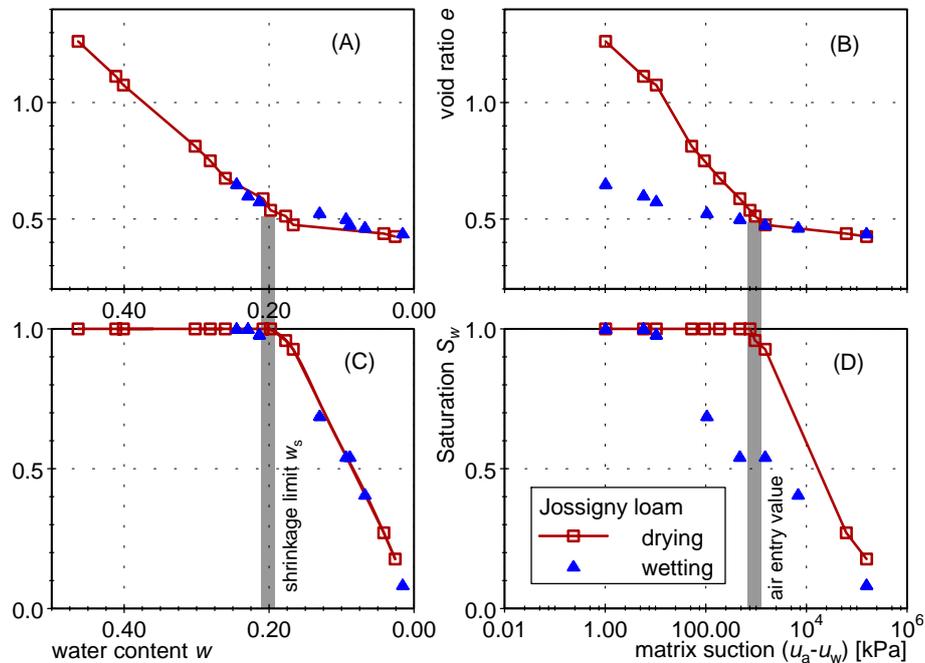


Abbildung 7: Entwässerungsverhalten eines leicht plastischen Tons.

Die Entwässerung des Bodens ist bis zum Wassergehalt an der Schrinkpfrenze mit einer Abnahme des Volumens verbunden. In der Abbildung 7 ist diese Grenze eingezeichnet. Messtechnisch lässt sich die Schrinkung nur mit sehr aufwendigen Verfahren erfassen. Bei Routinemessungen wird i. Allg. das Anfangsvolumen zugrunde gelegt.

2.3 Versuchstechnische Einflüsse

Während die Bewertung nach der Kartieranleitung [1] auf Erfahrungen für gewachsene Böden beruht, ist für den Erdbau die Beurteilung von künstlichen Schüttungen erforderlich. Günstige Einflüsse, z. B. durch Mikroorganismen oder organische Anteile, sind noch nicht wirksam. Die Kartieranleitung kann nur Orientierungswerte liefern. Es sind Materialprüfungen zur Bestimmung der maßgebenden Parameter erforderlich.

Zur Ermittlung werden z. B. Druckplattengeräte eingesetzt. Dabei wird eine Bodenprobe mit einer vorgegebenen Dichte in einen Ring eingebaut, auf eine Keramik mit bekanntem Lufteintrittspunkt aufgelegt und in einem geschlossenen Drucktopf stufenweise über geregelte Druckluft entwässert. Es ist i. Allg. nicht möglich, die Böden in einem nahezu ungestörten Zustand einzubauen. Oft müssen die groben Bestandteile entfernt werden. Weitere Einflüsse ergeben sich aus dem Strömungswiderstand der Keramikplatten, Störungen im Kontakt der Probe zur Keramik sowie der durch den Lufteintrittspunkt begrenzten Saugspannung.

Nach dem Einbau soll die Probe zunächst gesättigt werden. Infolge der Wasseraufnahme kommt es bei einigen Materialien zu Quellerscheinungen (siehe Abbildung 9 links). Der Wasserentzug bei der Bestimmung des permanenten Welkepunkts ist dagegen mit Schrinkpf-



Abbildung 8: Proben im Druckplattengerät zur Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität.

vorgängen verbunden (siehe Abbildung 7). Beide Vorgänge beeinflussen das Ergebnis und können messtechnisch nicht umfassend berücksichtigt werden.



Abbildung 9: Quellen (links) und Schrumpfen (rechts) bei der nFK-Bestimmung.

Nach DIN ISO 11274 [8] beträgt die Befeuchtungsdauer bei Sand 1 bis 5 Tage und bei Torf sogar bis 20 Tage. Andere Bodenarten liegen dazwischen. Erfahrungsgemäß ist mit Entwässerungszeiten in der Größenordnung der Dauer der Befeuchtung zu rechnen. Für die Baupraxis sind diese Prüfzeiten nicht praktikabel und führen zu Baubehinderungen.

Bei der Durchführung der Versuche an Bodenproben mit einem Kornanteil >2 mm ist nach DIN 11274 bei Vakuum- oder Saugverfahren eine Umrechnung der Ergebnisse auf Grundlage des Feinbodenanteils erforderlich. Am Beispiel eines Bodens, der 0,05 Volumenanteile an nichtporösen Steinen am Gesamtvolumen des Bodenkerns enthält, ist die Umrechnung wie folgt:

$$\theta_f = \frac{\theta_t}{(1 - 0,05)} \quad (1)$$

$n_{wf} = \theta_f$ - volumetrischer Wassergehalt des Feinbodens

$n_{w0} = \theta_t$ - volumetrischer Wassergehalt des Gesamtbodens

Die Laborversuche erfolgen am Feinboden nach dem Entfernen der Kornanteile >2 mm. Problematisch hat sich die Umrechnung der Dichte für das abgesiebte Material erwiesen. Hier ist eine Korrektur der Zieldichte erforderlich.

2.4 Verbesserte Vorgaben zur nFK Bestimmung

Für die Abhängigkeit zwischen Wassergehalt und Saugspannung ist die Beschaffenheit des Porenraums von großem Einfluss. Ein integrales Maß dafür ist die Trockendichte ρ_d . In der Praxis wird die Einbautrockendichte wie im Feld angestrebt. Wenn größere Körner wegen der begrenzten Abmessungen der Ringe aus der Gesamtprobe entnommen werden müssen, ist eine Korrektur der Einbaudichte erforderlich. Als Zielrockendichte des Feinen $\rho_{d,f}$ muss dann eine entsprechend korrigierte Trockendichte eingebaut werden. Unter der Annahme, dass die Kapillarität nicht durch das Grobkorn beeinflusst wird, erhält man folgende Gleichung:

$$\rho_{d,f} = \frac{\rho_S(m_{d0} - m_{dc})}{\rho_S m_{d0} - \rho_{d0} m_{dc}} \rho_{d0} = \frac{\rho_S(1 - a_c)}{\rho_S - \rho_{d0} a_c} \rho_{d0} \quad (2)$$

ρ_{d0}	Zieltrockendichte in situ	ρ_S	Korndichte des Grobkorns
m_{d0}	Trockenmasse Gesamtprobe	m_{dc}	Trockenmasse des Grobkorns
a_c	Grobkornanteil als Dezimalbruch aus der Kornverteilung ermittelt		

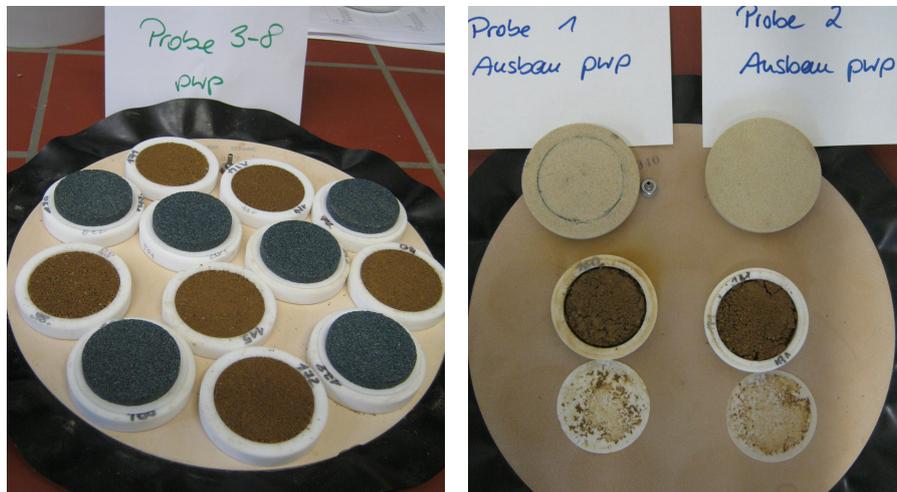


Abbildung 10: Probeneinbau auf der Keramik zur Bestimmung des PWP.

Voraussetzung für die Entwässerung im Druckplattengerät ist der Kontakt zwischen der Keramikplatte und der Probe. Wenn dieser z. B. infolge der Volumenabnahme der Probe verloren geht, wird das Ergebnis verfälscht. Die Sättigung von Proben, die ohnehin bis zum permanenten Welkepunkt entwässert werden, ist wenig sinnvoll. Quellhebungen bei der Aufsättigung sind grundsätzlich zu vermeiden.

Im Geotechnik Labor Dresden werden seit einiger Zeit Vergleichsmessungen zur Optimierung des Versuchsablaufs bei der Bestimmung der nFK durchgeführt. Dies umfasst Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Bestimmung nach der bisherigen Vorgehensweise und modifizierten Abläufen sowie Vergleich mit den Ergebnissen der Kartieranleitung. Folgende Anpassungen der Versuchsdurchführung werden vorgeschlagen:

1. Als Bezugsgröße wird die Trockendichte in situ benutzt. Die Herstellung der Proben erfolgt gestört, damit der Kontakt zwischen Keramikplatte und Probe sicher gestellt ist.
2. Überkorn ist vor dem Einbau der Proben zu entfernen. Die Zielrockendichte für den Einbau wird abhängig von der Kornverteilung nach Gleichung 2 berechnet. Der Einbauwassergehalt ist so zu wählen, dass die Probe mit wenig Aufwand hergestellt werden kann (i. d. R. auf der nassen Seite der Proctorkurve).

3. Die Proben sind vor der Sättigung von oben mit einer grobporigen Filterplatte und Filterpapier abzudecken. Für die Bestimmung der Feldkapazität sind die Proben zu sättigen. Für die Ermittlung des permanenten Welkepunkts sollte die Sättigung entfallen.
4. Versuche, bei denen die Proben während des Versuchs ihr Volumen verändert haben, müssen gesondert bewertet werden. Für die Sammlung von Daten sollten nur die Messungen berücksichtigt werden, bei denen keine Schrumpf- oder Quellerscheinungen festgestellt worden sind.

3 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

Der konstruktive Erdbau ist historisch geprägt durch bautechnische Anforderungen an die Scherfestigkeit, Zusammendrückbarkeit und Durchlässigkeit. Ziel ist die Herstellung von Bauwerken, die bestimmte Mindestanforderungen dauerhaft erfüllen. Diese Vorgaben lassen sich durch hohen Verdichtungsgrade und geringe Luftporenanteile erfüllen. Historisch hat sich die Einteilung der Böden und Gruppen und Klassen herausgebildet in Verbindung mit bestimmten Erwartungswerten der bodenmechanischen Kenngrößen. Lockergesteine werden als Baumaterial betrachtet. Wie bei allen Baumaterialien sollen die Eigenschaften durch Kennziffern beschrieben werden. Diese müssen im Zuge von Materialprüfungen mit standardisierten Messverfahren bestimmt werden können.

Im Bereich der Bodenkunde werden Lockergesteine nach ihren agrartechnischen Eigenschaften bewertet. Für diese bodenkundliche Beurteilung stehen ebenfalls Messverfahren und Bewertungsalgorithmen zur Verfügung. Ziel ist es, die Bedingungen für das Pflanzenwachstum zu optimieren.

Die Herstellung von Rekultivierungsschichten bei Deponien, Dämmen und Deichen erfordert die Verknüpfung von Grundlagen der Bodenkunde und der Bodenmechanik. Wegen der Nutzung von Lockergesteinen als Massenbaustoff sollten die neuen Regeln zur Bildung von Homogenbereichen auch auf Rekultivierungsböden angewandt werden. Dafür muss ein Homogenbereich zusätzlich durch die Feldkapazität und den permanenten Welkepunkt beschrieben werden. Für die praktische Umsetzung im Erd- und Dammbau sind standardisierte Prüfverfahren erforderlich. Im vorliegenden Beitrag werden dafür Vorschläge unterbreitet.

Erst durch Langzeitbeobachtungen im Zusammenhang mit Labor- und Feldmessungen sind gesicherte Aussagen über die Entwicklung der nFK vom Einbau des mineralischen Lockergesteins bis zur Ausbildung einer natürlichen Bodenstruktur möglich. Die derzeitige Praxis der Übertragung von Kennwerten landwirtschaftlich genutzter Böden als Vorgabe für die Einbaubedingungen der Rekultivierungsschichten ist nicht ausreichend wissenschaftlich abgesichert.

Literaturverzeichnis

- [1] Ad-Hoc-AG Boden. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, In Kommission: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermüller) Stuttgart, 2005.
- [2] K.-M. Borchert und A. Große. Vereinheitlichung der Boden- und Felsklassen in den Normen der VOB, BauPortal.
<http://www.bauportal-digital.de/ce/bauportal-ausgabe-11-2011/ausgabe.html>, 2011.
- [3] J. Engel und C. Lauer. Einführung in die Boden- und Felsmechanik, Fachbuchverlag Leipzig, 2010.
- [4] R Floss. ZTVE-StB Kommentar und Leitlinien mit Kompendium Erd- und Felsbau, 4. Auflage, Kirschbaum Verlag Bonn, 2009.
- [5] LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ (2011). Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1, Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen.
<http://www.laga-online.de>.
- [6] R. R. Proctor. Fundamental Principles of Soil Compaction, Engineering News-Record, Vol. 111, S. 245-248, 1933.
- [7] J. Rudert und H Fritzsche. Wechselbeziehungen zwischen Verdichtungsintensität und erzielbarer Eigenschaftsverbesserung für bindige Erdstoffe. Bauplanung-Bautechnik. 41(10). S. 452-455., 1987.
- [8] G. Wessolek et al. Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte, 2008.
- [9] DIN ISO 11274. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens – Laborverfahren. Beuth Verlag, 2012-04.

Zajištění, následné péče a nové využití skládky v Hamburku – Georgswerder – 30 let zkušeností

Sicherung, Nachsorge und Nachnutzung der Deponie Hamburg-Georgswerder - 30 Jahre Erfahrungen

Volker Sokollek¹

Abstrakt

Práce na přípravě zajištění 45 ha velké a 40 m vysoké skládky domovního a zvláštního odpadu Georgswerder byly zahájeny v roce 1984 a realizovány do roku 1995. Od té doby se zajištěná skládka nachází ve fázi následné péče. Do fáze následné péče patří komplexní provozní opatření a údržba, jako je jímání a úprava průsakové vody, systematické odvádění plynů a opatření v oblasti hydrauliky podzemních vod a péče o zeleň, rostoucí na izolaci povrchu skládky. K tomu přistupuje i komplexní program monitoringu pro kontrolu tělesa skládky, prvků zajištění a předmětů ochrany v okolí skládky. Na základě datových řad z dlouholetých měření jsou mimo jiné sledovány změny hladiny zadržené vody v tělese skládky a produkce plynu a kontrolováno sedání skládky. Pravidelně je monitorován vodní režim a účinnost izolace povrchu včetně (rovněž ekologicky hodnotného) vegetačního pokryvu. Dále je sledován dlouhodobý vývoj obsahu škodlivých látek v podzemní vodě. Díky dlouholetým měřením a kontrolám je dnes možno posoudit dosažení například koncepčních a konkrétních cílů sanace, stanovených během přípravné fáze a formulovat prognózy ohledně systému zajištění a tělesa skládky. Nové využití skládky bylo zahájeno v roce 1992, zpočátku v malém rozsahu (větrné elektrárny). V uplynulých letech došlo k intenzifikaci následního využití, především došlo k rozvoji udržitelné výroby energií (3,4 MW větrná elektrárna, 0,9 MW plošná fotovoltaická elektrárna). V souvislosti s mezinárodní stavební výstavou IBA Hamburk v roce 2013 bylo částečně upraveno zakrytí skládky, technická zařízení byla s ohledem na zpřístupnění areálu zajištěna a skládka je od roku 2013 přístupná veřejnosti. Počet návštěvníků činil v roce 2013 cca 60.000.

Kurzfassung

Die Planungen zur Sicherung der 45 ha großen und 40 m hohen Haus- und Sondermülldeponie Georgswerder begannen im Jahr 1984 und wurden bis 1995 umgesetzt. Seitdem befindet sich die gesicherte Deponie in der Nachsorgephase. Zur Nachsorge gehören umfangreiche Betriebs- und Unterhaltungsmaßnahmen, wie Sickerwasserentnahme und -aufbereitung, systematische Entgasung und grundwasserhydraulische Maßnahmen sowie die Pflege der begrünten Oberflächenabdichtung. Hinzu kommt ein umfassendes Überwachungsprogramm zur Kontrolle des Deponiekörpers, des Sicherungsbauwerkes und der Schutzgüter im Umfeld. Auf der Basis langjähriger Messreihen werden u.a. Veränderungen des Stauflüssigkeitsspiegels im Deponiekörper und der Gasproduktion verfolgt und das Setzungsverhalten der Deponie kontrolliert. Der Wasserhaushalt und die Wirksamkeit der Oberflächenabdichtung mit ihrer

¹Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (bis November 2013); jetzt: Krabbenkamp 32, D-21465 Reinbek; volkersokollek@gmail.com

(auch ökologisch wertvollen) Vegetations-decke werden kontinuierlich ermittelt. Die Langzeit-Entwicklung der Schadstofffahne im Grundwasser wird überwacht. Aufgrund der langjährigen Messungen und Kontrollen ist es heute möglich, die Erreichung bzw. Erreichbarkeit der in der Planungsphase aufgestellten konzeptionellen und konkreten Sanierungsziele zu beurteilen und Zukunftsprognosen hinsichtlich des Sicherungssystems und des Deponiekörpers abzugeben. Eine Nachnutzung der Deponie findet seit 1992 in anfangs geringerem Umfang statt (Windkraftanlagen). In den letzten Jahren wurde die Nachnutzung intensiviert, insbesondere wurde die nachhaltige Energiegewinnung erheblich ausgebaut (3,4 MW-Windkraftanlage, 0,7 MW-Freiflächen-Solaranlage). Im Zusammenhang mit der Internationalen Bauausstellung IBA Hamburg im Jahr 2013 wurde die Abdeckung partiell umgestaltet, technische Anlagen wurden besuchergerecht gesichert, und die Deponiekuppe ist seit 2013 für die Öffentlichkeit freigegeben. Die Besucherzahl betrug im Jahr 2013 ca. 60.000.

1 Einführung

Mit ca. 7 Millionen Kubikmetern konsolidiertem Ablagerungsvolumen auf einer Fläche von 45 Hektar bei einer Höhe von 40 m stellt die Deponie Georgswerder eine der größten alten Deponien Deutschlands dar. Die 1979 geschlossene Deponie enthält etwa 200.000 Tonnen hauptsächlich chlororganisch belasteter Sonderabfälle, die in den Jahren 1967 bis 1974 größtenteils in flüssiger Form in zehn dafür angelegten Becken abgelagert wurden und später mit Kommunal Müll überschüttet wurden. Nach der Entdeckung des Dioxins im Sickeröl (1983) sowie dem Auftreten von Gasschäden an der Vegetation der damals aufgebrachten Abdeckung wurde das erhebliche Gefährdungspotenzial dieser großen Hausmüll- und Sonderabfalldeponie für Mensch und Umwelt offensichtlich. 1984 wurde eine der größten Deponiesanierungen in der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland gestartet. In dem seitdem vergangenen dreißigjährigen Zeitraum wurden Erfahrungen hinsichtlich des Sicherungserfolges, der Nachsorge, Überwachung und Nachnutzung der Deponie gewonnen. Auf eine ausführliche Beschreibung der Deponie wird hier verzichtet; siehe hierzu [1, 2, 3].

2 Sicherung der Deponie

Mit der Sicherung wurden die konzeptionellen Sanierungsziele verfolgt, Menschen vor Kontakt mit Schadstoffen zu bewahren, eine weitere Ausbreitung von Schadstoffen in die Umwelt zu verhindern und eine Minderung oder, wenn möglich, Aufhebung des Schadstoffpotenzials der Deponie zu erreichen. Konkrete Sanierungsziele waren nach [4]:

- Minimierung der Schadstoffmobilisierung durch „Trockenlegung“ und „Trockenhaltung“ der Deponie,
- Verhinderung von Sickerwasseraustritten in Oberflächengewässer,
- Fassung und Abführung des Deponiegases,
- Fassung und Sanierung der Grundwasserschadstofffahne.

In den Jahren 1984/85 wurde ein technisch umsetzbares, finanzierbares und dabei zukunftsweisendes Sicherungskonzept entwickelt, das folgende Komponenten umfasst:

- Vollständige Oberflächenabdichtung (Kombinationsdichtung aus PEHD-Kunststoffdichtungsbahnen über 60 cm verdichtetem Geschiebemergel, darüber 25 - 30 cm Feinkies-Flächendränage und 75 - 200 cm Rekultivierungsboden aus überwiegend lehmigem Sand mit differenzierter Begrünung) als Kontaktsperre und zur Verhinderung der Stauwasserneubildung im Deponiekörper.

- Deponiegasförderung durch ein Entgasungssystem, bestehend aus 39 Gasbrunnen, einem Leitungssystem mit 28 Entwässerungs- und Umlenkschächten und einer Gasverdichterstation. Das geförderte Gas wird industriell genutzt.
- Sickerflüssigkeitsfassung (Stauflüssigkeitsfassung) am Deponiefuß (2,5 km langes System mit Dränagen, Druckleitungen und 41 Pump- und Kontrollschächten) zur Verhinderung eines Flüssigkeitsaufstaus unter der Dichtung, mit mehrstufiger Aufbereitungsanlage (Ölabscheider, Flotation, Aktivkohle).
- Grundwasser-Schutzbrunnensystem (gegenwärtig zwei Förderbrunnen) südwestlich der Deponie zum Abbau der Schadstofffahne (hauptsächlich leichtflüchtige CKW und Benzol) und zur Verhinderung zukünftiger Schadstoffausbreitung über die Deponiegrenze hinaus, mit Aufbereitungsanlage.

Das Oberflächenabdichtungssystem wurde im Kuppenbereich der Deponie („Obere Abdeckung“) in den Jahren 1986 - 1988 hergestellt, die Gesamtfläche wurde schließlich bis 1995 abgedichtet. Die Entgasung ist bereits seit 1985 in Betrieb. Die Sickerflüssigkeits-Behandlungsanlage wurde 1988 in Betrieb genommen. Grundwasserhydraulische Maßnahmen laufen seit 1997. Die Untersuchungen zur Gefährdungsermittlung und die Sanierungsplanung wurden durch 12 mit Bundesmitteln geförderte Forschungs- und Entwicklungsprojekte (FuE-Projekte) begleitet und unterstützt. Die Baukosten aller Sanierungsmaßnahmen betragen ca. 90 Mio. Euro. Für Planung, Erkundung und Pilotversuche wurden ca. 11 Mio. Euro ausgegeben. Die Durchführung der FuE-Projekte kostete rd. 13 Mio. Euro, woran sich der Bund mit 5,3 Mio. Euro beteiligte [1].

3 Nachsorge und Erfolgskontrolle

Seit Fertigstellung der Sicherungsbauwerke und –anlagen auf der Deponie werden intensive Nachsorgemaßnahmen durchgeführt. Die Nachsorgephase begann im Hinblick auf die Obere Abdeckung bereits 1988 und bezogen auf die gesamte gesicherte Deponie im Jahr 1995.

Zu den grundsätzlichen Aufgaben während der Nachsorgephase zählen nach [5]:

- Langzeitbetrieb und -unterhaltung,
- Langzeiterhaltung,
- Funktionskontrolle von Bauwerken und Anlagen,
- Überwachung der Wirkungspfade.

Bezogen auf die Deponie Georgswerder umfasst der Langzeitbetrieb die aufwändige Sickerflüssigkeitsfassung und -aufbereitung, die Entgasung sowie die Grundwasserentnahme und aufbereitung. Im Rahmen der Unterhaltung ist u.a. die Vegetationsdecke regelmäßig zu pflegen. Größere Erhaltungsmaßnahmen waren bisher nur gelegentlich erforderlich, z.B. am Entgasungssystem (1999). Funktionskontrollen und Überwachung der Wirkungspfade werden im Rahmen der Langzeit-Eigenkontrolle (Langzeit-Überwachung) durchgeführt.

3.1 Überwachung der gesicherten Deponie in der Nachsorge

Übersicht über das Programm

Das in Tab. 1 dargestellte Eigenkontrollprogramm (Überwachungsprogramm) als wesentlicher Bestandteil des Nachsorgeprogramms wurde Anfang der 1990er Jahre in der Umweltbehörde

Hamburg strukturiert und abgestimmt. Als Rahmenbedingungen berücksichtigt es u.a. die Auflagen der zuständigen Genehmigungsbehörden, Anforderungen des Betriebes und der Unterhaltung, vorhandene Messanlagen aus FuE-Projekten sowie verfügbare Finanzmittel. Besonderer Wert wird darauf gelegt, dass neben den Sicherungsbauwerken und den Schutzgütern auch der Kontaminationskörper selbst überwacht wird. Die Feinuntergliederung in bis zu 17 Unterprogramme entstand mit der Zielsetzung, wohl-definierte und in der Praxis umsetzbare „Arbeitspakete“ aufzustellen; siehe auch [6, 7, 8].

Tabelle 1: Eigenkontrollprogramm (Überwachungsprogramm) der gesicherten Deponie Georgswerder in der Nachsorge mit Unterprogrammen

A Deponiekörper	B Abdeckung	C Schutzgüter
A1 Deponiegas	B1 Vegetation/Erosion	C1 Grundwasserhydraulik
A2 Stauflüssigkeitshaushalt: A21 Stauflüssigkeitsspiegel A22 Flüssigkeitsförderung A23 Absickerung/Bilanz	B2 Wasserhaushalt: B21 Niederschlag B22 Abfluss B23 Dichtungsdurchsickerung B24 Verdunstung/Bilanz	C2 Grundwasserbeschaffenheit
A3 Stauflüssigkeitsbeschaffenheit	B3 Abflussbeschaffenheit	C3 Oberflächengewässerbeschaffenheit
A4 Setzungen	B4 Dichtsystem-Langzeitbeständigkeit	
	B5 Dichtung Becken 5 / 6	

3.2 Mess- und Kontrollverfahren

Im Folgenden kann nur auf ausgewählte Unterprogramme der Überwachung ausführlicher eingegangen werden.

A1 Deponiegas: Das Deponiegas, einschließlich Gasentstehung und –ausbreitung sowie Langzeitentwicklung, wird im Rahmen des Betriebes der Entgasungsanlage überwacht.

A2 Stauflüssigkeitshaushalt: Mit diesem Programm sollen insbesondere Erkenntnisse über langfristige Veränderungen des Gefahrenpotenzials der Deponie gewonnen werden (Stauflüssigkeits-Spiegelabsenkung, Ölverlagerung) sowie vollständige Flüssigkeitsbilanzen des Deponiekörpers und deren zeitliche Trends ermittelt werden. Das ab 1984 installierte und mehrfach ergänzte Messstellennetz weist eine Verdichtung im Südostteil der Deponie (Bereich der Flüssigabfallbecken) auf. Es umfasst gegenwärtig 49 Messstellen mit leichter oder (vereinzelt) schwerer Ölphase und 33 ölfreie „Wasserpegel“. Im Jahr 2012 wurden 18 Messstellen neu gebaut, die überwiegend den gesamten Deponiekörper bis zur natürlichen Basischicht (meist Klei oder Torf, lokal auch verfüllte Bombentrichter aus dem 2. Weltkrieg) durchteufen. Die Stauflüssigkeitsstände werden seit 1988 viertel- bis halbjährlich gemessen, die Ölschichtdicken einmal pro Jahr. Bei den Messungen insbesondere an den „Ölpegeln“ sind wegen der hoch-toxischen Schadstoffe (u.a. Dioxin) aufwendige Arbeitsschutzmaßnahmen einzuhalten.

A3 Stauflüssigkeitsbeschaffenheit: Die Stauflüssigkeitsbeschaffenheit wird ungefähr alle 10 Jahre systematisch untersucht. Die Stauwassertemperaturen im Deponiekörper werden allerdings jährlich gemessen.

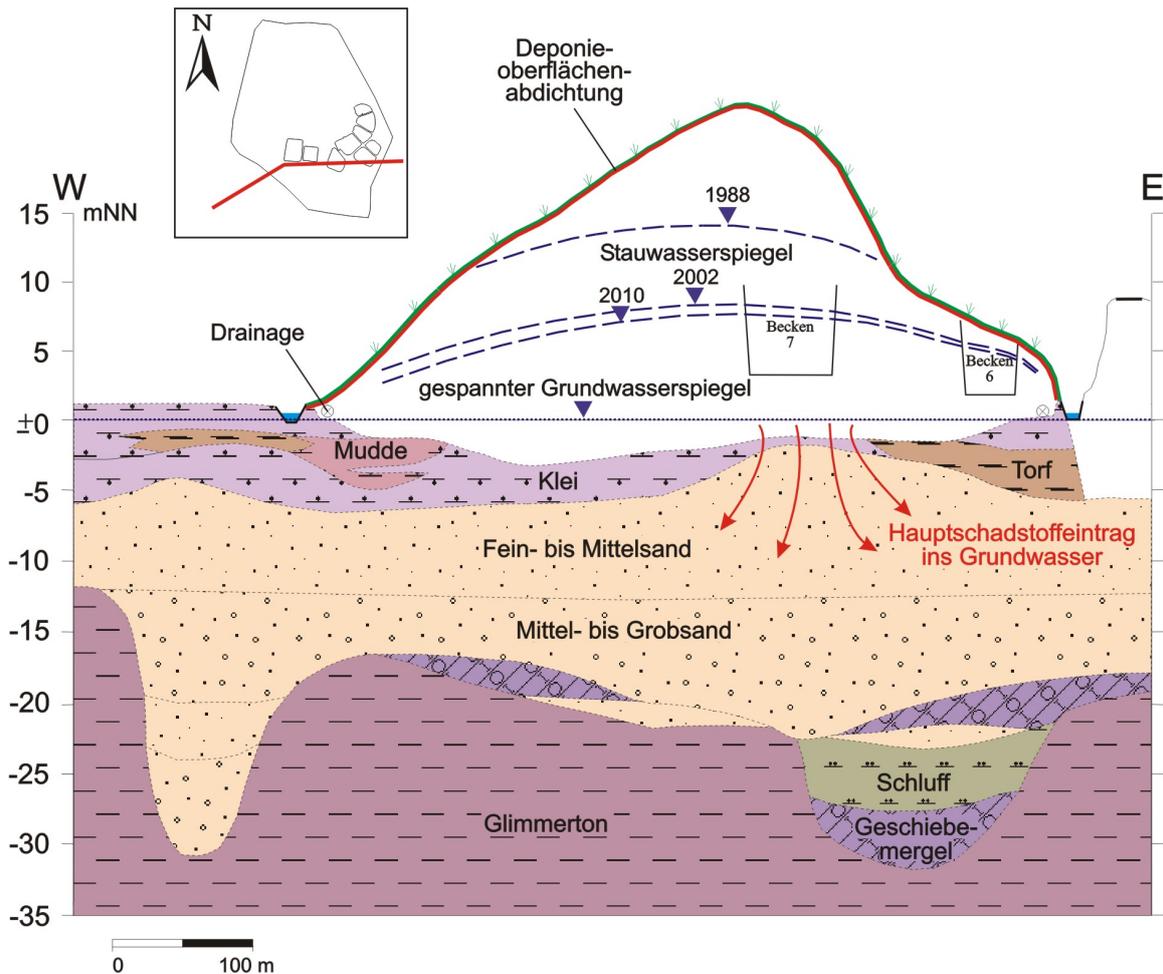


Abbildung 1: Schnitt durch Deponie Georgswerder und Untergrund mit Staufflüssigkeitsspiegel 1988, 2002 und 2010; nach [9].

A4 Setzungen: Zum einen ist das langfristige Setzungs- und Verformungsverhalten des Deponiekörpers zu überwachen, zum anderen die dauerhafte Funktionsfähigkeit setzungsgefährdeter Sicherungs- und Betriebseinrichtungen sowie Gebäude und Messeinrichtungen (z.B. Staufflüssigkeitsmessstellen) zu kontrollieren. Die im Rahmen der Nachnutzung installierten Einbauten (WKA-Fundamente, PV-Anlage, „Horizontweg“) sind ebenfalls umfassend auf Setzungen und Lageveränderungen zu kontrollieren. An inzwischen ca. 800 Messpunkten werden in einem gestuften Programm teils jährliche, teils dreijährliche Höhenmessungen durchgeführt. Für die Brückenabschnitte des 2013 fertiggestellten Horizontweges sind halbjährliche Messungen vorgesehen. Lagemessungen finden außer am Horizontweg in größeren Zeitabständen vor allem am Rande der Oberen Abdeckung und im Bereich der Flüssigabfallbecken statt. Bisher zweimal, nämlich 1996 und 2010/2011, wurde die Topographie der gesamten Abdeckung durch terrestrische Vermessung aufgenommen, so dass das Setzungsverhalten der Gesamtdeponie räumlich differenziert ermittelt werden kann.

B1 Vegetation: Die Vegetationsdecke ist darauf zu kontrollieren, ob sie als Bestandteil des Abdecksystems ihre Hauptfunktionen, nämlich Stabilisierung, Erosionsverhinderung und Wasserhaushaltsregulierung, erfüllt. Zugleich ist zu überprüfen, ob die Vegetation sich so entwickelt, wie es aufgrund des bestehenden Landschaftspflegerischen Begleitplans von 1990 und späterer Genehmigungsaufgaben angestrebt wird. Schließlich sind aufgrund der Kontrolleergebnisse Vorgaben für eine optimierte Pflege der Pflanzendecke aufzustellen. Auf den ca. 27

ha umfassenden Grünlandflächen werden seit Fertigstellung der Abdeckung alljährlich Übersichtskartierungen durchgeführt. Ausgewählte Sukzessionsflächen (seit 1997) werden jährlich pflanzensoziologisch aufgenommen. Die Gehölzflächen werden alle drei Jahre kontrolliert. Darüber hinaus werden Rote-Liste-Arten aufgenommen und die Ausbreitung sog. invasiver Neophyten verfolgt und Bekämpfungsmaßnahmen in ihrer Wirksamkeit bewertet. Im Zusammenhang mit Nachnutzung und Umgestaltung der letzten Jahre werden die entsprechenden Bereiche hinsichtlich Vegetationsveränderungen (z.B. Freiflächen-PV-Anlage) und Neubegrü- nung genauer beobachtet.

B2 Wasserhaushalt der Abdeckung: Mit den relativ umfangreichen Messungen und Ermitt- lungen zum Wasserhaushalt der Abdeckung werden mehrere Ziele verfolgt. Die Quantifizierung der Dichtungsdurchsickerung und die Beobachtung deren zeitlicher Trends ist von besonderem Interesse. Zudem ist der Einfluss verschiedener Vegetationsdecken auf den Wasserhaushalt zu ermitteln. Bei Hoch-wasserabflüssen sind die Einleitmengen von der Abdeckung in einen Vorfluter gemäß einer Genehmigungsaufgabe zu begrenzen und zu überwachen. Desweiteren ist das Hochwasser-abflussverhalten im Hinblick auf die Funktion des Entwässerungs- und Rückhaltesystems auf der Deponieabdeckung selbst zu kontrollieren. Über Wasserhaushalts- ermittlungen soll schließlich ein Funktionsnachweis für das gesamte Oberflächenabdichtungs- system erfolgen. Zugleich sollen langfristige Veränderungen im Wasserhaushalt des Abdeck- systems (Alterungsprozesse) als Auslöser gegebenenfalls erforderlicher Reparaturen erkannt werden.

Als Basis für die Wasserhaushaltsermittlungen werden seit Vollendung des ersten großen Bauabschnitts der Abdeckung im Jahr 1988 („Obere Abdeckung“, 15 ha) kontinuierliche Nie- derschlagsmessungen durchgeführt, ergänzt durch Messungen mit bodengleich aufge- stellten Niederschlagssammlern an mehreren Standorten zur Ermittlung der „wahren“ Gebiets-Nieder- schlagshöhen. Die Abflüsse der Oberen Abdeckung werden ebenfalls seit 1988 kontinuierlich gemessen. Seit Fertigstellung der „Unteren Abdeckung“ (29 ha) und damit der Gesamtab- deckung im Herbst 1995 werden an zwei Einleitstellen am nord-westlichen Deponierand der Oberflächenabfluss der Gesamt-Abdeckung (incl. Flächen-dränabfluss der Ob. Abdeckung) und der Flächendränabfluss der Unteren Abdeckung kontinuierlich gemessen. Eine hohe Mess- genauigkeit bei Abfluss- und Niederschlags- messungen wird angestrebt und durch regelmäßige Vor-Ort-Kontrollen und Vergleichs- messungen (z.B. Abfluss-Gefäßmessungen) gewährleistet. Das registrierende Ombrometer und die drei Abfluss-Messanlagen (magnetisch-induktive Durch- flussmesser bzw. Venturi-gerinne) sowie die Großlysimeteranlage sind an die Zentrale Leittech- nik der Deponie-Betriebsanlagen angeschlossen. Messdaten werden alle 5 Minuten aufgenom- men.

Die 1986/87 als FuE-Projekt erstellte Großlysimeteranlage oder Testfelderanlage (vergl. [10, 11, 12]) wird bis heute im Rahmen der hydrologischen Überwachung der Oberflächen- abdichtung genutzt. Von den sechs vorhandenen Testfeldern von je 500 m² Größe werden seit 1998 nur noch die drei Felder kontinuierlich weiter gemessen, in denen die gleichen Kombi- nationsdichtungen wie auf der Oberen bzw. Unteren Abdichtung eingebaut sind (zwei „flache“ Felder mit 4% Neigung, ein „steiles“ mit 20% Neigung). Hier werden neben den Flächendränab- flüssen insbesondere auch die Abflüsse unterhalb der Kombidichtung gemessen. Zudem las- sen sich mit Hilfe der Wasserhaushaltsgleichung die jährlichen realen Verdunstungshöhen der unterschiedlich begrünten Testfelder mit guter Genauigkeit ermitteln, sofern man als Bezugs- zeitraum das sog. „Bilanzjahr“, also den Zeitraum 1. April bis 31. März des Folgejahres, ver- wendet. Die für die Obere Abdeckung ermittelten jährlichen Gebiets-Wasserbilanzen werden anhand der „genauen“

Testfelder-Bilanzen überprüft.

B3 Abflussbeschaffenheit: Wesentliches Ziel des Unterprogramms ist, den Nachweis für die Zulässigkeit der Einleitungen von der Abdeckung in den Vorfluter nordwestlich der Deponie zu erbringen. Erste Beprobungen der Abläufe der Abdeckung erfolgten 1988. Das ursprünglich umfangreiche vierteljährliche Untersuchungsprogramm wurde ab 1999 auf die halbjährliche Untersuchung von drei Messstellen mit geringem Analysenumfang (hauptsächlich Sulfat u. AOX) reduziert.

B4 Dichtsystem-Langzeitbeständigkeit: Wesentliches Ziel dieses Programms ist das rechtzeitige Erkennen von Alterung und damit einhergehender Funktionsverschlechterung des Abdecksystems, um rechtzeitig Reparaturen und Erneuerungsmaßnahmen einleiten zu können. Die wichtigste Methode zur direkten Erkennung der Alterungsprozesse ist die Durchführung von Aufgrabungen, bei denen Profile des gesamten Schichtpakets freigelegt werden. Es werden u.a. Profilaufnahmen und Laboruntersuchungen durchgeführt. Die Aufgrabungen werden in mehrjährigen Zeitabständen an jeweils ungefähr vier (wechselnden) Standorten durchgeführt. Dabei werden Standorte bevorzugt, die überdurchschnittlichem Stress ausgesetzt sind (Steillagen, Baufeldgrenzen, Gehölzstandorte). Eine weitere Methode bilden systematische bodenkundliche Kartierungen der Abdeckung, die sich jedoch hauptsächlich auf die Rekultivierungsschicht beschränken.

B5 Dichtung Becken 5/6: Die 1,2 ha umfassende kontrollierbare Sonder-Abdeckung der relativ leicht zugänglichen Flüssigabfallbecken 5 und 6, deren Auskoffnung eine Zeitlang erwogen wurde, unterliegt einem speziellen Überwachungsprogramm. Die nur hier eingebaute Doppel-KDB-Dichtung mit dazwischenliegender Kontrollschicht ermöglicht aufgrund ihrer Unterteilung in acht Sektoren eine räumlich differenzierte Ermittlung von Undichtigkeiten in der oberliegenden KDB. Letztendlich steht die Entscheidung an, ob die vorhandene, ursprünglich als „temporär“ angesehene Dichtung durch ein „endgültiges“ Oberflächenabdichtungssystem ersetzt werden muss. Acht Jahre lang wurden regelmäßig die Abläufe aus jedem einzelnen Kontrollsektor gemessen. Seit 2002 wird nur noch der Gesamtabfluss aller Sektoren registriert.

C1 Grundwasserhydraulik: Mit diesem Programm soll vor allem die langfristige Wirksamkeit der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen (gegenwärtig Förderung aus zwei Brunnen) kontrolliert werden. Auf der Basis der Wasserstandsdaten von 33 Messstellen, die mit Datenloggern ausgerüstet sind, werden die Einzugsbereiche der Förderbrunnen ermittelt. Die Messstellen befinden sich vor allem im Bereich der Schadstofffahne südlich der Deponie sowie in deren Anstrom und Umfeld. Zusätzlich erfolgen Wasserstandsmessungen in zwei Oberflächengewässern ca. 400 m südlich der Deponie, welche in hydraulischem Kontakt mit dem Grundwasser stehen.

C2 Grundwasserbeschaffenheit: Mit diesem Programm wird ebenfalls die Wirksamkeit der Grundwasser-Sanierungsmaßnahmen kontrolliert. Die Grundwasserbeschaffenheit wird im gesamten Deponiebereich und –umfeld überwacht. Probenahmen erfolgen gegenwärtig jährlich an 30 und alle drei Jahre an 12 weiteren Messstellen. Der räumliche Schwerpunkt der Beprobung liegt im südlichen Deponieteil (Abstrom der Flüssigabfallbecken) und im südlichen Umfeld (Schadstofffahne). Alle Grundwasserproben werden u.a. auf die „Leitparameter“ LCKW sowie Benzol untersucht. Ausgewählte Proben sind zusätzlich auf Chlorbenzole, Chlorphenole und HCH zu analysieren. Alle Grundwasserdaten werden in der Grundwasserdatenbank GERONIMUS der Umweltbehörde Hamburg vorgehalten.

C3 Oberflächengewässerbeschaffenheit: Die „Dove-Elbe-Wettern“ (DEW) wird von der Front der Grundwasser-Schadstofffahne erreicht. Daher wird dieses Gewässer auf deponie-typische

Schadstoffbelastungen kontrolliert. Die DEW und benachbarte Oberflächengewässer werden jährlich beprobt.

Überprüfung des Gesamtprogramms

Im Jahr 2013 wurde das gesamte Eigenkontrollprogramm behördenintern sowie durch Beteiligung eines externen Gutachters einer eingehenden Überprüfung hinsichtlich Eignung und Angemessenheit unterzogen. Ziel war eine „Optimierung“ des teilweise seit über 20 Jahren durchgeführten Programms durch Straffung sowie bei Bedarf sinnvolle Ergänzungen. Es ergab sich letztendlich, dass nur wenige Änderungen an der bisherigen Praxis erforderlich waren. Das Nachsorgeprogramm und das aktualisierte Eigenkontrollprogramm werden voraussichtlich 2014/2015 von der zuständigen Genehmigungs-Dienststelle in einem „feststellenden Verwaltungsakt“ festgeschrieben.

3.3 Ergebnisse der Überwachung

Es können nur einige wichtige Ergebnisse und Schlussfolgerungen für ausgewählte Unterprogramme vorgestellt werden

A2 Stauflüssigkeitshaushalt: Im Zeitraum 1987 - 2013 ist der Stauflüssigkeitsspiegel im Deponiezentrum von 13 - 14 m üNN auf 7 - 8 m üNN abgesunken. In den südlichen Flüssigabfallbecken werden jedoch aktuell noch Spiegelhöhen von 9 – 11 m üNN gemessen. Offenbar stellen diese Becken aus hydraulischer Sicht weitgehend „isolierte Körper“ dar. Der Verlauf der Absinkkurve für das Deponiezentrum lässt erwarten, dass der Spiegel bei gleichen Randbedingungen nicht tiefer als bis 7 - 6 m über NN bzw. ca. 8 m über Deponiesohle absinken wird. Eine „Trockenlegung“ des Deponiekörpers wird demnach nicht erfolgen. Ölphase mit Schichtmächtigkeiten von z.T. mehreren Metern ist vor allem im Beckenbereich vorhanden. Die im Berg gespeicherte, mobile Flüssigkeitsmenge beträgt gegenwärtig noch etwa 500.000 m³. Aus der randlichen Flüssigkeitsfassung werden zurzeit pro Jahr etwa 8.000 m³ entnommen. Die jährliche Absickerung zum Grundwasser liegt gemäß Bilanzierung bei etwa 5.000 m³.

Voraussichtlich werden noch über 100 Jahre lang Flüssigkeiten im Berg eingestaut sein, ebenso wird die Förderung aus der Randdrainage noch weitere 50 - 100 Jahre betrieben werden müssen. Entsprechend lange ist auch das Überwachungsprogramm fortzusetzen.

A4 Setzungen: Insgesamt hat sich das Zentrum der Deponie seit ihrer Schließung im Jahr 1979 um etwa 5 Meter gesetzt. Nach Fertigstellung der Abdeckung hat sich die Deponieoberfläche noch um 30 - 40 cm gesetzt (zurzeit noch 1 - 2 cm pro Jahr). Die Deponie ist seit 1995 außerdem um ca. 15 cm in Ost-West-Richtung „auseinandergeflossen“ (Breitenzunahme bezogen auf eine 500m-Distanz). Trotz auftretender Setzungsunterschiede sind Gebäude offenbar bisher nicht gefährdet. Das galt auch für die drei kleineren, ca. 15 Jahre lang bestehenden Windkraftanlagen. An den Fundamenten der neueren WKA mit 1,5 MW bzw. 3,4 MW Leistung (Fertigstellung 2004 bzw. 2011) traten bisher ebenfalls keine relevanten Setzungsunterschiede auf. Andererseits sind z.B. bei der 2,5 km langen Flächendrainage-Ringleitung am Deponiefuß deutliche Setzungseinflüsse festzustellen; siehe Abb. 2. Dabei vollzogen sich die stärksten Setzungen schon während der Bauphase. Trotz der Entstehung mehrerer „Lunken“-Bereiche erfüllt das Leitungssystem bisher seine Funktion.

Wegen der in den letzten Jahren neu entstandenen Bauwerke auf der Deponie musste das Messprogramm nochmals erheblich erweitert werden. Erste Daten von der Freiflächen-PV-Anlage zeigen, dass sich bisher offenbar nur unerhebliche Höhen- und Lageveränderungen an den ca. 130 PV-Tischen ergeben haben. An den Brückenstrecken des Horizontwegs sind

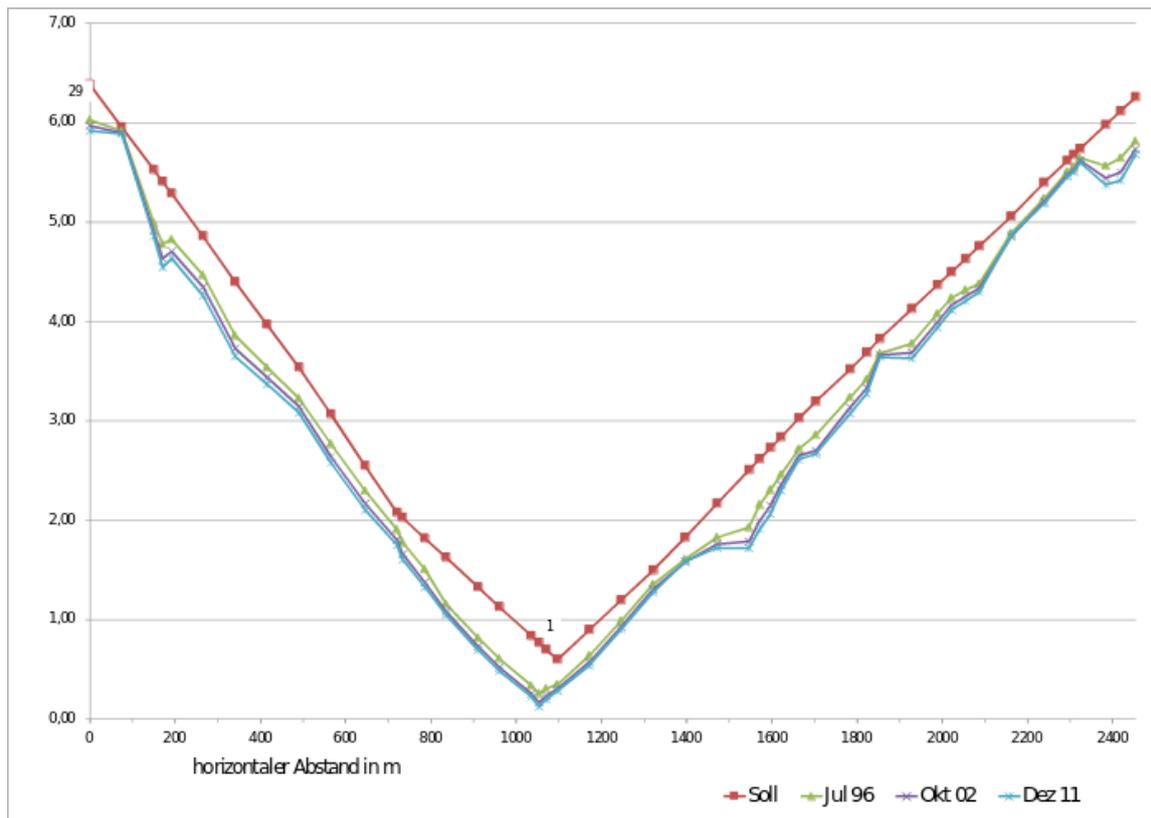


Abbildung 2: Abwicklung der Sohlhöhen der Flächendränage-Ringleitung in der unteren Ringstraße mit Soll-Höhen sowie Ist-Höhen von 1996, 2002 und 2011; nach [13].

im ersten Messintervall 2013/2014 erwartungsgemäß bereits geringe, aber räumlich unterschiedliche Höhen- und Lageveränderungen festgestellt worden. Voraussichtlich wird nach wenigen Jahren ein Nachstellen der (gegeneinander verschiebbaren) Brückenelemente erforderlich sein. Da ein vollständiges Abklingen der Setzungen der Deponie nicht absehbar ist, werden Deformationsmessungen an den Bauwerken und Leitungssystemen sowie an der Abdeckung selbst auch in Zukunft zumindest noch einige Jahrzehnte lang notwendig sein.

B1 Vegetation: Die Wiesenflächen auf der Abdeckung haben sich zu stabilen, hochdeckenden Grünland-gesellschaften entwickelt. Über 200 Pflanzenarten wurden festgestellt, darunter zahlreiche Rote-Liste-Arten. Die 1995 angepflanzten Gehölzbestände entwickeln sich gut und erreichen inzwischen Höhen von 6 - 8 m. Auch „wilde“, starkwüchsige Arten haben sich angesiedelt, z.B. Birken und Eichen. Auf den Sukzessionsflächen (seit 1997 nicht mehr gemähte frühere Wiesenflächen) ist ein großer Arten- und Struktureichtum entstanden, sie entwickeln sich zu einem „Vorwald“. Seit etwa 2004 haben sich invasive Neophyten, vor allem asiatischer Staudenknöterich (*Fallopia japonica*) und Riesenbärenklau (*Heracleum mantegazzianum*), auf der Abdeckung soweit ausgebreitet, dass Maßnahmen zur Eindämmung (mechanische Bekämpfung) ergriffen werden mussten. Eine vollständige Beseitigung dieser Arten ist nicht zu erreichen. Die Grünlandflächen werden überwiegend zweimal pro Jahr gemäht. In den Gehölzbeständen wurden erstmals im Winter 2012/2013 größere Birken und Eichen gefällt.

Die Ende 2009 auf einem relativ steilen Südhang installierte und intensiv überwachte PV-Anlage bewirkt bisher eine teilweise bedenkliche Schwächung der Vegetationsdecke unter den PV-Tischen, verursacht durch Licht- und Wassermangel. Verbreitet werden vegetationslose Stellen, leichte Erosionserscheinungen und bereichsweise Reinbestände von Brennesseln und Disteln beobachtet [14]. Gegenwärtig wird versucht, durch Einsaat von Schattenrasenarten

sowie durch eine erhöhte Mähfrequenz die Situation zu verbessern.

Die Vegetationsdecke als wesentliche Komponente des Abdecksystems, die zugleich ein artenreiches Biotop darstellt, muss während der gesamten Lebensdauer der Abdeckung überwacht und gepflegt werden. Weiter zu klären sind die Auswirkungen der „Energieberg“-Bauwerke, insbesondere der PV-Anlage, sowie des Publikumsverkehrs auf die Vegetation.

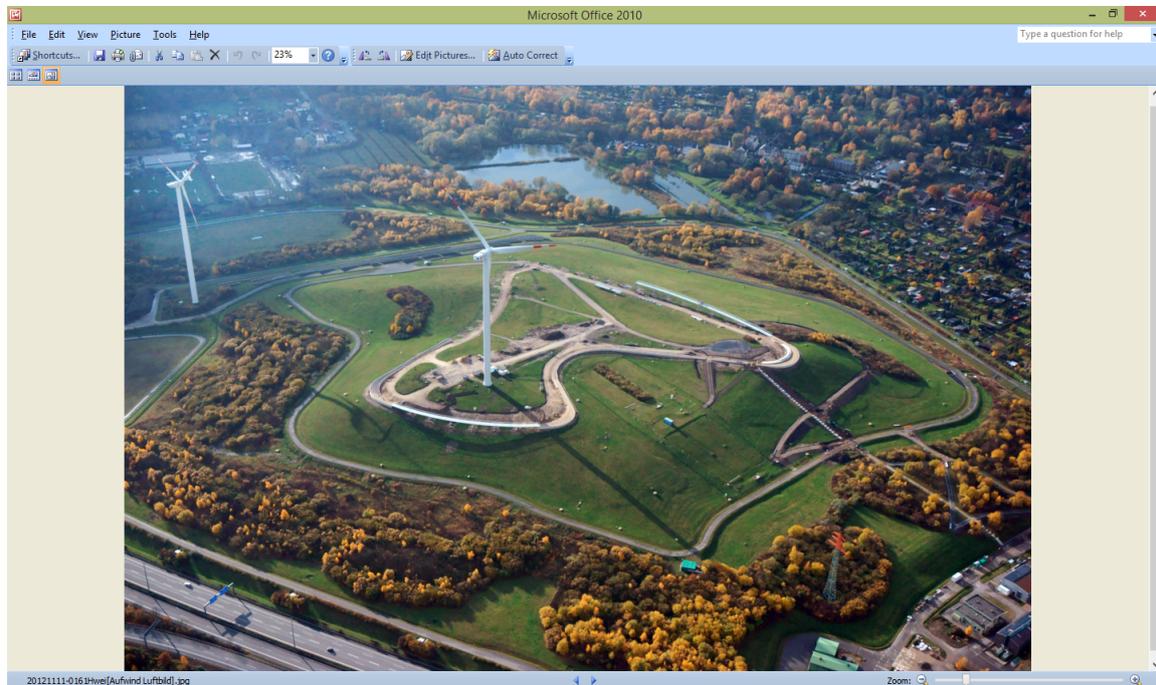


Abbildung 3: Luftbild der Deponie Georgswerder im November 2012 mit Blickrichtung Südwesten; mit herbstlich verfärbten Gehölzbeständen; Horizontweg auf der Deponiekuppe im Bau; rechts von der zentralen Windkraftanlage erkennt man die Testfelderanlage am Nordhang [15].

B2 Wasserhaushalt der Abdeckung: Die (korrigierten) Jahres-Niederschlagshöhen liegen in der über 20jährigen Beobachtungsreihe im Mittel bei 850 mm. Die Abflusshöhen der Gesamtabdeckung erreichen durchschnittlich gut 300 mm/a. Der Abfluss vollzieht sich hauptsächlich in der Flächendränage, der Anteil der Oberflächenabflüsse ist gering. Hochwasserabflüsse bestehen aus einer rasch auflaufenden Oberflächenabfluss-Welle und einer um etwa 24 Stunden verzögerten Drän-abfluss-Welle, die meist das Haupt-Abflussvolumen enthält. Die in den Vorfluter nordwestlich der Deponie eingeleiteten Oberflächenabflüsse der Gesamtabdeckung (44 ha) werden durch eine entsprechende Schiebereinstellung auf ca. 50 l/s gedrosselt, um in der Summe der zwei Einleitungen den zulässigen Wert von 90 l/s nicht zu überschreiten. Die bisherige höchste Oberflächenabflussspitze erreichte allerdings über 200 l/s (bei irrtümlich vorübergehend geöffnetem Schieber), ausgelöst durch einen Starkregen von 45 mm in 15 Minuten.

Von den Großlysimetern (Testfeldern) liegen inzwischen 26 Beobachtungsjahre vor. Die Kombinationsdichtungen zeigen nach wie vor einen hohen Wirkungsgrad. Die unterhalb der Dichtungen aufgefangenen Wassermengen liegen in der Größenordnung zwischen 0,5 mm und 5 mm pro Jahr. Es ist kein zeitlicher Trend der jährlichen Raten zu erkennen; siehe Abb. 4. Der Niederschlagseintrag teilt sich im Wesentlichen auf die Outputgrößen reale Evapotranspiration ET_a und Flächendränabfluss auf ernachlässigbar). Die ET_a von Grünland auf einer 75 cm mächtigen Rekultivierungsschicht aus lehmigem Sand erreicht im Mittel 540 mm/a. Ein ca. 15 Jahre alter Gehölzbestand (standortangepassten Sträucher) verdunstet signifikant mehr als

Grünland, die Differenz beträgt gut 100 mm/a. Der größte Spitzenabfluss in der Flächendrängung erreicht im 20% geneigten Testfeld S2 14 mm/h.

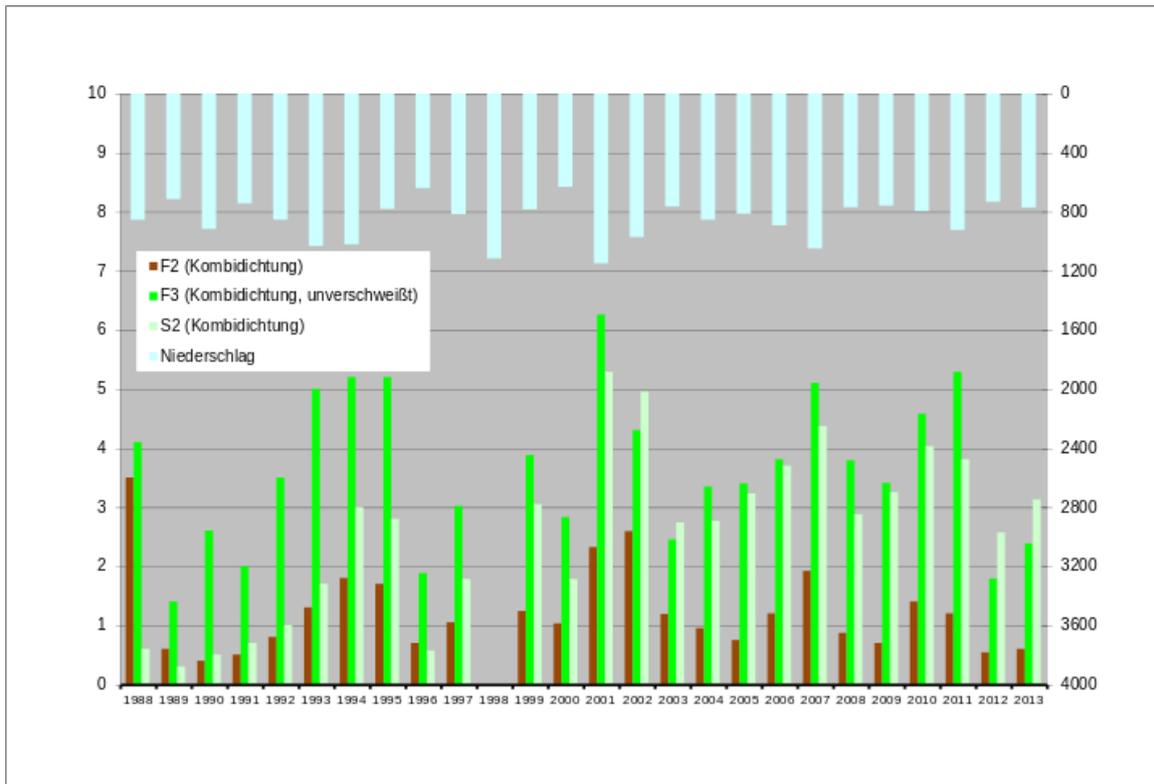


Abbildung 4: Abflüsse unterhalb der Kombinationsdichtung dreier Testfelder auf der Deponie Georgswerder im Zeitraum 1988 bis 2013 (F2, F3: 4%, S2: 20% Neigung)

Für die 15 ha große Obere Abdeckung (OA) liegen für den Zeitraum von 1989 - 2012 Wasserbilanzen vor. Der Vergleich der erhaltenen jährlichen Unterschiedshöhen U (Niederschlag minus Abfluss) mit den ETa-Höhen des Testfeldes F3 ergibt im Mittel einen geringfügigen „Bilanzüberschuss“ von 34 mm/a. Diese Differenz liegt innerhalb der „Bilanz-ungenauigkeit“ von 40 - 50 mm/a. Bei Betrachtung der zeitlichen Entwicklung über gut zwei Jahrzehnte deutet sich ein leichter relativer Anstieg der U-Werte der OA im Vergleich zu den ETa-Höhen des Testfeldes an. Diese Tendenz lässt sich vermutlich u.a. dadurch erklären, dass auf der OA der Anteil krautiger Tiefwurzler zugenommen hat und 1995 auf Teilflächen Gehölze angepflanzt wurden. Die Ergebnisse belegen, dass auf der Oberen Abdeckung ein größerer Abstrom bzw. eine erhebliche Dichtschichtdurchsickerung nicht stattfinden.

Auch in Zukunft werden hydrologische Messdaten, Bilanzierungen und Analysen von Hochwasserabflussereignissen zur Kontrolle des Abdecksystems benötigt. Die Einhaltung der Einleitbeschränkungen für den Vorfluter außerhalb der Deponie ist weiterhin sicherzustellen und nachzuweisen. Auch wegen der zu erwartenden Veränderung der hydrologischen Randbedingungen (Anstieg der Wasserstände in der Elbmarsch, verändertes Vorflutsystems) werden Abflussmessungen benötigt. Durch Fortsetzung der Testfelder-Messungen können Veränderungen der Dichtigkeit der Abdeckung sowie Vegetationseinflüsse auf die Wasserbilanz längerfristig verfolgt werden. Die Großlysimeter sollten so lange wie möglich genutzt werden. Die Fortsetzung der 1989 begonnenen jährlichen Bilanzierung für die Obere Abdeckung auf qualitativ gleichbleibendem Niveau ist auch für den Fall von Bedeutung, dass die Testfelder eventuell nach einiger Zeit funktionsuntüchtig werden. Eine erhebliche Wirksamkeitsverschlechterung der Oberen Abdeckung würde anhand signifikanter Veränderungen der Wasserbilanzen erkennbar werden. Voraussetzung für diese Strategie sind weiterhin zuverlässig durchgeführte,

konsistente Niederschlags- und Abflussmessungen.

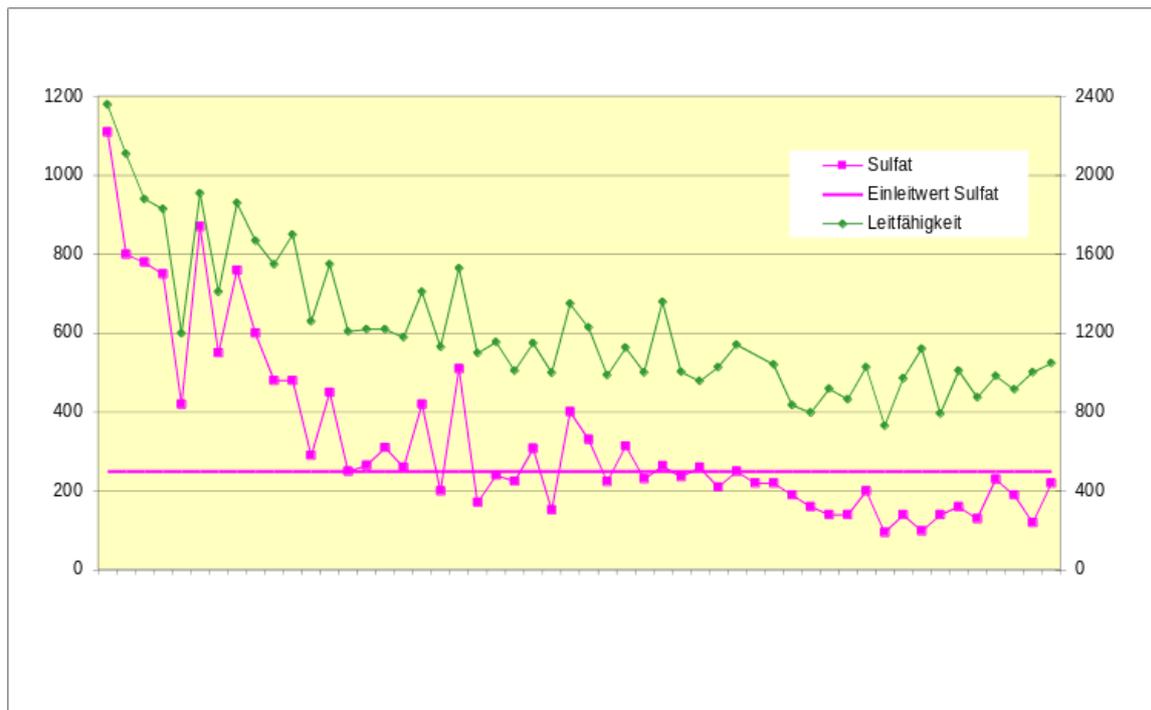


Abbildung 5: Sulfatkonzentrationen und el. Leitfähigkeit im Flächendränabfluss der Oberen Abdeckung der Deponie Georgswerder im Zeitraum 11/1988 bis 3/2014

B3 Abflussbeschaffenheit: Die Abläufe der Abdeckung sind hinsichtlich der meisten analysierten Parameter unauffällig. Nur beim Sulfat wurde ungefähr bis zum Jahr 2000 bei den Flächendränabflüssen der Überwachungswert von 250 mg/l häufig überschritten. Der Maximalwert wurde am Ablauf der gerade fertiggestellten Oberen Abdeckung im Jahr 1988 mit über 1000 mg/l gemessen; siehe Abb. 5. Hauptsächliche Ursache hierfür ist der in der Rekultivierungsschicht verbreitet eingebaute Geschiebemergel. Infolge der Oxidation des darin enthaltenen Pyrits (Eisen-sulfids) wird Sulfat gebildet und mit dem Bodensickerwasser ausgewaschen. Inzwischen hat sich dieser Prozess weitgehend abgeschwächt.

Die Untersuchung der Abläufe der Abdeckung ist voraussichtlich längerfristig in angemessenem Umfang durchzuführen, da einerseits das Vorflutersystem und dessen angrenzende Flächen als empfindlich anzusehen sind und zum anderen der Austrag von belastenden Stoffen aus der Abdeckung über längere Zeiträume nicht völlig auszuschließen ist.

B4 Dichtsystem-Langzeitbeständigkeit: Aufgrabungen belegen, dass die einfachen mineralischen Dichtungen in zwei Testfeldern acht Jahre nach dem Einbau bereits massiv geschädigt waren, während die Kombinationsdichtung im Testfeld F2 vollständig intakt war (vergl. [11]). Daraus war zu schließen, dass die PEHD-Dichtungsbahnen das entscheidende Dichtungselement bilden. Demgegenüber war man bei der Konzeption der Oberflächenabdichtung davon ausgegangen, dass der Geschiebemergel als Naturmaterial eine langfristige Dichtwirkung garantiert und die zusätzlich eingebauten PEHD-Bahnen als „Wurzel- und Nagetiersperre“ nur nachrangige Funktionen erfüllen (Stand 1984/85). Weitere Aufgrabungen der Abdeckung (1999, 2006) ergaben, dass Pflanzenwurzeln von krautigen Tiefwurzeln und von Gehölzen die Flächen-drainage durchwachsen können. Schädigungen wurden jedoch nicht festgestellt. Stellenweise wurden Risse in der mineralischen Dichtschicht gefunden, die offenbar durch Deformationsbewegungen entstanden waren. Der Geschiebemergel unter der KDB war durchweg

durchfeuchtet, nicht aggregiert und nicht durchwurzelt. Beachtenswert war noch die auf einem Osthang festgestellte Verschiebung der KDB auf der mineralischen Dichtung um ca. 1 cm, etwa 15 Jahre nach dem Einbau. Der KDB wurden Laborwerte bescheinigt, die den Einbauwerten entsprechen. In der Flächendränage finden Verockerung sowie Gips-bildung statt, eine Funktionsminderung des Systems ist dadurch jedoch nicht entstanden. In der Zusammenschau aller Aufgrabungsergebnisse erfüllt das Oberflächenabdichtungs-system bisher seine Funktion sehr gut.

Die bodenkundliche Kartierung der Rekultivierungsschicht der Oberen Abdeckung in den Jahren 2010/2011 ergab u.a. Mächtigkeiten dieser Schicht von 53 bis 300 cm, die damit oftmals erheblich von den Sollwerten (75 bzw. 115 cm) abweichen [16]. In den Unterböden wurden häufig ausgeprägte Hydromorphiemerkmale festgestellt. Es wurden mehrere Stau-nässebereiche eingegrenzt, in denen während der Wintermonate freies Wasser vorhanden ist; siehe Abb. 6. An solchen Standorten ist von einer verminderten Standsicherheit für Einbauten auszugehen. Eine flächendeckende Darstellung der Oberflächenneigungen zeigt mehrere weniger als 4% (Soll-Mindestgefälle) geneigte Bereiche, insbesondere auf dem zentralen Plateau der Deponie.

Aufgrabungen sollten weiterhin in etwa zehnjährigen Zeitabständen an wechselnden Standorten durchgeführt werden, um die Alterungsprozesse der Komponenten des Abdeck-systems direkt zu untersuchen. Zusätzlich sind gegebenenfalls umfassende bodenkundliche Kartierungen in größeren Zeitabständen durchzuführen, um Bodenbildungsprozesse und z.B. Ver-nässungszonen zu erfassen.

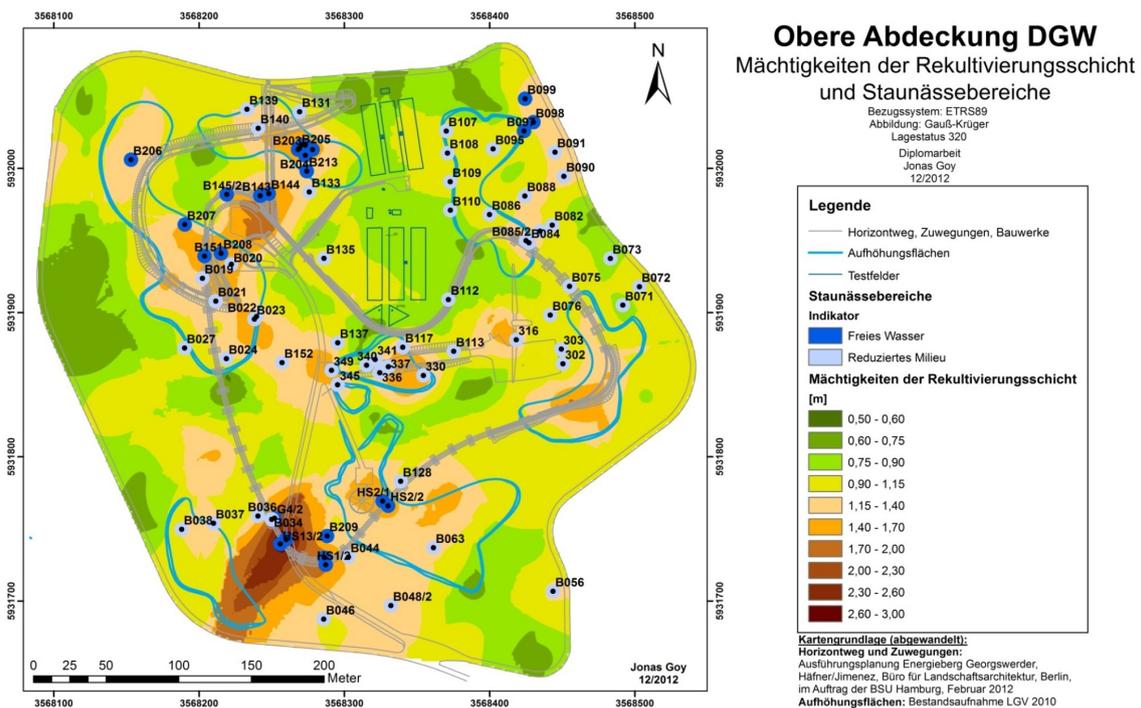


Abbildung 6: Mächtigkeiten der Rekultivierungsschicht und Stau-nässebereiche auf der „Oberen Abdeckung“ (zentrales Drittel der Gesamtfläche) der Deponie Georgswerder; aus [16]

B5 Dichtung Becken 5/6: Nach Fertigstellung der Doppel-KDB-Dichtung waren offenbar noch zahlreiche Schadstellen in der oberen KDB vorhanden. Zusätzliche Schäden entstanden beim Einbau von Förder-einrichtungen in beiden Flüssigabfallbecken. So wurden allein aus einem einzelnen Sektor im Bereich eines Förderschlitzes ca. 90.000 l bzw. 65 mm Abfluss in einem Jahr gemessen. Nach diversen Reparaturen ergaben die ab 2002 durchgeführten

summarischen Messungen nur noch geringe Jahresabflüsse von etwa 30.000 l bzw. 2,5 mm/a aus der gesamten Kontrollschicht (1,2 ha). Die Wasseranalysen zeigen nur im Ablauf eines einzelnen Sektors auffällige Werte der „Leitstoffe“ für die Beckeninhalte Benzol und Toluol, was möglicherweise ein Hinweis auf Schäden in der unteren KDB-Lage ist. Der früher lokal begrenzt im Bereich des Beckens 6 zu beobachtende artesischer Stauflüssigkeitsspiegel wurde inzwischen u.a. durch die Flüssigkeits-Förderung (1998 – 2006) weitgehend abgebaut.

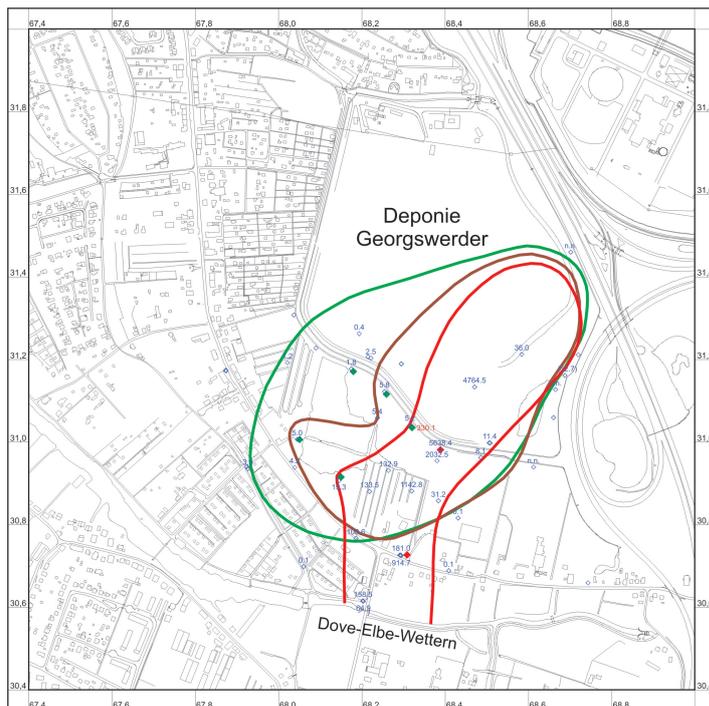
Da die Doppeldichtung offensichtlich Mängel aufweist und das System durch Setzungen und zahlreiche Durchdringungen stark beansprucht wurde und wird, ist voraussichtlich noch eine längere Überwachung unumgänglich. Vermutlich wird in weiterer Zukunft die Herstellung einer „endgültigen“ Abdeckung für diesen Bereich erforderlich sein, sofern nicht die Option „Auskoffnung von Becken 5 und 6“ umgesetzt wird.

C1, C2, C3 Grundwasserhydraulik und – beschaffenheit, Oberflächengewässer-beschaffenheit: Die Grundwasserfließrichtung im oberflächennahen Grundwasserleiter war bei Start der Sanierung 1997 nach Südwesten gerichtet. Entsprechend hatte sich eine bis 350 m über den Deponierand hinausreichende, ca. 500 m breite Schadstofffahne gebildet; siehe Abb. 7 („grüne Fahne“). Auf der Basis eines mathematischen Schadstofftransportmodells wurde ein Grundwasser-Sanierungskonzept mit fünf Förderbrunnen aufgestellt. Durch den Betrieb der Brunnen wurde die Fahne bis ca. 2002 zwar verschmälert („braune Fahne“), aber kaum verkürzt. Infolge einer inzwischen wirksam gewordenen Wasserhaltung in der Dove-Elbe-Wettern ca. 400 m südlich der Deponie (Absenkung des Wasserspiegels um 30 cm) war die Grundwasserfließrichtung zwischenzeitlich stärker nach Süden abgelenkt worden. Dadurch wurde die Fahne verschwenkt, wobei sie deutlich schmaler und länger wurde und die Dove-Elbe-Wettern erreichte („rote Fahne“). Die Wettern stellt eine hydraulische Barriere dar; südlich von ihr werden keine Schadstoffe im Grundwasser nachgewiesen. Das Sanierungskonzept war dementsprechend mit Modellhilfe anzupassen. Seit 2011 werden nur noch zwei neue Sanierungsbrunnen mit einer Fördersumme von 9 m³/h betrieben. Die hydraulische und die Beschaffenheits-Überwachung belegen, dass die Fahne wie geplant mit Ausnahme des südlichsten Abschnitts voll im Einzugsbereich der beiden Brunnen liegt.

Der Grundwasserleiter ist vor allem mit LCKW, Benzol und Chlorbenzolen belastet. Die höchsten Konzentrationen treten im Bereich der Flüssigabfallbecken unterhalb der Deponie und am südwestlichen Deponierand auf. In der Fahne haben die Schadstoffe mit hoher Mobilität (LCKW, Benzol) die Dove-Elbe-Wettern erreicht. Am Deponierand weist das Grundwasser LCKW-Konzentrationen von ca. 2.000 bis 5.000 µg/l auf, an der Fahnenspitze noch ca. 1.000 µg/l. Die entsprechenden Benzol-Werte liegen bei 200 bzw. 50 µg/l. Chlorbenzole sind bis ca. 100 m südwestlich vom Deponierand nachweisbar. In der Dove-Elbe-Wettern werden im Kontaktbereich mit der Grundwasserfahne Vinylchlorid-Konzentrationen von etwa 10-20 µg/l gemessen, an anderen Probenahmepunkten nur Spuren von höchstens 1-2 µg/l. Im Oberflächengewässer kommt es neben Verdünnungsvorgängen zu oxidativem Abbau der Schadstoffe.

Da die erforderliche Betriebsdauer des südlichen Förderbrunnens bis zum Abbau der Fahne gemäß Modellierung mit 20 - 30 Jahren abgeschätzt wird, ist mindestens so lange die umfassende Grundwasserüberwachung aufrecht zu erhalten. Der nördliche „Sicherungsbrunnen“ muss aller Voraussicht nach auf Dauer betrieben werden, um nach Rückholung der Fahne ein erneutes Verdriften von Schadstoffen über den Deponierand hinaus zu verhindern. Für die Kontrolle der Wirksamkeit dieses Brunnens ist ein dann noch festzulegendes langfristiges Überwachungsprogramm durchzuführen.

Dokumentation: Aufgrund der erforderlichen Langfristigkeit der verschiedenen Überwachungsprogramme bekommt die sorgfältige, auf Dauer (100 Jahre und mehr) angelegte Dokumentation der Daten und Berichte eine besondere Bedeutung. Bisher werden je nach Unterpro-



Legende:

- ◆ 10,4 Grundwassermessstelle mit Messwert in $\mu\text{g/l}$ (Beprobung Herbst 2009)
- ◆ 10,4 Sanierungsbrunnen mit Messwert in $\mu\text{g/l}$ (Okt. 2009)
- 10 $\mu\text{g/l}$ -Isoknze der LCKW-Summe 2009
- 10 $\mu\text{g/l}$ -Isoknze der LCKW-Summe 2002
- 10 $\mu\text{g/l}$ -Isoknze der LCKW-Summe 1997
- ◆ Sanierungsbrunnen ALT
- ◆ Sanierungsbrunnen NEU

Abbildung 7: Veränderung der LCKW-Schadstoffahne im oberflächennahen Grundwasserleiter 1997 bis 2009. Die Fahnenränder entsprechen der 10 $\mu\text{g/l}$ -LCKW-Isoknze. Mit Darstellung der fünf alten und zwei neuen Sanierungsbrunnen; nach [9]

gramm – historisch bedingt – noch teilweise unterschiedliche Dokumentationsverfahren und Datenbanken genutzt. Es wird angestrebt, alle relevanten Dokumente in ein einheitliches Dokumentations-system zu überführen. Ebenso ist es sinnvoll, diese Dokumente sowohl in digitaler als auch in Papier-Form aufzubewahren; vergl. [5].

4 Nachnutzung

Ungefähr seit dem Jahr 2000 wurde in zunehmendem Maße von Bürgern und Politikern gefordert, den gesicherten und begrüntem Deponieberg der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Im Vorfeld der Internationalen Bauausstellung IBA Hamburg 2013 wurde schließlich das Konzept des öffentlichen „Energiebergs Georgswerder“ entwickelt und umgesetzt; vergl. [17, 18]. Wesentliche Komponenten des Energiebergs sind:

- Landmarke mit Anlagen zur nachhaltigen Energiegewinnung,
- Öffentlicher Aussichts-Park mit einem artifiziellen „Horizontweg“,
- Öffentliches Informationsgebäude (Ausstellungen und Filme über Geschichte und Sanierung des Standortes sowie über Energiegewinnung).

Nachhaltige Energiegewinnung erfolgt durch Deponiegasentnahme (seit 1985), Windenergieanlagen (seit 1992), Solarenergiegewinnung (seit 2010) und durch Nutzung der Grundwasserwärme (seit 2011). Die Gasförderung beträgt 35 Jahre nach der Deponieschließung noch ca. 110 m³ pro Stunde bzw. ca. 4 Mio. kWh (Wärme) pro Jahr. Das Gas wird in der benachbarten Kupferhütte zur Erztrocknung genutzt. Voraussichtlich kann noch zwei weitere Jahrzehnte Gas gefördert werden. Die Freiflächen-Photovoltaikanlage bedeckt eine Fläche von ca. 9000 m² mit einer Leistung von 700 kWp. Pro Jahren werden etwa 560.000 kWh Solarstrom gewonnen. Drei ältere, kleinere Windkraftanlagen wurden 2011 abgebaut und dafür eine große 3,4 MW-Anlage auf der höchsten Deponiekuppe errichtet. Desweiteren existiert noch eine 1,5 MW-WKA im Südostteil der Deponie. Beide WKA sind auf Stahlbeton-fundamenten (Durchmesser 23 m bzw. 12 m) flach gegründet. Die Ausbeute an Windenergie beträgt gegenwärtig insgesamt etwa 12 Mio. kWh jährlich. Mit der gewonnenen Wind- und Solarenergie des Deponiestandorts können rechnerisch 4000 Haushalte versorgt werden [18]. Die Wärme des aufbereiteten Grundwassers wird über Wärmetauscher zur Unterstützung der Heizung im Informations- und Betriebsgebäude genutzt.

Hauptattraktion der landschaftsarchitektonischen Umgestaltung ist der 920 m lange, teilweise brückenartig ausgebildete „Horizontweg“, der die Deponiekuppe umrundet. Dazu gehören ein mäandrierender, barrierefreier Aufstiegsweg sowie eine kürzere Aufstiegstreppe, die jeweils beim Ausstellungsgebäude im Norden der Deponie starten; vergl. Abb. 3. Etwa 40 Prozent (20 ha) der abgedeckten Deponie sind für Besucher freigegeben. Im IBA-Jahr 2013 war der „Energieberg“ von Ende März bis Anfang November täglich geöffnet. Es wurden ca. 60.000 Besucher gezählt. Im Jahr 2014 beträgt die voraussichtliche Besucherzahl bei leicht reduzierten Öffnungszeiten etwa 20.000.

Die umfangreichen Sicherheitsmaßnahmen, wie Trennzäune, Überbauung von Gasschächten und Einsatz von Wachpersonal, zeigen insgesamt die gewünschte Wirkung. Die Besucher bewegen sich fast ausschließlich auf den Wegen, insbesondere dem Horizontweg, und kaum auf den Grasflächen der Abdeckung oder im Bereich von Betriebsanlagen. Auch Sportveranstaltungen (Lauf-, Radfahr- und Longboarder-Wettbewerbe) und andere „Events“ mit großer Teilnehmerzahl verlaufen weitgehend problemlos.

5 Schluss

Dreißig Jahre nach Aufstellung des Sanierungskonzeptes lässt sich Folgendes feststellen: Die Sicherung der Deponie Georgswerder war ein Pilotprojekt der Deponien- und Altlastensanierung. Durch dieses Projekt wurden Technologieentwicklung und Forschung auf diesem Gebiet sowie die entsprechende Gesetzgebung in der BRD wesentlich beeinflusst. Die Ergebnisse des im Rahmen der Nachsorge durchgeführten Überwachungsprogramms zeigen, dass die Sicherungssysteme der Deponie Georgswerder auch ca. 25 Jahren nach ihrer Herstellung ihre Funktion erfüllen und dass die Sanierungsziele überwiegend erreicht wurden. Die übergeordneten Ziele, Menschen und Umwelt weitgehend vor den Schadstoffen zu schützen, wurden durch die umfangreichen Sicherungsmaßnahmen erreicht. Die angestrebte zumindest teilweise Dekontamination war jedoch angesichts der Schadstoffmengen und der ungünstigen hydraulischen Bedingungen im Deponiekörper nicht realisierbar.

Hinsichtlich der konkreten Sanierungsziele des Sanierungskonzeptes von 1985 ergibt sich das in Tab. 2 dargestellte Zielerreichungsbild. Zwar verhindert die Oberflächenabdichtung fast hundertprozentig einen Wassereintrag aus Niederschlag in den Deponiekörper. Durch die daraus resultierende Absenkung des Stauflüssigkeitsspiegels wurde aber nur ein Teilvolumen des Deponiekörpers „trockengelegt“, es besteht immer noch ein großer flüssigkeitsgesättigter Bereich im Deponieinnern, der die meisten Flüssigabfallbecken einschließt. Die Schadstoffmobilisierung in und aus den Becken ist also nach wie vor möglich. Höchstwahrscheinlich wird ein größerer Rest-Flüssigkeitskörper sogar auf Dauer bestehen bleiben.

Das 1. Ziel ist damit voraussichtlich nicht erreichbar. Dahingegen wurden die Ziele 2. – 4. weitgehend erreicht, mit einer Einschränkung beim Grundwasser.

Tabelle 2: Konkrete Sanierungsziele für die Deponie Georgswerder und Zielerreichung; nach [6]

Konkretes Sanierungsziel 1985	Zielerreichung 2014	Zielerreichung wann?
1. Minimierung der Schadstoffmobilisierung im Deponiekörper durch „Trockenlegung und Trockenhaltung“	nein	wahrscheinlich nicht erreichbar
2. Verhinderung von Sickerwasseraustritten in Oberflächengewässer	ja	
3. Fassung und Abführung des Deponiegases	ja	
4. Fassung und Sanierung der Grundwasserschadstofffahne	teilweise	ca. 2035 (Modellprognose)

Eine umfassende Nachsorge und Eigenkontrolle (Überwachung) ist weiterhin und langfristig unumgänglich, zumindest während der Lebensdauer der Sicherungssysteme (geschätzt 100 Jahre). Die jährlichen Kosten der Nachsorge mit Betrieb, Unterhaltung und Eigenkontrolle liegen in der Summe bei ca. 700.000 Euro (ohne kalkulatorische Kosten und behördliche Personalkosten). Davon kostet das Eigenkontrollprogramm etwa 100.000 Euro. Bezogen auf die Investitionskosten für Sicherungsbauwerke und -anlagen von rund 100 Mio. Euro (incl. Planungskosten) betragen die jährlichen Nachsorgekosten 0,7 Prozent, die Kosten der Eigenkontrolle nur 0,1 Prozent. Die Nachnutzung als öffentlicher „Energieberg“ erfordert erhöhte Aufwendungen für Unterhaltung und Eigenkontrolle (Beispiele Horizontweg und Freiflächen-PV-Anlage). Mittel- bis langfristig wird die Nachsorge vermutlich durch veränderte Umweltbedingungen, wie Anstieg der Wasserstände in der Elbmarsch, vor neue Herausforderungen gestellt.

Fernziel bleibt die, wahrscheinlich nur schrittweise durchführbare, Beseitigung des Schadstoffpotenzials (Dekontamination) der Deponie.

Literaturverzeichnis

- [1] R. Kilger, T. Haupt, und S. Weisleder. Deponie Georgswerder – Umgestaltung zum Energieberg. – In: Altlastenspektrum, 19. Jahrgang (04/10), 165-171, 2010.
- [2] Umweltbehörde Hamburg. Deponie Georgswerder Sanierung 1984-95. – Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde, Amt für Umweltschutz – Altlastensanierung, 76 S, 1995.
- [3] R. Götz, V. Sokollek, und R. Weber. The dioxin/POPs legacy of pesticide production in Hamburg: Part 2 – waste deposits and remediation of Georgswerder landfill. – In: Environmental Science and Pollution Research, Vol. 20, Issue 4 (2013), 1925-1936. <http://link.springer.com/article/10.10072013>.
- [4] Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg; 11. Wahlperiode. Sanierung der Deponie Georgswerder. – Drucksache 11/3999, 23. 04. 85, 1985.
- [5] ITVA. Nachsorge und Überwachung von sanierten Altlasten. – ITVA Handlungsempfehlung - H 1 – 1, Ingenieurtechnischer Verband Altlasten, Berlin, 71 S, 2003.
- [6] V. Sokollek. Nachsorge der Deponie Georgswerder: Zwei Jahrzehnte Erfahrungen aus der Eigenkontrolle. – In: Altlastenspektrum, 19. Jahrgang (04/10), 172-179, 2010.
- [7] V. Sokollek. 25 Jahre Sanierung der Deponie Georgswerder – Ein Erfahrungsbericht. – In: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2010. Hrsg. Th. Egloffstein und G. Burkhardt, ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Bd. 19, Karlsruhe, 111-132, 2010.
- [8] V. Sokollek. Nachsorge der Deponie Georgswerder: Erfahrungen aus der Eigenkontrolle. – In: Fachtagung: 25 Jahre Sanierung der Deponie Georgswerder. Hrsg.: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Umweltschutz, Abteilung Bodenschutz/Altlasten, 23-45. www.hamburg.de/altlastensanierung, 2010.
- [9] L. Moosmann. Schnitt durch Deponie Georgswerder und Untergrund; LCKW- Schadstoff-fahnen im Grundwasser. – Geologisches Landesamt Hamburg (unveröff.), 2010.
- [10] S. Melchior. Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten. – Dissertation im Fachbereich Geowissenschaften, Universität Hamburg. Hamburger Bodenkundl. Arb., 22, 1993.
- [11] V. Sokollek, S. Melchior, K. Berger, und B. Steinert. Achtzehn Jahre Testfelderuntersuchungen auf der Deponie Georgswerder/Hamburg. – In: Deponieworkshop Zittau - Liberec 2006, Hochschule Zittau/Görlitz, Wissenschaftliche Berichte, 91, 221-238, 2006.
- [12] S. Melchior, V. Sokollek, K. Berger, B. Vielhaber, und B. Steinert. Results from 18 years of in situ performance testing of landfill covers in Germany. – In: Journal of Environmental Engineering, Vol. 136, No. 8, 815-823, 2010.
- [13] Landesamt für Geoinformation und Vermessung Hamburg. Deponie Georgswerder – Höhen- und Lagemessungen 1988 – 2014. Excel-Dokument (unveröff.), 2014.

- [14] A. Seelig-Braker. Überwachung der Vegetationsentwicklung auf der gesicherten Deponie Georgswerder (Bericht 2013). – Im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Bodenschutz/Altlasten, Hamburg (unveröff.), 2014.
- [15] Aufwind-Luftbilder Hamburg (2012).
- [16] J. Goy. Die Rekultivierungsschicht der Oberen Abdeckung der Deponie Georgswerder – Ist-Zustand, Bodenentwicklung und Nachnutzung im Rahmen des Projektes ‚Energieberg Georgswerder‘. Diplom-Arbeit, Universität Hamburg, MIN-Fakultät, Fachbereich Geowissenschaften (unveröff.), 2012.
- [17] V. Sokollek. Von der geschlossenen Sondermülldeponie zum öffentlichen „Energieberg“ – Beispiel Deponie Georgswerder. – In: Deponieworkshop Liberec - Zittau 2011, Hochschule Zittau/Görlitz, Wissenschaftliche Schriften im Rahmen des EU Ziel3-Projekts „Erdbau und Rekultivierung“, 6, 121-134, 2011.
- [18] IBA Hamburg GmbH (Hrsg.). Hügel der neuen Horizonte - Energieberg Georgswerder. - <http://www.iba-hamburg.de/wissen/whitepaper.html>, 2013.

Uzavírání skládek v České republice

Stilllegung von Deponien in der Tschechischen Republik

Jaroslav Pelant¹

Abstrakt

Problematika uzavírání skládek v současnosti její legislativní rámeček a porovnání se zkušenostmi ČIŽP s uzavíráním skládek v minulých cca 20 letech s uvedením praktických příkladů bude obsahem této prezentace.

Kurzfassung

Dieser Beitrag befasst sich mit der Problematik der Schließung von Deponien in der Gegenwart, mit dem gesetzlichen Rahmen und mit einem Vergleich der Erfahrungen der Tschechischen Umweltinspektion (Česká inspekce životního prostředí) mit der Stilllegung von Deponien während der vergangenen etwa 20 Jahren. Es werden praktische Beispiele dargestellt.

1 Úvod

Problematika provozu a uzavírání skládek získala svůj zákonný rámeček s přijetím zákona č. 238/1991 Sb, a následně s přijetím prováděcího předpisu a příslušných technických norem. V období let devadesátých se jednalo zejména o uzavírání skládek provozovaných před platností zákona. Tyto skládky, přestože nevyhovovaly novým podmínkám stanoveným pro zajištění skládek, mohly být provozovány po určitou dobu (max. do 31. 7. 1996) na tzv. zvláštní podmínky [1,2]. Ty většinou stanovovaly i podmínky pro provedení rekultivace a následné péče o skládku, někdy odlišné od požadavků stanovených pro nově povolované skládky.

2 Předpisy řešící proces uzavírání skládek

V současné době řeší problematiku provozu skládek zákon č. 185/2001 Sb. [3], prováděcí vyhláška MŽP č.294/2005 Sb. [4], a příslušné technické normy:

- ČSN 83 8030 Skládkování odpadů - Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek [5],
- ČSN 83 8032 Skládkování odpadů - Těsnění skládek,
- ČSN 83 8033 Skládkování odpadů - Nakládání s průsakovými vodami ze skládek,
- ČSN 83 8034 Skládkování odpadů - odplynění skládek,
- ČSN 83 8035 Skládkování odpadů - Uzavírání a rekultivace skládek [6],
- ČSN 83 8036 Skládkování odpadů - Monitorování skládek,
- TNO 83 8039 Skládkování odpadů - Provozní řád skládek.

¹Česká inspekce životního prostředí, Třída 1. máje 858/26, CZ-46001 Liberec, pelant.jaroslav@lb.cizp.cz

Skládky jsou dle platné legislativy [4] členěny do následujících skupin:

- kupina S-inertní odpad (S-IO),
- skupina S-ostatní odpad (S-OO),
- skupina S-nebezpečný odpad (S-NO).

3 Požadavky na uzavírání skládek

3.1 Obecně

Provozovatel skládky má povinnost zabezpečit po ukončení provozu skládky její asanaci, rekultivaci a následnou péči. Návrh uzavření a rekultivace skládky musí být zpracován současně s projektem skládky [5]. V procesu uzavírání skládky se musí provést zajištění skládky a její rekultivaci v souladu se schváleným projektem (např. vyrovnání tvaru, položení izolačních vrstev, rekultivační vrstvy apod.)

Skládky ostatního odpadu a skládky nebezpečného odpadu mohou být provozovány na základě integrovaného povolení vydaného dle zákona č. 76/2002 Sb., O integrované prevenci. I v integrovaném povolení jsou stanoveny další podmínky pro proces uzavírání skládky.

Podmínky pro proces uzavírání skládky závisí rovněž na způsobu budoucího využití prostoru skládky (např. komerční využití, zalesnění).

Skládka nebo její část může být považována za uzavřenou až poté, co příslušný krajský úřad provede konečné místní šetření a udělí provozovateli souhlas s uzavřením skládky. Dobu trvání a podmínky péče o skládku po uzavření jejího provozu, rekultivaci a asanaci stanoví individuálně pro každou skládku nebo její část příslušný krajský úřad jako součást provozního řádu. Lhůta nesmí být kratší než 30 let.

3.2 Požadavky stanovené příslušnou normou [6]

Normou je proces uzavírání skládky definován jako souhrn prací a opatření postupně prováděných na tělese skládky následně po ukončení skládkování odpadů. Jedná se o úpravu tělesa skládky uzavření a rekultivace povrchu a provozování uzavřené skládky včetně monitorování. Účelem uzavření skládky je zabránit potenciálnímu poškození nebo ovlivnění složek životního prostředí v okolí skládky. Jsou zde stanoveny požadavky na:

- prostorové řešení skládky včetně sklonu svahů a zohlednění sedání povrchu skládky,
- opatření k zachycení skládkového plynu včetně posouzení doby, po kterou má být prováděn,
- na uzavírací vrstvy skládky (vyrovnávací, těsnící, a ochranná),
- odvodnění skládky,
- rekultivační vrstvu skládky,
- konečnou úpravu povrchu skládky.

Tabulka 1: Třídy vyluhovatelnosti [4]

ukazatel	Třídy vyluhovatelnosti			
	I	IIa	IIb	III
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
DOC (rozpuštěný organický uhlík)	50	80	80	100
Fenolový index	0.1			
Chloridy	80	1500	1500	2500
Fluoridy	1	30	15	50
sírany	100	3000	2000	5000
As	0.05	2.5	0.2	2.5
Ba	2	30	10	30
Cd	0.004	0.5	0.1	0.5
Cr celkový	0.05	7	1	7
Cu	0.2	10	5	10
Hg	0.001	0.2	0.02	0.2
Ni	0.04	4	1	4
Pb	0.05	5	1	5
Sb	0.006	0.5	0.07	0.5
Se	0.01	0.7	0.05	0.7
Zn	0.4	20	5	20
Mo	0.05	3	1	3
RL(rozpuštěné látky)	400	8000	6000	10000
pH		≥6	≥6	

3.3 Požadavky stanovené prováděcím předpisem [4] k zákonu [3]

Odpady využívané při uzavírání skládek k vytváření uzavírací těsnicí vrstvy skládky musí splňovat všechny podmínky stanovené pro danou skupinu skládek v příloze č. 4 [4] a jejich vodný výluh nesmí u skládek ostatního ani nebezpečného odpadu v žádném z ukazatelů překročit limitní hodnoty výluhové třídy číslo II b uvedené v tabulce přílohy č. 2. [4].

Odpady využívané při uzavírání skládek k vytváření uzavírací ochranné vrstvy kryjící uzavírací těsnicí vrstvy skládky a odpady využívané do svrchní rekultivační vrstvy skládky musí splňovat podmínky stanovené v bodě 1 přílohy č. 11. [4].

Odpady mohou být využity při uzavírání skládky k vytváření ochranné vrstvy kryjící těsnicí vrstvy skládky a svrchní rekultivační vrstvy skládky, jestliže:

- ve zkouškách akutní toxicity, jsou splněny požadavky stanovené v příloze č. 10, tabulce č. 10.2, sloupec I, [4],
- obsah škodlivin v sušině využívaných odpadů nepřekročí nejvýše přípustné hodnoty anorganických a organických škodlivin uvedené v příloze č. 10, tabulce č. 10.1 [4],
- pro využívání do svrchní rekultivační vrstvy skládky určené pro ozelenění (rekultivační vrstvy schopné zúrodnění - biologická rekultivace skládky) splňují podmínky výše stanovené a pokud jsou využívány biologicky rozložitelné odpady jako nositelé živin, musí být prokazatelně upraveny ve smyslu odstranění nebezpečné vlastnosti infekčnosti technologií.

Tabulka 2: Tabulka 10.1 [4]

Ukazatel	Jednotka	Limitní hodnota
Kovy		
As	mg/kg sušiny	10
Cd	mg/kg sušiny	1
Cr celk.	mg/kg sušiny	200
Hg	mg/kg sušiny	0.8
Ni	mg/kg sušiny	80
Pb	mg/kg sušiny	100
V	mg/kg sušiny	180
Monocyklické aromatické uhlovodíky (nehalogenované)		
BTEX	mg/kg sušiny	0.4
Polycyklické aromatické uhlovodíky		
PAU	mg/kg sušiny	6
Chlorované alifatické uhlovodíky		
EOX	mg/kg sušiny	1
Ostatní uhlovodíky (směsné, nehalogenované)		
C ₁₀ – C ₄₀	mg/kg sušiny	300
Ostatní aromatické uhlovodíky (halogenované)		
BPCB	mg/kg sušiny	0.2

4 Příklady uzavírání skládek

4.1 Skládky povolené a provozované před rokem 1991

Klinkovice: Jednalo se o skládku galvanických kalů provozovanou společností Technometra s.p. závod Semily. Skládky byla vybudována v bývalém čedičovém lomu a její zajištění proti pronikání škodlivých látek do okolí představovalo neuhnutelné zemní těsnění a nijak nespojovaná PVC folie. Ukládání odpadů na skládku bylo ukončeno v roce 1990, následný provoz na zvláštní podmínky nebyl realizován (z finančních důvodů). Od roku 1997 probíhala rekultivace skládky inertními odpady. Rekultivaci prováděl subjekt odlišný od majitele skládky (ten byl v té době v likvidaci).

V souladu se schváleným provozním řádem měla být po zaplnění tělesa skládky následně skládka překryta zeminou o mocnosti 0,6 metru.

Po nahlášení ukončení rekultivace skládky bylo provedeno šetření ČIŽP, při něm byla zkoumána mocnost zeminy překrývající uložené odpady. Bylo zjištěno, že překrytí skládky zeminou bylo provedeno pouze částečně, v některých místech byla vrstva zeminy menší než 0,1 metru.

Provozovatel skládky byl vyzván k nápravě. Bohužel toto nebylo provedeno a provozovatel skládky ukončil činnost a společnost zanikla.

4.2 Skládky povolené a provozované po roce 1991

Krásná studánka: Jedná se o skládku inertního odpadu (S-IO) provozovanou v průběhu let 1998 až 2005. Následně vydáno krajským úřadem rozhodnutí, kde byly stanoveny podmínky následné péče až do dubna 2034. Vzhledem ke stavbě rychlostní komunikace byl v r. 2009 vydán Dodatek, kterým se změnila četnost a rozsah monitoringu (na nejnужnější parametry s četností pouze 1x ročně).

V roce 2013 byl vydán další Dodatek, který osvobodil provozovatele, vzhledem k zásahu do tělesa skládky a značnému přesunu zaskládkovaných hmot, od povinnosti pravidelného monitoringu. Na ploše této bývalé skládky je v současné době provozována kompostárna.



Obrázek 1: Skládka Klinkovice, stav po ukončení rekultivace.



Obrázek 2: Skládka Krásná Studánka, plocha kompostárny.

Košálov: Jedná o skládku ostatního odpadu (S-OO). Skládka byla uvedena do provozu v listopadu 1993. Nachází se ve vytěžené části melafyrového lomu. Vzhledem k vysoké výšce lomové stěny (cca 90 metrů) je stavba skládky rozčleněna do několika výškových etáží, kdy je

vždy další závěrná hráz nové etáže posunuta zpět do tělesa skládky a probíhající rekultivace jednotlivých etáží představuje pouze prostor závěrné hráze, protože zbylá plocha je pod aktivní plochou následující etáže.



Obrázek 3: Skládka Košťálov, pohled na závěrné hráze.

Svébořice: V tomto případě jde o jednu z prvních skládek postavených po roce 1990 a vyhovující nové legislativě. Provoz skládky (1. ETAPA) byl zahájen skládkováním v úložném prostoru, který byl dokončen a kolaudován 3. 9. 1991 s celkovou kapacitou 155 905 m³ (plocha „C“). Postupně došlo ke zkapacitnění skládky ve třech fázích. V I. fázi zkapacitnění bylo povoleno ukládání odpadů až do výše 7,5 m nad úroveň terénu a došlo ke zvýšení projektované kapacity na 286 105m³.

Pro účely dalšího skládkování ve stávajícím areálu skládky byl v rámci II. fáze zkapacitnění vybudován nový úložný prostor s celkovou kapacitou 42 700m³, při mocnosti skládkového tělesa 7m (kazeta „A“).

Další fází zkapacitnění skládky byl další úložný prostor s projektovanou kapacitou 35 897m³, jehož výstavba byla zahájena v květnu 2007 (kazeta „B“).

Na základě územního rozhodnutí vydaného dne 14. 6. 2006 pod čj. MUMI 10542/2006 Městským úřadem v Mimoni, odborem výstavby, územního plánování a dopravy (příloha IV) byla realizována výstavba 2. ETAPY skládky na p.č. 84, 91 a 94 v k.ú. Svébořice, Město Ralsko.

V současné době probíhá ukládání odpadů v 2. etapě skládky s celkovou projektovanou kapacitou 185.000m³ a to v přímé návaznosti na stávající areál skládky s využitím existující infrastruktury.

Rekultivace 1. fáze skládky probíhala následovně:

- kazeta „C“ - 2007,
- kazeta „A“ - 2011,
- kazeta „B“ - 2013.



Obrázek 4: Skládka Svébořice, budova zázemí skládky, za ní kazeta C, vpravo vpředu kazeta B.

5 Závěr

Proces uzavírání skládek nabízí širokou škálu způsobů a možností v závislosti na konkrétním technickém řešení skládky, případné návaznosti jednotlivých etap a způsobu využití plochy skládky po jejím uzavření.

Literatura

[1] Zákon č. 238/1991 Sb.

[2] Nařízení vlády č. 513/1992 o podrobnostech nakládání s odpady.

[3] Zákon č. 185/2001 Sb., O odpadech ve znění pozdějších předpisů.

[4] Vyhláška č. 294/2005 Sb, ve znění pozdějších předpisů.

[5] ČSN 83 8030 Skládování odpadů - Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek.

[6] ČSN 83 8035 Skládování odpadů - Uzavírání a rekultivace skládek.

Skládkování odpadů v Podkrušnohoří

Deponien im erzgebirgischen Vorland

Věra Kreníková¹, Jaroslava Vráblíková², Miroslava Blažková³

Abstrakt

Problematika skládkování odpadů průmyslových, komunálních i ostatních odpadů s ohledem na vybrané skládky v Podkrušnohorské oblasti v okresech Ústí nad Labem, Teplice, Most a Chomutov. Specifickým a společným rysem těchto skládek je to, že jsou vybudovány na výsypkách po těžbě hnědého uhlí. Je uveden přehled největších provozovaných skládek, jejich kapacita, druhy ukládaných odpadů, množství ukládaných odpadů. Do přehledu jsou zahrnuty odkaliště a úložiště na ukládání odpadů ze spalovacích procesů uhelných elektráren.

Kurzfassung

Die Problematik der Ablagerung von Industrie-, Kommunal- und sonstiger Abfälle mit Hinsicht auf ausgewählte Deponien in dem erzgebirgischen Vorland in den Kreisen Aussing (Ústí nad Labem), Teplitz (Teplice), Brüx (Most) und Komotau (Chomutov). Es handelt sich um ausgewählte Deponien: Deponie für Industrieabfälle in Schöbritz (Všebořice), das Komplex der Deponien Celio, die Deponie Hochofen (Vysoká Pec) und die Deponie Tuschmitz (Tušimice). Gemeinsam für diese Deponien ist, dass sie auf Kippen des Braunkohlebergbaus errichtet wurden. Es wird eine Übersicht der größten betriebenen Deponien, ihrer Kapazität, der Arten sowie der Mengen der abgelagerten Abfälle dargestellt.

1 Úvod

Životní prostředí v České republice, zejména v severočeském regionu, je velmi negativně ovlivněno veškerou antropogenní činností, která zde probíhala a probíhá do té míry, že je prostředím poškozeným. Zatížené životní prostředí až na hranici katastrofálních podmínek se samozřejmě negativně projevuje i na člověku. Zásadní obrat k lepšímu není závislý na úrovni vybavení zdravotnických zařízení, ale především na tom, jak dovedeme definovat, zmapovat a zanalyzovat spektrum škodlivých faktorů životního prostředí a poznat mechanismus jejich působení. Získané kvalitní podklady jsou předpokladem efektivního řešení problematiky. Jakékoliv řešení problematiky odpadového hospodářství je samozřejmě závislé na ekonomické situaci, která se projevuje v oblasti využití odpadů a v úrovni řešení problematiky odpadového hospodářství. Na využití odpadů má mimo jiné vliv:

- existence zpracovatelských technologií a jejich úroveň,
- finanční prostředky vkládané do odpadového hospodářství,

¹Fakulta životního prostředí, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně Ústí nad Labem, Králova výšina 3132/7, CZ-40096, Ústí nad Labem, vera.krenikova@ujep.cz

²Fakulta životního prostředí, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně Ústí nad Labem, Králova výšina 3132/7, CZ-40096, Ústí nad Labem, jaroslava.vrablikova@ujep.cz

³Fakulta životního prostředí, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně Ústí nad Labem, Králova výšina 3132/7, CZ-40096, Ústí nad Labem, miroslava.blazkova@ujep.cz

- úroveň podnikání v této oblasti,
- podpora státu,
- koncepce státní politiky nakládání s odpady.

Vývoj evropského pojetí odpadového hospodářství, ke kterému došlo v uplynulých deseti letech je možné přirovnat ke zrychlené průmyslové revoluci. Proti jiným oborům se dříve zaostalé odpadové hospodářství díky nově využitým možnostem a v neposlední řadě i značným finančním prostředkům do této oblasti vkládaným, dostává rychle na vysokou technickou úroveň a ta začíná v některých směrech i překonávat představivost běžného uživatele jeho služeb.

Jedním z hlavních zdrojů znečištění životního prostředí v České republice je vysoká produkce odpadů a do doby platnosti zákona o odpadech a dalších právních norem zcela ne-správné nebo vůbec žádné systematické hospodaření s nimi.

2 Skládování odpadů

Skládováním odpadů rozumíme odstraňování odpadu jeho trvalým ukládáním na skládku, při němž poškozování životního prostředí nebo ohrožení zdraví lidí nepřesáhne míru stanovenou právními normami v životním prostředí.

Přes všechna navrhovaná a realizovaná zařízení na využití a odstraňování odpadů bude nutno i nadále část produkovaných odpadů sládkovat. Žádné zařízení nezpracovává odpady beze zbytku a je tedy i zde nutná skládka. S ohledem na různé omezující faktory v prostředí je nutno prosazovat pouze řízené skládování. Skládky zabírají stále více plochy kulturní krajiny hospodářsky využívané.

Skládování jako konečný způsob odstraňování odpadů se stává ekologicky a provozně stejně náročným, jako složité systémy nakládání s odpady jako je úprava, drcení, třídění, či spalování odpadů. Je tedy nutno věnovat skládování odpadů maximální pozornost a to již od etapy vyhledávání vhodné lokality, po projednání, přes projektovou přípravu, provoz až po ukončení skládování a následnou rekultivaci. Nezanedbatelnou je i otázka financování tak náročné investice, jakou je skládka. Hlavní odpovědnost za tuto činnost nesou příslušné územně správní orgány.

3 Produkce odpadů

Přesto, že průmyslová výroba klesla na minimální produkci, produkce odpadů s tím souvisí, ale produkce průmyslových odpadů a její minimalizace souvisí i se zaváděním maloodpadových technologií. U komunálních odpadů se zvyšuje procento odpadů, které je možné recyklovat a kromě toho nelze na skládky ukládat odpady biologicky rozložitelné.

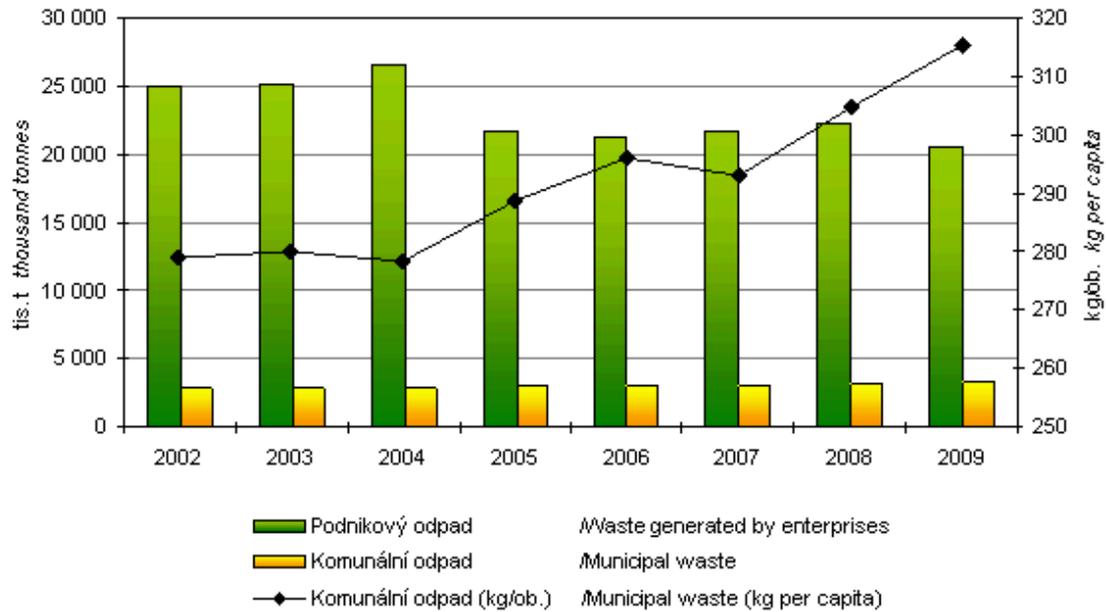
V následujícím grafu a tabulkách je uveden přehled produkce odpadů průmyslových i komunálních v Ústeckém kraji.

Tabulka 1: Vývoj produkce průmyslových odpadů v ČR a Ústeckém kraji (Zdroj: ČSÚ)

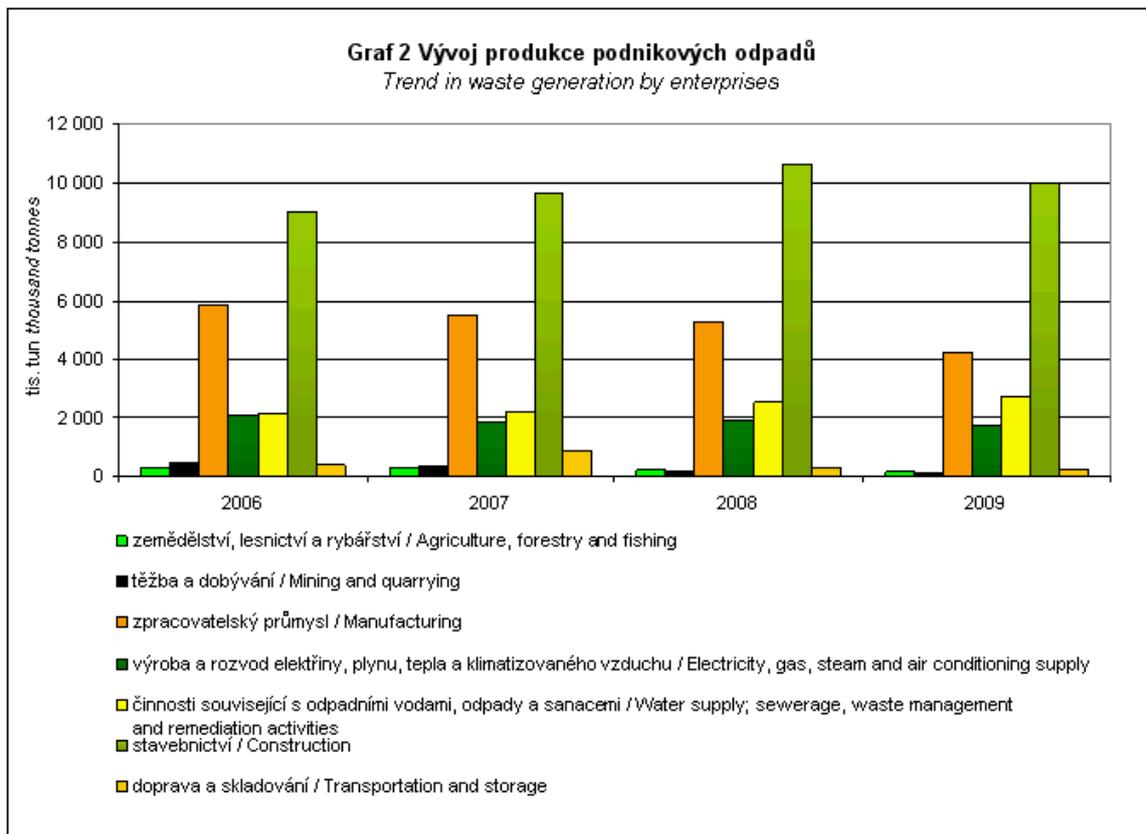
	Množství produkovaných odpadů v tis. t/rok							
Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Česká republika	24 959	25 173	26 584	21 774	21 264	21 651	22 244	20 514
Ústecký kraj	2 179	1 864	1 452	1 496	1 656	1 523	1 580	2 060
%	8,73	7,40	5,46	6,87	7,79	7,03	7,10	10,04

V podkrušnohorské oblasti je velká produkce průmyslových odpadů, což je dáno charakterem oblasti. Průmyslové odpady jsou převážně , velmi stručně řečeno, odpady z vlastní

Graf 1 Vývoj produkce odpadů
Trend in waste generation



Obrázek 1: Zdroj: ČSÚ



Obrázek 2: Zdroj: ČSÚ

průmyslové výroby a z energetiky a částečně i z těžby. Produkce průmyslových odpadů v Ústeckém kraji se pohybuje v rozmezí 5,5 – 10,0% celkové celostátní produkce průmyslových odpadů.

Tabulka 2: Vývoj produkce odpadů v Ústeckém kraji v letech 2002 - 2009 (Zdroj: KÚÚK)

Množství produkovaných odpadů v tis. t/rok								
Odpady	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Všechny odpady	6155,05	6224,05	5308,36	2506,55	2773,76	2752,75	3474,15	3196,00
Nebezpečné odpady	118,06	196,89	195,37	233,72	163,47	162,67	328,29	375,52
Ostatní odpady	6036,99	6027,16	5112,99	2272,83	2610,29	2590,08	3145,86	2820,48
Komunální odpady	436,02	386,96	409,64	432,63	402,50	439,39	431,56	452,61

Průmyslové odpady jsou často velmi cennou surovinou, kterou lze využít přímo nebo po úpravě v primárním nebo sekundární recyklačním procesu, nebo jako sekundární zdroj energie. Tyto odpady jsou obvykle dobře definovatelné, poměrně čisté, znamenají úsporu surovin, energie apod. a i tak poměrně často končí na skládkách. Mezi průmyslové odpady, které jsou charakteristické pro západní část Ústeckého kraje lze zařadit odpady z:

- těžby uhlí a nerostných surovin,
- průmyslové výroby,
- stavebnictví,
- energetiky.

4 Sklárky v Podkrušnohoří

Do podkrušnohorské oblasti jsou situovány velkokapacitní sklárky odpadů. Selektivně byly vybrány sklárky z podkrušnohorských okresů Ústí nad Labem, Teplice, Most a Chomutov. Sklárky v této oblasti byly založeny převážně v první polovině 90. let, čili v době již platných a respektovaných legislativních norem odpadového hospodářství. Společným rysem těchto skládek je jejich založení a vybudování na výsypkách po těžbě hnědého uhlí. Podloží těchto skládek je svým způsobem specifické, dané složením výsypek. Důvodů pro vybudování několika velkokapacitních skládek v Podkrušnohoří byla celá řada, patřily mezi ně např. vhodné geologické podmínky, dostupnost těžké techniky, investiční záruky a v neposlední řadě i množství produkovaných odpadů a to jak v souvislosti s průmyslovou výrobou, tak hustotou obyvatel. Vznik odpadů a odpady jsou důsledek jakékoliv činnosti člověka a úzce souvisejí s demografickým, urbanistickým i průmyslovým rozvojem státu.

5 Přehled provozovaných skládek

5.1 Skládky průmyslových odpadů Všebořice

- Kapacita sklárky skupiny S-NO: 3 678 300 m³
- Kapacita sklárky skupiny S-OO:
- Provozovatel sklárky: SITA CZ, a.s.
- Název sklárky: Skládky průmyslových odpadů

Tabulka 3: Přehled vybraných skládek.

Název skládky	Obec	Typ skládky	Provozovatel
Skládka TKO České Hamry	Vejprty	S-OO	Služby města Vejprty
Skládka ORLÍK IV	Malšovice	S-OO	TS Děčín a.s.
Skládka odpadů SONO	Čížkovice	S-OO	SONO PLUS, s.r.o.
Skládka průmyslových odpadů	Všebořice	S-NO + S-OO	SITA CZ a.s.
Skládkový komplex Celio	Litvínov 7	S-IO + S-OO + S-NO	CELIO a.s.
Skládka Vysoká Pec	Vysoká Pec	S-OO	Marius Pedersen a.s.
Skládka Tušimice	Kadaň	S-IO + S-OO + S-NO	Skládka Tušimice, a.s.



Obrázek 3: Skládka Všebořice.

- Skupina skládek: S-NO, S-OO

5.2 Skládkový komplex Celio



Obrázek 4: Skládkový komplex Celio.

- Skládkový komplex Celio, Růžodolská výsypka
- Kapacita skládky NO: 546 000 m³
- Kapacita skládky KO:
- Kapacita skládky IO:
- Provozovatel skládky: CELIO, a.s.
- Název skládky: Skládkový komplex Celio
- Skupina skládek: S-NO, S-OO, S-IO

5.3 Skládka odpadů Tušimice

- Kapacita skládky NO:
- Kapacita skládky KO:



Obrázek 5: Skládka odpadů Tušimice.

- Kapacita skládky IO:
- Provozovatel skládky: Skládka Tušimice, a.s.
- Název skládky: Skládka odpadů Tušimice
- Skupina skládek: S-NO, S-OO, S-IO

5.4 Skládka Vysoká Pec

- Kapacita skládky KO:
- Provozovatel skládky: Marius Pedersen a.s.
- Název skládky: Skládka odpadů Vysoká Pec
- Skupina skládek: S-OO



Obrázek 6: Skládka Vysoká Pec.

Vybrané skládky jsou prezentovány s ohledem na jejich umístění na výsypkách po těžbě hnědého uhlí. V Podkrušnohoří je takovýchto lokalit celá řada a jejich revitalizace je otázkou dlouhodobou. Umístění skládek v těchto lokalitách má své odůvodnění:

- jílové podloží, které po ztuhnutí 3x 20 cm, resp. 5x 20 cm je prakticky nepropustné,
- vzhledem k rozlehlosti ploch bylo možné vybudovat velkokapacitní skládky,
- skládky jsou většinou vybaveny dalšími technologiemi pro nakládání s odpady,
- skládky jsou umístěny v průmyslové oblasti, kde byl předpoklad velké produkce průmyslových odpadů,
- jde o průmyslové využití jinak obtížně využitelných ploch,
- vzdálenost od obytných zón je značná,
- dobré přístupové komunikace.

Důležité a samozřejmé je také respektování platné legislativy z oblasti odpadového hospodářství, zejména příslušných norem, týkajících se výstavby skládky, jejího zabezpečení,

včetně těsnících prvků, odvodnění a drenážních systémů, odplynění a rekultivace. Vzhledem k množství uloženého komunálního odpadu a dalšího ostatního odpadu obsahujícího organickou složku, jsou skládky Celio, Tušimice a Vysoká Pec vybaveny systémy na jímání a využití skládkového plynu. Výše uvedené skládky byly uvedeny do provozu v letech 1994 – 1996, tedy již v době platnosti nové legislativy, která požaduje zabezpečení skládek odpadů takové, aby nemohlo docházet k poškozování životního prostředí v žádné jeho složce.

6 Závěr

Velkokapacitní skládky vybudované na výsypkách po těžbě hnědého uhlí mají své opodstatnění a uplatnění. Nejedná se jen o pouhé skládkování odpadů, ale o komplexní zpracování veškerých odpadů, zejména na skládce Celio, která představuje komplexní zpracování odpadů jak pro materiálové tak pro energetické využití. Skládky v uvedených lokalitách mohou být vybudovány za předpokladu splnění legislativních požadavků, využívány pro komplexní zpracování odpadů a dostatečném finančním předpokladu pro vybudování takovýchto zpracovatelských technologií.

Literatura

- [1] V. Kreníková. Odpadové hospodářství, učební texty, FŽP, UJEP Ústí nad Labem, 2010.
- [2] S. Štýs. Řešení problematiky odpadů po těžbě nerostných surovin v ČR, Most, ECOCONSULT 1993.
- [3] Plán odpadového hospodářství Ústeckého kraje.
- [4] Statistická ročenka Ústeckého kraje 2011.
- [5] Zákon 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů.
- [6] ČSN 83 8030 - 39 : Skládování odpadů.
- [7] Atlas zařízení pro nakládání s odpady: 1. díl: Skládky nebezpečných odpadů, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka v Praze, 2010.
- [8] Atlas zařízení pro nakládání s odpady: 2. díl: Skládky ostatních odpadů, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka v Praze, 2010.
- [9] Atlas zařízení pro nakládání s odpady: 3. díl: Skládky inertních odpadů a spalovny odpadů, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka v Praze, 2010.

Následné využití a odtěžování skládek

Nachnutzung und Deponierückbau

Landfill mining – seriózní technologie a nebo jen utopická vize?

Landfill – eine realistische Technologie oder nur eine utopische Vision?

Marek Hrabčák¹

Abstrakt

Termín landfill mining – ťažba skládok sa začal objavovať v médiách už pred vyše 50 rokmi. Napriek tomu sa stále zdá, že táto technológia „nakladania s odpadmi“ je stále len akýmsi utopickým snom či víziou určitej časti akademickej verejnosti. V našom príspevku stručne popíšeme, čo zaujímavé sa v tomto odbore udialo za posledné obdobie, aký je pohľad súčasnej európskej legislatívy na landfill mining, ktoré sú hlavné bariéry jej rozvoja a prinesieme aj výsledky niektorých zaujímavých modelových pokusov zo zahraničia. Na záver stručne okomentujeme naše skúsenosti o realizáciu tejto inovatívnej technológie na Slovensku.

Kurzfassung

Der Begriff landfill mining – Deponierückbau erscheint in den Medien schon vor mehr als 50 Jahren. Trotzdem scheint es, dass diese Technologie der „Abfallbehandlung“ immer noch ein gewisser utopischer Traum oder Vision eines bestimmten Teiles der akademischen Öffentlichkeit ist. In dem Beitrag wird kurz dargestellt, was interessantes in diesem Bereich in der letzten Zeit passiert ist, wie die Sichtweise der gegenwärtigen europäischen Gesetzgebung ist und welche Hindernisse für die Entwicklung dieses Bereiches es gibt. Es werden auch Ergebnisse mancher interessanter Modellversuche aus dem Ausland vorgestellt. Zum Abschluss werden unsere Erfahrung mit der Umsetzung dieser innovativen Technologie in der Slowakei angesprochen.

1 Úvod do problému „Landfill mining“

Skládkovanie odpadov je historicky najstarší proces zneškodňovania odpadov. Aj v súčasnosti sa tento spôsob konečného zneškodnenia odpadov používa ako dominantný prostriedok po celom svete s výnimkou ekonomicky najvyspelejších krajín. V našom staršom príspevku sme na základe údajov z EUROSTATU poukázali na negatívnu koreláciu medzi výškou HDP na obyvateľa a percentom skládkovaného MSW v jednotlivých krajinách EU27. Mazzanti [1] v súlade s teóriou EKC dokonca priamo poukázal na „tipping point“ v súvislosti medzi rastom HDP a odklonom od skládkovania. Po celom svete tak existuje obrovské množstvo skládok rôznych odpadov, ktoré často predstavujú potenciálnu, ale aj reálnu hrozbu pre ľudské zdravie ako aj okolité životné prostredie. Hogland [2] uvádza, že len v EU27 je 350 000 až 500 000 skládok, na ktorých sa nachádza odhadom niekoľko miliárd ton uloženého odpadu!

S nárastom urbanizácie však dochádza najmä v rozvinutých krajinách k nedostatku pozemkov a voľných plôch pre výstavbu. Okrem toho sa aj nedostatok a vzácnosť niektorých nerastných surovín začína prejavovať nárastom ich ceny (napr. REE), čo vedie k úvahám o efektívnejšom využívaní primárnych zdrojov a v konečnom dôsledku aj sekundárnych „ložísk“, t.j. skládok. Ťažba skládok (tzv. landfill mining = LM) je bežne chápaná ako následný spôsob využitia uložených odpadov potom, čo bola skládka ukončená resp. uzavretá. V širšom ponímaní

¹GEOSOFTING, spol. s r.o., Solivarská 28, SK-08005 Prešov, geosofting@stonline.sk, m.hrabcak61@gmail.com

LM predstavuje vlastný výkop odpadu, premiestnenie a separáciu zložiek vrátane materiálneho či energetického využitia podielov a konečnú sanáciu územia bývalej skládky.

2 História a terminológia

Historický prvý popis LM sa vzťahuje k skládke v Hiriya v Izraeli z roku 1953. Ďalšie známe pokusy s LM uvádza Kurian [3]. Napr. v USA na Floride bola v roku 1988 ťažená skládka Collier County, aby sa znížila možnosť kontaminácie podzemných vôd, mohol sa využiť a opakovane použiť krycí materiál a tiež navýšiť kapacita skládky. Ďalšia skládka v regióne Lancaster bola ťažená v rokoch 1991 až 1993, čo viedlo k 41% opätovnému využitiu pôdy a 56% odpadu bolo využité ako palivo. Niekoľko prípadových štúdií bolo aj na skládkach v Barre (Massachusetts), Bethlehem (New Hampshire) a Edinburgh (New York). V Nemecku boli prvé skúsenosti s LM na skládke Burghot. V Taliansku sa pokusne ťažila skládka na Sardínii v roku 1994. V tom istom roku sa ťažila aj 10 rokov stará časť skládky Filborna vo Švédsku. Skutočný záujem o LM však nastal až koncom 90. rokov minulého storočia a najmä posledné desaťročie zažíva táto problematika svoj boom. Stačí spomenúť skládky ako Remo v Belgicku či Hechingen v Nemecku. Len v období 2010-2012 sa uskutočnilo šesť medzinárodných konferencií na túto tému a bolo publikované viac ako 50 článkov, samotný google označí 52 000 výsledkov pri hľadaní tohto termínu. Ťažbu skládok (LM) definoval Krook et al [4] ako „proces extrakcie materiálov alebo iných pevných zložiek zo skládky, kde boli predtým uložené ako odpad“. Avšak ako ďalej poukazuje, ťažba skládok je primárne vnímaná ako spôsob na riešenie tradičných problémov pri odpadovom hospodárstve orientovanom na skládkovanie: nedostatok skládkového priestoru a lokálne obavy zo znečistenia prostredia. Hoci sa občas objavujú aj iniciatívy na opakovanú recykláciu skládkovaného materiálu alebo aj nejaké energetické využitie odpadu, sú tieto ciele až sekundárne.

Podľa Jonesa [5] svet dnes čelí bezprecedentným problémom v oblasti životného prostredia a nedostatku zdrojov. Preto je nevyhnutný prechod na efektívne využívanie jestvujúcich surovín a tiež je nevyhnutnosťou tzv. „low-carbon“ kruhová ekonomika. Európska Komisia vo svojom Pláne pre Európu na efektívne využívanie zdrojov si dáva do roku 2020 nasledujúce ciele: „právne predpisy o odpadoch sa v plnej miere dodržiavajú, nelegálna preprava odpadu bola odstránená, energetické využitie je obmedzené na nerecyklovateľný materiál, skládkovanie prakticky už viac neexistuje a je zaistená vysoko kvalitná recyklácia“ [6]. Paradoxne s touto predstavou legislatívcov môžeme v nedávnom príspevku popredných odborníkov na odpady (Beaven et al. [7]) nájsť vetu: „skládky budeme potrebovať aj do budúcnosti pre okolo 10-20% našich komunálnych, priemyselných, nie-nebezpečných odpadov, predovšetkým zvyškov z ich spracovania.“

V rámci novej surovínovej politiky EU a koncepcie tzv. circular economy došlo aj v oblasti skládkovania k prehodnocovaniu niektorých termínov a pojmov. V súčasnosti v rámci tzv. enhanced waste management je pojem skládky ako konečného úložiska pomaly nahradzovaný myšlienkou dočasného úložiska (temporary storage), ktoré čaká na svoje využitie a spracovanie. Podľa Hoekstry [8] je dočasné úložisko definované ako: „environmentálne a technologicky bezpečný skladovací priestor, ktorý už v súčasnosti umožňuje in-situ využitie materiálov a energie z uložených odpadov, pričom aj do budúcnosti zabezpečí ľahký prístup k týmto zdrojom v prípade akejkoľvek potreby.“

3 Environmentálne prínosy a riziká

Ako už bolo v predošlej časti spomenuté, medzi tri hlavné dôvody ťažby skládok sú uvádzané nasledujúce skutočnosti:

- dodatočné materiálové alebo energetické využitie z už skládkovaného odpadu,

- zníženie alebo vylúčenie rizika šírenia znečistenia zo skládky (voda, pôda, ovzdušie),
- získanie ďalšieho priestoru na skládkovanie alebo iné urbanistické účely.

Je veľmi pravdepodobné, že v prípade ťažby skládok pre materiálovú recykláciu bude základným predpokladom ekonomická udržateľnosť projektu a dopyt po konkrétnych recyklátoch. Najmä pri starších priemyselných skládkach by sa mohlo jednať o kovy (železo, hliník, meď) alebo o tzv. stopové a vzácne prvky. Pri energetickom zhodnotení LM bude zrejme zaujímavý predovšetkým obsah vysoko kalorických plastov v skládke a tiež dopyt po vyrobenej energii. Tu ale bude zrejme problém s neznámym obsahom a potenciálnym rizikom z toho plynúcim. Až pomerne v nedávnom období začala legislatíva vyžadovať evidenciu ukladania odpadov do skládky a podrobnú topografiu telesa. Ťažba skládok, ako každá priemyselná činnosť prináša však so sebou aj negatívne účinky na okolie. Riziká spojené s LM sú predovšetkým spojené s únikom neznámych nebezpečných látok počas ťažby a tiež s emisiami priesakových vôd a skládkového plynu. Samotná ťažba skládok je pritom technologický bežný postup, známy napríklad z banskej činnosti resp. procesov úpravníctva. Preto je posúdenie vplyvov na životné prostredie nevyhnutnou súčasťou tohto procesu. Relatívne jasné a jednoznačné environmentálne prínosy z LM sa musia posúdiť v širšom kontexte tejto činnosti a komplexne tak zhodnotiť nielen miestne pozitívne vplyvy, ale tiež účinky off-site. Okrem vplyvu hluku, zápachu, prašnosti a únikoch skládkového plynu počas ťažby skládky je potrebné aj pripočítať externality z dopravy a následného spracovania (materiálového a najmä energetického) vyťažených odpadov. Najmä v prípade starších a opustených skládok so špecifickým odpadom (odkaliska, banské odpady a pod.) boli zaznamenané prípady výskytu vzácnej fauny a flóry, dokonca aj z červeného zoznamu. Dodatočná ťažba by mala v takomto prípade jednoznačné negatívny vplyv na biodiverzitu a nemožno ju chápať ako prínos pre životné prostredie. Podobne pre isté špecifické druhy bioodpadov s dlhou dobou degradácie (drevo, kôra) je veľmi diskutabilné, či z hľadiska uhlíkovej stopy je výhodnejšie okamžité energetické spracovanie spojené s nárastom produkcie CO₂, alebo naopak práve ponechanie alebo uloženie do skládok (carbon storage).

Pre skládkovanie klasických komunálnych odpadov ale zrejme platí opačný prístup. Ako je vidno z obrázku č. 1, náklady ako rozhodujúci ekonomický faktor sú priamo úmerne času potrebnému na následnú starostlivosť o skládku. A tento čas je v zmysle známej rovnice rozkladu biohmoty úmerný kinetike prvého rádu:

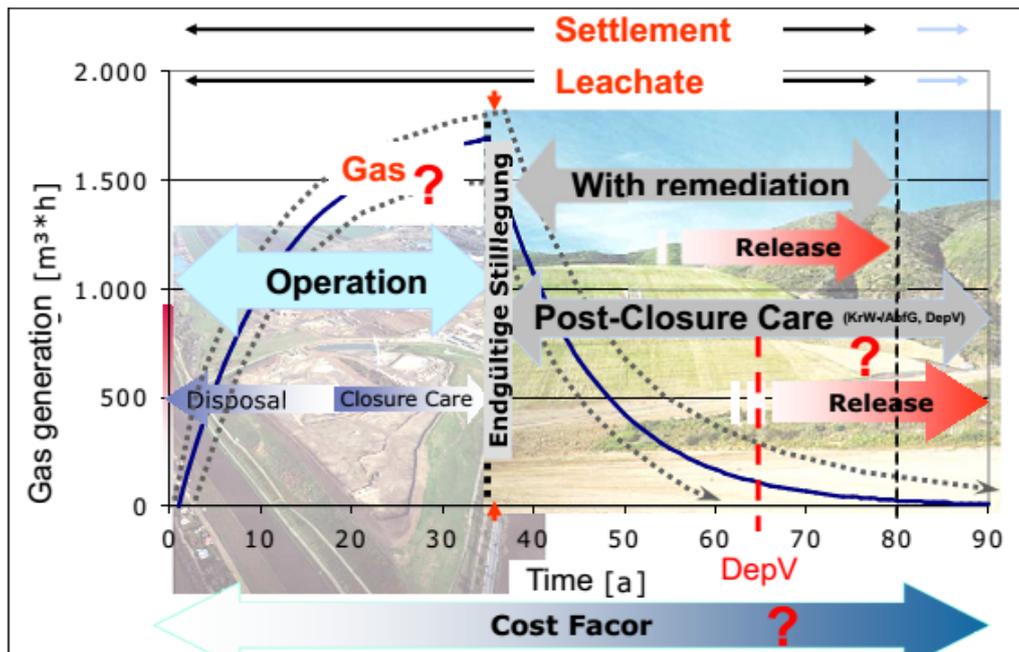
$$C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$$

kde k je konštanta rozkladu (0,0269 rok⁻¹) a C_0 predstavuje obsah TOC v komunálnom odpade uloženom na skládku a t je doba od začiatku skládkovania. O tom, že prirodzený rozklad organickej hmoty v skládke je často veľmi pomalý priniesol zaujímavý dôkaz Quaghebeur [9] pri výskume na skládke Remo v Belgicku. Obsah organického uhlíka (TOC) vo vzorkách komunálneho odpadu starého 10 až 30 rokov poukazuje na veľmi pomalú prirodzenú biodegradáciu. Hraničná hodnota 5% TOC pre stabilizovaný MSW by sa v tomto prípade dosiahla až po viac ako 55 rokoch.

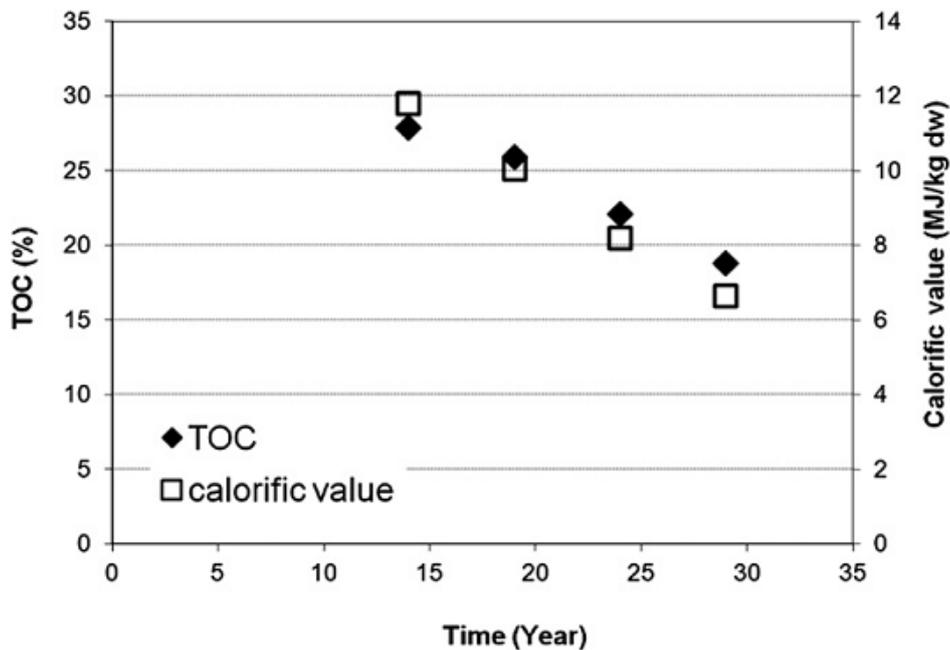
Ak chceme znížiť celkové náklady na následnú starostlivosť o skládku, potrebujeme skrátiť dobu produkcie emisií (LFG) napríklad riadenou aeráciou skládky, ako na to poukazujú napr. Heyer - Stegmann [11]. Vo väčšine krajín nie je presne definovaný čas tejto následnej starostlivosti o bývalú skládku. Európska smernica hovorí, že „tak dlho, ako to bude potrebné“, slovenská legislatíva stanovuje minimálne 30 a maximálne 50 rokov. Úspešný projekt LM tak vlastne odstráni potenciálne riziko budúcich havárií a ukončí takéto dlhodobé finančné zaťaženie na následnú starostlivosť a monitoring.

4 Legislatívne predpoklady

Napriek relatívne pozitívnym záverom z environmentálneho prínosu LM, bude potrebné v blízkej budúcnosti ešte prekonať veľa uvne-technických bariér. Jednou z rozhodujúcich je



Obrázek 1: Procesy spojené s prevádzkou skládky a jej uzavretím (podľa [10])



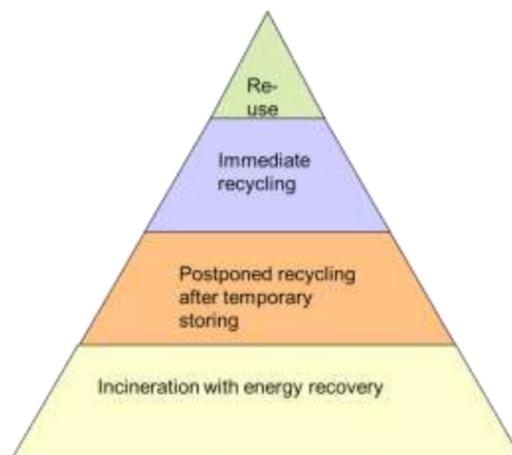
Obrázek 2: Vzťah medzi TOC uloženého odpadu a dobou skládkovania MSW, [9]

aj legislatívny proces. Vzhľadom na novosť a špecifickosť termínu landfill mining je logicky legislatívna podpora ešte pomerne minimálna. Vo väčšine krajín sa s týmto termínom priamo v zákonných dokumentoch ešte nestretáme. Ojedinele - napr. v Spojených štátoch už US EPA spracovala nejaké predpisy, ktoré sa týkajú vlastnej ťažby, spracovania odpadov ako aj súvisiacich vplyvov na životné prostredie. Naopak v Spojenom Kráľovstve zatiaľ nie sú vypracované žiadne regulačné opatrenia pre LM. Environmentálna Agentúra vydala usmernenie, že ťažba odpadu z bývalej skládky nie je regulovanou činnosťou, nakoľko skládka už nemá aktívne povolenie [12].

Wante a Umans [13] a tiež Hogland [2] študovali pojem LF v súvislosti s platnými dokumentmi európskeho waste managementu - rámcovú smernicu o odpadoch (2008/98/ES) a smernicu o skládkovaní (1999/31/ES). Dospeli k názoru, že ťažba prevádzkovaných skládok ako aj dočasné skládkovanie nie je týmito dokumentmi riešené. Podľa ich rozboru v skutočnosti rámcová smernica o odpadoch považuje za „dočasné skladovanie“ len dočasné uloženie odpadu na účely prepravy alebo predbežné skladovanie pred využitím (kód R13). V tomto prípade skladovania by celková doba mala byť obmedzená len na tri roky podľa smernice EÚ o skládkach. Z toho vyplýva, že ak sa pri skladovaní prekročí doba troch rokov, je potrebné považovať toto miesto za skládku a metódu za zneškodnenie odpadov. Preto Wante a Umans došli k záveru, že bude potrebné rozvíjať špecializovaný právny rámec pre dočasné skládky. Z nášho subjektívneho pohľadu však upozorňujeme na presnú definíciu skládky v článku 2 písm. g smernice o skládkach (1999/31/ES), ktorá znie: „Skládka znamená miesto na ukladanie odpadu na alebo do pôdy (tzn. pod zem), vrátane trvalých miest (tzn. dlhšie ako jeden rok), ktoré sa používajú na dočasné ukladanie odpadu.“ Apriori „myšlienka smernice“ teda nevyklučuje, že aj na skládke je odpad uložený len dočasne, teda nie „navždy“.

Z tohto pohľadu sa zdá byť ťažba starých a ukončených skládok z právneho hľadiska menej problematická. Wante a Umans tvrdia, že aj keď doposiaľ neboli oficiálne stanovené postupy pre tento druh činnosti (BAT), neexistujú žiadne konkrétne prekážky v rámcovej smernici o odpadoch, ktoré by členským štátom bránili vykonávať túto činnosť. Avšak opätovne odporúčajú, aby bol v rámci EU27 vypracovaný konkrétny postup, ktorý môže byť použitý ako právny základ pre udeľovanie povolení v oblasti životného prostredia.

Na druhej strane, ako sa uvádza v úvode nedávno zverejneného dokumentu ISWA [12] k landfill mining: „Je to činnosť jedinečná pre každú krajinu či región. Neexistujú žiadne konkrétne pravidlá, či má byť LM vykonaný alebo nie. Dôvody pre ťažbu skládky sú vždy špecifické miestne podmienky, ktoré v každom konkrétnom prípade rozhodnú o ťažbe. Už z tohto dôvodu to nemôže byť bežne praktizujúca činnosť s nejakým univerzálnym a všeobecným technickým predpisom...“ V tejto súvislosti je potrebné poznamenať, že všeobecne známy „Lansink rebrík“ t.j. hierarchia nakladania s odpadmi ako ju poznáme zo smernice 2008/98/ES už tiež bola nedávno modifikovaná. Nasledujúci obrázok 3 (Hoekstra, [8]) poukazuje na nové ponímanie hierarchie. Táto rozšírená verzia už úplne vypúšťa skládkovanie odpadov a zavádza akúsi „dodatočnú“ recykláciu odpadov z dočasných skládok. Je ale otázne, či sa tieto novátorské myšlienky z nedávno konaného akademického sympózia „Enhanced Landfill Mining“ (X.2013) v Belgicku presadia aj v oficiálnej odpadovej legislatíve EU.



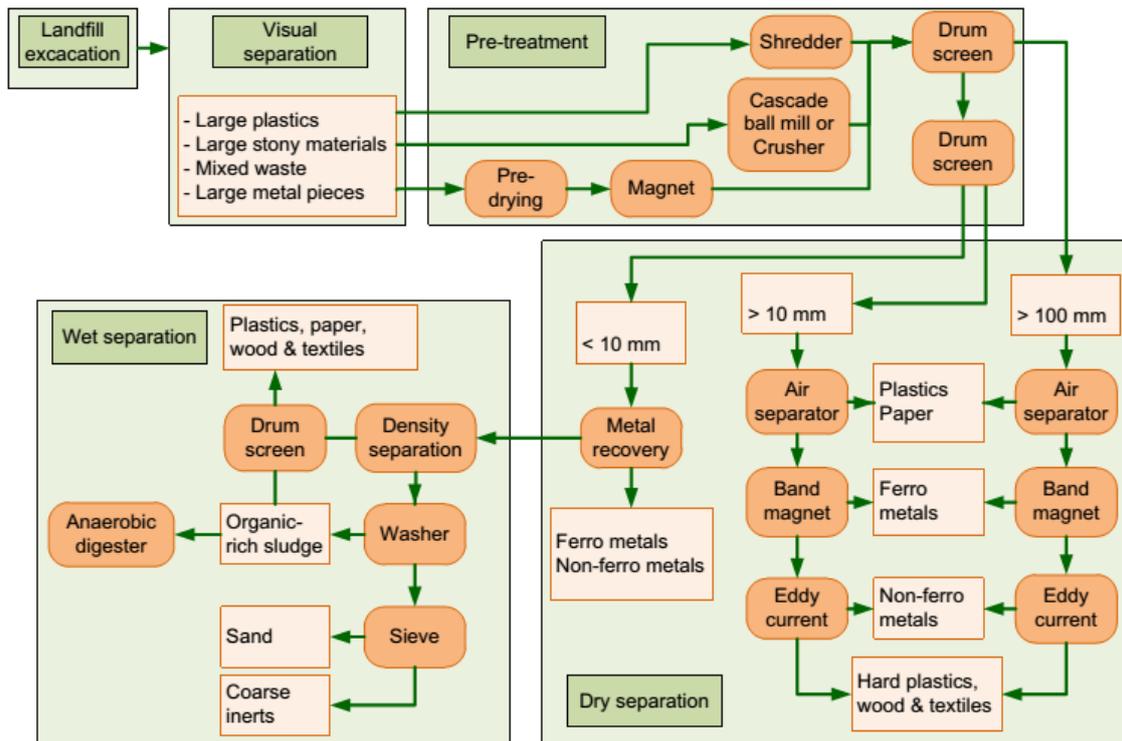
Obrázok 3: Hierarchia nakladania s odpadmi.

5 Technologické možnosti

Vlastné ťažobné postupy pri LM sa v podstate príliš nelíšia od bežných povrchových banských prác. Podľa Jonesa [5] ich vo všeobecnosti možno rozdeliť do dvoch hlavných skupín.

Prvá skupina predstavuje podľa tohto autora IN-SITU technológie, ktoré zahŕňajú predovšetkým tzv. „rekuperáciu“ materiálov zo skládky bez fyzického odťaženia odpadu. V tomto ponímaní sa jedna predovšetkým o odsávanie skládkového plynu resp. aeróbnu aeráciu odpadu vháňaním vzdušného kyslíka do skládky a/alebo zachytávanie a čistenie priesakových alebo podzemných vôd zo skládky. Tu je potrebné upozorniť, že v legislatívnom ponímaní na Slovensku sa tieto činnosti pre staré a opustené skládky chápu ako sanácia starých environmentálnych záťaží a kompetenčne spadajú pod zákon o starých záťažach (409/2011 Z.z.) a nie pod odpadovú legislatívu (223/2001 Z.z.). Naopak, pre jestvujúce skládky, ktoré majú povolenie podľa zákona o IPKZ (39/2013 Z.z.) sa jedná o technologické činnosti, nevyhnutne spojené s bežnou prevádzkou skládky. V tomto kontexte slovenskej legislatívy takéto činnosti in-situ teda osobne nepovažujeme za „landfill mining“.

Druhá skupina predstavuje EX-SITU technológie, kedy dochádza aj k fyzickej ťažbe odpadu v bývalej skládke a jeho premiestneniu či spracovaniu. Jednotlivé technologické postupy spôsobu ťažby sú potom závislé na konkrétnych a špecifických podmienkach každej lokality ako aj hlavného účelu LM. Základom pre detailné plánovanie postupov ťažby je poznanie obsahu skládky, čo pre nové skládky (cca od roku 2009) už nebýva problémom. Ale pre absolútnu väčšinu starších skládok chýbajú akékoľvek podrobné poznatky o zložení uloženého odpadu. Grafická schéma technologického postupu je uvedená na obrázku č. 4.



Obrázek 4: Grafická schéma technologického postupu.

Jednotlivé kroky možno rozdeliť na nasledujúce časti:

1. Prieskumné práce, ktoré predstavujú často klasický IG a HG prieskum resp. prieskum starých environmentálnych záťaží. Osobitne u skládok s komunálnym odpadom je potrebné poznať produkciu skládkového plynu.

2. Vlastná ťažba odpadu spočíva v postupnom odťažení celého skládkovaného odpadu bežnou banskou technikou a strojmi.
3. Spracovanie odpadu sa často vykonáva priamo na mieste - triedenie alebo aj drvenie, prípadne sušenie alebo ďalšie technologické postupy (lisovanie, magnetická separácia atď.).
4. Rekultivácia územia nasleduje po totálnom odťažení odpadu a príprave územia pre ďalšie urbanistické využitie. V špecifických prípadoch môže vyžadovať aj sanáciu podzemných vôd resp. okolitých pôd.
5. Následný monitoring môže byť špecifikovaný ako súčasť cieľového stavu. V prípade úplného odťaženia a dostatočných poznatkov o doterajších vplyvoch na okolie skládky bude ukončený v závere prác.

Samotná ťažba skládok zahŕňa zemné práce a spracovanie tuhého odpadu zo skládky. Využívajú sa pritom rôzne typy banských strojov, ako sú bagre a čelné nakladače. Preto je potrebné, ako pri každej práci, ktorá sa týka ťažkých strojov a nebezpečných látok, aby boli prijaté prísne bezpečnostné opatrenia. Vzhľadom na špecifickosť týchto prác totiž môže ľahko dôjsť k rôznym nehodám a tiež sa ťažbou opätovne zvyšuje riziko kontaminácie okolia. Preto pri práci na každom pracovisku je potrebné zabezpečiť riadne preškolenie, aby všetci pracovníci pochopili, ako fungujú jednotlivé stroje a čo robiť pri mimoriadnych udalostiach. Pred vstupom na pracovisko alebo pri práci s určitým zariadením musí byť vypracovaný podrobný technologický postup ako aj havarijný plán, čo robiť v prípade mimoriadnych udalostí. Pracovníci musia tiež byť preškolení o význame osobných ochranných prostriedkov pre rôzne situácie a ich vhodnom použití. Práca na skládkach s komunálnym odpadom vystavuje pracovníkov expozíciám nebezpečnými látkami, ktoré by mohli kontaminovať kožu a šíriť ochorenie alebo infekciu. Správne oblečenie by sa malo vzťahovať na ochranu pokožky natoľko, aby nedochádzalo k jej nadmernému odhaleniu, ale malo by tiež umožňovať pracovníkom voľný pohyb a a dýchanie. Najmä pri ťažbe špecifických odpadov s vysokou prašnosťou a tiež starých komunálnych odpadov je potrebné vybaviť pracovníkov ochrannými maskami. Banské zariadenia pri svojej práci produkujú často zvýšenú hladinu hluku, ochrana sluchu pracovníkov je preto nevyhnutná a je nutné chrániť uši a znížiť riziko poškodenia sluchu. Doplnková bezpečnostná výbava zahŕňa prilby, topánky s oceľovou špičkou, reflexné odevy, kožené rukavice a ochranné okuliare. Osobitne je potrebné upozorniť na požiar na skládke. Ťažba, pohyb strojov, iskrenie, elektrické zariadenia na pozemku vytvárajú nové nebezpečenstvo pre vznik náhodného požiaru na skládke alebo výbuchu skládkového plynu. Pracovníci musia byť preškolení, aby chápali požiarne bezpečnosť a prevenciu. Minimalizácia rizika znamená byť schopný rozpoznať potenciálne požiarne riziká a zabrániť ich výskytu. Pracovníci musia vedieť, ako reagovať v prípade výskytu požiaru a ktoré hasiace prostriedky použiť. Umiestnenie hasiacich prístrojov a dostatočnej zásoby vhodných hasiacich materiálov priamo na skládke je nevyhnutným predpokladom na zahájenie ťažby skládky.

6 Ekonomické súvislosti

Z predošlých kapitol je teda zrejmé, že ťažba skládok je technologický zvládnuteľná súčasnými prostriedkami a environmentálne pozitívna činnosť (s výnimkou špecifických prípadov). Treťou prekážkou v jej širšom rozšírení je ekonomická návratnosť tejto činnosti. V súlade so závermi Krook et al [4] ekonomické výhody LM jednoducho musia prevážiť nad nákladmi, aby sa ťažba skládok mohla širšie uplatniť. V súčasnej dobe sa zdá, že ešte nenastal ten čas. Preto niektorí odborníci (Van Passel et al, Van Acker et al, Krook et al) volajú po širšej vládnej podpore a ekonomických stimuloch. Existencia vonkajších výhod LM podľa nich totiž znižuje celkovú globálnu stopu, rekultivácia navracia územie k novému urbanistickému využitiu, recyklácia odťažených

odpadov znižuje využívanie primárnych surovín, energetické využitie je zaradzované medzi energiu z obnoviteľných zdrojov a toto všetko zdôvodňuje návrh podporných finančných mechanizmov pre landfill mining.

Z pohľadu súkromného sektoru, ktorý vidí v LM klasickú trhovú príležitosť pre svoje aktivity je ekonomická stratégia jasná. Alebo bude LF tvoriť príjem a výsledný zisk z materiálového a energetického využitia odťaženého odpadu, alebo zníži dodatočné výdavky na následnú starostlivosť skládky po jej uzavretí. V súčasnosti sme svedkami toho, že niektoré klasické odpadové spoločnosti po ukončení prevádzky (najmä u veľkých skládok) ju komplexne predajú inej obchodnej spoločnosti, ktorá preberá celkovú zodpovednosť o následnú starostlivosť po dobu 30-50 rokov. Práve tieto špeciálne spoločnosti môžu mať výrazný záujem na LM, nakoľko rozhodujúcim faktorom bude predovšetkým ekonomický pohľad, t.j. „výška environmentálneho dlhu“, ktorý musia po celú dobu následnej starostlivosti splácať z účelovej finančnej rezervy, vytvorenej počas skládkovania. Akékoľvek využitie bývalej skládky - materiálne, surovinové, energetické či územné je preto vítanou príležitosťou na zníženie týchto nákladov.

Výdavky na projekty LF sú už vďaka niektorým akciám známe, aj keď dosť rozdielne a často špecifické. Je ale zrejme, že sa jedná o dlhodobé investície, u ktorých nie je možné počítať s krátkou dobou návratnosti. Náklady na vlastnú ťažbu odpadu, jeho prepravu, spracovanie a konečnú rekultiváciu územia vrátane priebežnej kontroly a monitoringu v oblasti životného prostredia sú pomerne vysoké a často nepredvídateľné. Výnosy z LM potom budú závisieť na obsahu skládky a potenciálnom využití. Zloženie odpadu je často neisté a v prípade historických skládok s vysokým rizikom kontaminácie neznámymi látkami. Nakoniec aj u klasických skládok komunálneho odpadu môže vplyvom nedostatočného rozkladu biohmoty dochádzať k ťažkostiam pri samotnej ťažbe ako aj využití takéhoto nestabilizovaného odpadu. Podobne to platí aj pri plánovanom energetickom využití, kedy neisté zloženie odpadu môže mať fatálny vplyv na výslednú výhrevnosť.

Ako už bolo spomenuté v kapitole 3, ťažba skládok nie je výslovne upravená v súčasnej legislatíve. Práve v súvislosti s návrhmi na pripravované legislatívne zmeny sa objavujú aj argumenty, že je potrebné prijať osobitný príspevok na prevádzku LM, aby sa viac motivovalo k efektívnemu využívaniu zdrojov a rekultivácii pôdy. Jedným z týchto argumentov je úloha skládkovej dane. Jedná sa o daň, ktorá sa platí za odpad zneškodňovaný na skládkach. Ako sme už uviedli v našom príspevku o tejto dani v EU, jej využívanie je v krajinách EU27 rôzne - časť ju prerozdeľuje obciam, na území ktorých leží skládka, časť ju používa priamo na rôzne projekty odpadového hospodárstva, ale v niektorých krajinách (Dánsko, Holandsko, Nórsko, Švédsko) je bežným príjmom štátneho rozpočtu spolu s ostatnými daňami. ISWA [12] napr. vo svojom príspevku nastoľuje zaujímavú otázku, či by totiž v prípade odťaženia skládky „do zelenej lúky“, bola táto daň vrátená? To by mohol byť ďalší tok príjmov, ktorý by pomohol vyrovnáť náklady na LM a naštartoval širšie využívanie tohto procesu. Samozrejme to hneď narazí na určité rozpaky z environmentálneho chápania tejto dane. Skládková daň mala predovšetkým zaťažiť producentov odpadov k presmerovaniu odpadu zo skládok na iné využitie. Na druhej strane existujú už aj v súčasnosti určité krajiny, kde skládková daň prednostne slúži na sanáciu starých environmentálnych záťaží a je priamo z nej financovaná (Švajčiarsko a Rakúsko). Je teda celkom reálne si predstaviť model, kedy by časť skládkovej dane (tzv. environmentálna prirážka) mohla slúžiť ako dotácia pre budúce projekty ťažby skládok. Najmä v tých prípadoch, kedy environmentálne riziká vysoko prevažujú nad potenciálnymi ekonomickými prínosmi z ťažby konkrétnej skládky.

V rámci ekonomických súvislostí s prevádzkou skládok komunálnych odpadov na Slovensku (a zrejme aj v ČR) existuje najmä v radách samospráv určitá naivita. Málokto z prevádzkovateľov tzv. mestských či obecných skládok si pripúšťa skutočnosť, že náklady na uzavretie, rekultiváciu a následnú starostlivosť bývalej skládky niekedy prevyšujú náklady na výstavbu novej skládky, alebo sú porovnateľné. Ale zatiaľ čo úver na výstavbu je možné financovať z budúcich príjmov za uloženie odpadov, výška účelovej finančnej rezervy vytváraná počas prevádzky

skládky často nepostačuje ani na biologickú rekultiváciu. V tejto súvislosti je preto zaujímavá tabuľka, ktorú priniesla Ustohalová [10], kde porovnáva náklady na bežné uzavretie, rekultiváciu a následnú starostlivosť o klasickú skládku komunálnych odpadov. V druhej časti sú potom náklady na ťažbu skládky, pričom nie sú ale započítané prípadné príjmy z využitého materiálu či energie. Už z tohto porovnania je zrejme, že vhodne nastavené projekty LM môžu byť ekonomický samofinancovateľné a dokonca aj ziskové.

Costs related to the total landfill volume	
Measure	Costs in (€/m ³)
Without in situ stabilization, minimum period 30 years	9 – 22* ¹⁾
Without in situ stabilization, minimum period 40 - 70 years	12 – 27* ¹⁾
With in situ stabilization, minimum period 30 years	7 – 19* ¹⁾
With in situ stabilization, minimum period 40 - 70 years	9 – 25* ¹⁾
Costs for landfill excavation	from 10** ²⁾
Additional disposal costs	from 20 ²⁾
Total costs including the site specific costs (currently evaluated projects)	from 40 ²⁾

Obrázek 5: Porovnanie nákladov na uzavretie skládky a nákladov na odťaženie skládky (Ustohalová, V. 2013).

Podobne zaujímavú analýzu priniesol pred časom Van Passel [14], kde porovnáva LCA analýzou výhody LM pre skládky na území Flámska. Z jeho ekonomickej analýzy vyplýva, že výnosy sú už teraz o niečo vyššie ako náklady, pričom percentuálne najväčší podiel (76%) tvorí príjem za energiu z odťažených odpadov, výrazne menej potom tvorí príjem za recyklovaný materiál (12%) a hodnota spätne získaných pozemkov (10%).

7 Záver

V našom príspevku sme v stručnosti poukázali na historické, terminologické, environmentálne, ekonomické ako aj technologické súvislosti spojené s termínom landfill mining - ťažba skládok. Rozsah príspevku nedovoľuje hlbšie rozobrať niektoré konkrétne výsledky z už ukončených alebo prebiehajúcich akcií vo svete. Z prezentovaných odborných príspevkov sa ako najväčší problém javí absencia jasného legislatívneho rámca v rámci EU27 pre túto činnosť nakladania s odpadmi. Ekonomické súvislosti sú druhým problémom, ktorý zatiaľ brzdí masovejšie rozšírenie tejto technológie. V súvislosti s legislatívnou úpravou na úrovni EK však možno očakávať, že sa bude riešiť aj určitá forma finančnej podpory resp. presmerovania časti skládkovej dane. Technologické otázky LM sú už dostupnou banskou, úpravníckou a odpadárskou technikou bežne zvládnuteľné. Vo viacerých krajinách najmä starej EU15 existuje aj dostatočná kapacita zariadení MBU či WtE na spracovanie a využitie odpadov z jestvujúcich a najmä ukončených skládok. S rastúcim dopytom po surovinách a energií bude zrejme aj táto zatiaľ ešte netradičná „banícka technológia“ stále viac preferovaná.

Literatura

- [1] M. Mazzanti a R. Zoboli. Waste generation, Incineration and Landfill Diversion, 2008.
- [2] W. Hogland, M. Hogland, a M. Marques. Enhanced landfill mining: material recovery, energy utilization and economics in the EU (Directive) perspective. In: Proceedings International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining., pp. 233-247, 2011.
- [3] J. Kurian a kol. Studies on landfill mining at solid waste dumpsites in India, 2003.
- [4] J. Krook, N. Svensson, a M. Eklund. Landfill mining: a critical review of two decades of research. Waste Management 32, 513-520, 2012.
- [5] P. T. Jones a kol. Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review, 2012.
- [6] EK. Plán pre Európu efektívne využívajúcu zdroje, KOM/2011/0571, 2011.
- [7] R. P. Beaven a kol. A new economic instrument for financing accelerated landfill aftercare. Waste Management 34, Issue 7, 1191-1198, 2014.
- [8] N. K. Hoekstra. Temporary storage: a catalyst to enable landfill mining, 2013.
- [9] M. Quaghebeur a kol. Characterization of landfilled materials: screening of the enhanced landfill mining potential, 2012.
- [10] V. Ustohalova a kol. Landfill Mining – Fiction or Option ?, 2013.
- [11] K. U. Hayer a R. Stegmann. Ventilace skládky jako opatření na ochranu klimatu a pro kvalitativně vyšší následné využití, 2013.
- [12] ISWA. Landfill Mining - key issue paper, 2013.
- [13] J. Wante a L. Umans. A European legal framework for enhanced waste management. In: Proceedings International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining. Houthalen-Helchteren, pp. 53-64, 2011.
- [14] S. Van Passel a kol. Exploring the socio-economics of Enhanced Landfill Mining, 2010.
- [15] M. Hrabčák. Komunálne odpady a hospodársky rast, 2011.
- [16] M. Hrabčák. Skládková daň v krajinách EU, 2013.

Odtěžování skládek – postupy technické realizace

Deponierückbau – Verfahrenstechnische Umsetzung

Jürgen I. Schoenherr¹, Uwe Bartholomäus²

Abstrakt

Moderní odpadové hospodářství je založeno na nákladové a ekologicky efektivní evidenci, poskytování surovin, jejich sběru, přepravy, skladování a manipulaci, jakož i na recyklaci cenných materiálů obsažených v odpadu. Z tohoto procesu vzniklý zbytkový odpad je dále již nepoužitelný a odváží se k odstranění na zvláštní skládky. Kvalita tohoto zbytkového odpadu obecně a množství a kvalita v něm obsažených zbývajících látek je velmi variabilní a závisí na mnoha faktorech, jako jsou politické a ekonomické poměry, ale především neustále se vyvíjející stav techniky. V době silně rostoucích cen surovin a jejich nedostatku, jakož i rostoucí úrovně techniky, se z pochopitelných důvodů rozhoduje v rámci likvidace skládek o využití starých depotů, vyznačujících se vysokými, částečně již odkrytými zásobami surovin na označených skládkách, a v souvislosti s tím se uvažuje o pojmu skládky jako takovém a je chápán spíše jako dočasné překladiště. S ohledem na komplexnost uložených látek obsažených ve starých skládkách, jakož i na jejich extrémní nehomogenitu a s ohledem na od depozice probíhající procesy rozkladu, resp. přeměny, je při likvidaci skládky na konkrétním místě doporučitelný jediný vhodný postup. Přitom se stejnou měrou uplatňuje speciální příprava skládky, vhodná výtěžnost surovin a specifická úprava hald, jakož i provedení procesního oddělení recyklovatelných surovin. Technologie zpracování musí tím splňovat nejvyšší procesní nároky.

Kurzfassung

Die moderne Abfallwirtschaft basiert auf einer kostengünstigen und ökologisch effektiven Erfassung, Bereitstellung, Einsammlung, Transport, Zwischenlagerung und Umschlag sowie Recycling der im Abfall enthaltenen Wertstoffe. Die dabei verbleibenden und nicht weiter verwertbaren Abfallreste werden zu ihrer Beseitigung auf spezielle Deponien verbracht. Die Qualität dieser Restabfälle im Allgemeinen und die Quantität und Qualität der darin noch verbliebenen Schad- und Wertstoffreste ist stark schwankend und von vielen Einflüssen abhängig. In Zeiten stark steigender Rohstoffpreise und einer Energie- und Rohstoffverknappung sowie einem gestiegenen Stand des Wissens und der Technik wird aus verständlichem Grund somit auch die Nutzung alter, durch einen hohen teilweise bereits aufgeschlossenen Wertstoffvorrat gekennzeichnete Deponien im Rahmen des Rückbaus von Deponien mit ins Auge gefasst. Unter Beachtung der Komplexität der in Altdeponien abgelagerten Stoffe sowie ihrer extremen Inhomogenität und der seit der Ablagerung ablaufenden Abbau- bzw. Umsetzungsprozesse ist nur eine, an den konkreten Deponiestandort angepasste Vorgehensweise beim Deponierückbau ratsam. Dabei gilt es gleichermaßen sowohl eine spezielle Vorbereitung des Deponiekörpers, als auch ein geeigneter Deponiegutabbau und die Aufbereitung des Deponats umzusetzen. Die notwendigen Prozesse, Anlagentechnik und Technologien haben damit

¹Hochschule Zittau/Görlitz-University of Applied Sciences, Th.-Körner-Allee 16, D-02763, j.schoenherr@hszg.de

²Hochschule Zittau/Görlitz-University of Applied Sciences, Th.-Körner-Allee 16, D-02763

höchsten verfahrenstechnischen Ansprüchen zu entsprechen. Unter Beachtung der vorliegenden langjährigen Erfahrungen aus den Bereichen der Grundstoff- und Recyclingindustrie ist dies mit hohem Erfolg auch leistbar.

1 Einleitung

Deponien sind ein wesentlicher Bestandteil der Abfallwirtschaft und werden als das Endglied einer modernen Abfallwirtschaft verstanden. In diesem Sinnen ist das Deponieren von restlichen und zum aktuellen Zeitpunkt, d.h. zu dem aktuellen Stand des Wissens und der Technik, nicht weiter recycelbaren Abfällen auch immer als notwendig und unabdingbar zu betrachten. In der aus der Europäischen Direktive in deutsches Recht übertragenen (Bearbeitungs-)Hierarchie für Abfälle, ist das Deponieren von restlichen Abfällen als letzter Punkt neben der Abfallvermeidung, der Wieder- und Weiterverwendung und -verwertung und dem stofflichen Recycling sowie dem sonstigen bzw. energetischen Recycling benannt [1]. Die Vorbehandlung der Abfälle ist im Deponieren mit integriert. Dabei bleibt unberührt, dass die Quantität und Qualität der deponierten Abfälle je nach den aktuellen Rahmenbedingungen variieren und ebenso auch die langzeit-sicherheitstechnischen Anforderungen an eine Deponie unterschiedlich sind.

In diesem Sinnen sind auch gesamtgesellschaftliche Interessen zu akzeptieren die je nach Stand des aktuellen Wissens und der Technik sowie weiterer, z.B. politischer und marktrelevanter aber auch umweltbedingter Rahmenbedingungen, die weitere Verwertung der im Deponiekörper abgelagerten Wertstoffe und/oder die Sicherung von enthaltenen Schadstoffen zum Herstellen oder Erhalten der Langzeitsicherheit bedingen.

2 Deponierückbau

Unter dem Begriff „Deponierückbau“ („Landfill Mining“) werden im Allgemeinen alle Vorgänge zusammengefasst die mit der Planung und dem Herbeiführen der Betriebsgenehmigung, dem Aufbrechen und dem Vorbehandeln oder dem Vorbereiten des Deponiegutes oder Deponats, dem geeigneten Auskoffern und der Aufbereitung, d.h. dem Aufschluss und der Abtrennung von Wert-, Schad-, Stör- und Reststoffen sowie deren anteiligen Re-Deponieren verstanden.

Der Deponierückbau ist keine aktuelle Erfindung. Bereits 1953 wurden in Israel zur preiswerten Erzeugung und Verwenden von Bodenverbesserungsmaterial eine Hausmülldeponie zurück gebaut und aufbereitet [2]. Ab 1980 erfolgten in den USA der ersten Rückbaue von Deponien. Hier vornehmlich um Leckagen in das Grundwasser nachzubessern und damit Grundwassernutzungsproblemen sowie Folgekosten wirkungsvoll begegnen zu können [2]. Ab 1990 wurden in Österreich vielfache Untersuchungen an sog. „Modelledeponien zum Deponierückbau“ betrieben und hernach im Jahr 2011 vom Umweltbundesamt eine zusammenfassende Publikation hierzu, d.h. zur Wirtschaftlichkeit, Ressourcenpotential und zu der derzeit immer bedeutsamer werdenden Klimarelevanz erstellt [3]. Auch in Deutschland wurden ab 1993 verschiedene sog. Demonstrationsprojekte gestartet und der Deponierückbau bewertet [4].

Es ist klar, dass der Deponierückbau nur erfolgen kann, wenn analog den Grundanforderungen zur Umsetzung stofflicher Recycling- oder Verwertungsmaßnahmen

1. zeitgemäße und geeignete Technologien zur Vorbehandlung und Aufbereitung des Deponats verfügbar sind,
2. die Umsetzung aller dieser Rückbaumaßnahmen sowohl den ökonomischen als auch den ökologischen und den gesellschaftlich-planenden Anforderungen genügen oder mindestens zumutbar sind,
3. die aus der Deponiegutaufbereitung erzeugte (Schad- und Wert-)Produkt einen Markt, Marktwert oder Verwertungsanspruch besitzen und

4. die Maßnahmen gegenwärtige und/oder zukünftige fiskalische Belastungen für den Verantwortlichen der Deponie stoppen oder zumindest reduzieren.

Für einen attraktiven zeitgemäßen Deponierückbau lassen sich aus gegenwärtiger Sicht somit folgende Ziele zusammenfassend angeben [3, 4, 5, 6, 7]:

- Beseitigung von Problemen oder „Problemdeponien“ (Vermeidung von Sickerwasser- und Deponiegasleckagen, Beseitigung „Wilde Deponien“, ...)
- Vermeidung von Deponienachsorgekosten (Vermeidung von Kosten zur Kontrolle, Wartung, Notsicherung, ...)
- Stoffressourcenschonung (Nutzbarmachung von werkstofflichen, rohstofflichen und alternativen stofflichen Ressourcen, ...)
- Energieressourcenschonung (Nutzbarmachung von Energieträgern und alternativen Energieersatzstoffen, ...)
- Schaffung von aktuell langzeitsicheren „neuen“ Deponiekapazitäten (Deponievolumen für spezifische Ablagerungsabfälle, „Durchlaufdeponie“, ...)
- Schaffung neuer Flächen zur uneingeschränkten Nach- und Folgenutzung (Industriestandorte, private und gesellschaftliche Bauflächen, ...)
- Klimaschutz (Vermeidung von Deponiegasemissionen, Nutzung von Energieressourcen, Nutzung von Rohstoff und Werkstoffressourcen, ...)
- Sicherung sonstiger regional bezogener fallkonkreter Anforderungen

Die Umsetzungsziele für den Deponierückbau sind sehr vielgestaltig und in der Regel auch nur anhand des konkreten Standortes zu determinieren. Gleiches gilt sinngemäß auch für die Entscheidung zur kostendeckenden Umsetzung einer solchen Deponierückbaumaßnahme [3]. Damit stellt sich aber gleichzeitig auch die Frage, inwiefern die Deponie im Weiteren immer noch als letzter endgültiger Schritt der Abfallverwertung zu betrachten ist. Die laufenden Kostensteigerungen auf dem Stoff- und Produktmarkt, auf dem Rohstoff- und Energieversorgungssektor und die ständig weiter voranschreitenden Entwicklungen hinsichtlich neuer optimierter Rückbau-, Vorbehandlungs- und Aufbereitungsprozesse und –technologien sowie die zunehmenden Verschärfungen in den politischen, gesetzlichen sowie wissenschaftlich-analytischen und sicherheitstechnischen Anforderungen bedingen ohnehin ein ständiges Hinterfragen der „Deponierückbauwürdigkeit“ [6, 7, 8]. Vielleicht sollte man dann besser anstelle von einem langzeitsicheren Endlager bei den Deponien von einem „abfallwirtschaftlich notwendigen langzeit-sicheren Zwischenlager“ [6, 7] oder einem kontrollierten „Abfall-Umsetzungsreaktor“ mit nachlaufender Stoffverwertung oder einer direkt in die Abfallwirtschaft aktiv integrierten „Kreislaufwirtschafts-Deponie“ [4, 7, 8] sprechen und dies dann auch so in den einschlägigen Gesetzen und Regeln verankern [6].

Die Sinnfälligkeit des Deponierückbaus und dessen erreichter technischer Status kann an den erreichbaren Ausbringenswerten und der qualitativen Anreicherung der Wertprodukte abgeschätzt werden.

Die zu erwartenden Verwertungsquoten (Ausbringung) der Wertstoffen aus dem Deponiegut liegen hiernach mit Stand 2009 schätzungsweise bei [3, 28]:

- 85-95% für Böden und Bodenersatzstoffe
- 70-90% für Fe-Metalle und NE-Metalle in Summe
- 50-75% für Kunststoffe und andere Heizwertträger

Die zu erwartende Produktqualität (Anreichergrad) der Wertstoffe können mit Stand 2009 [3, 28] zu:

- 90-95% für Böden und Bodenersatzstoffe,
- 80-95% für Fe-Metalle und NE-Metalle in Summe und
- 70-90% für Kunststoffe und andere heizwertreichen Fraktionen

angegeben werden.

3 Abfallarten, Abfallmengen und Wertstoffe

Nach heutigen Gesichtspunkten, d.h. gemäß dem aktuellen Stand des Wissens und der Technik, den gesetzlichen Anforderungen, den Klimaschutzaktivitäten und der Marktpreisentwicklung für Rohstoffe, Energie und sonstige Wertstoffe erscheinen Hausmüll- und Baumischabfalldeponien mit einer minimalen Einlagerungskapazität von 50.000 m³ als besonders prädestiniert [3].

Als Zielgrößen oder Wertstoffe mit Marktpotenzial werden hier sowohl verschiedene metallhaltige Wertprodukte als auch Energieersatzstoffe und mineralische Produkte (s. Abb. 1) angesprochen [3, 4]. Die verwertbaren Wertstoffklassen sind hierbei gemäß den in Österreich betriebenen Deponien und eingelagerten Abfallarten im Zeitraum von 1998 bis 2007 angegeben.

metallhaltige Abfälle		Energierohstoffe		Ausgewählte Mineralien	
31 205	Leichtmetallkrätzen, aluminiumhaltig	17 101	Rinde	31 218	Elektroofenschlacke
31 217	Filterstäube, nichteisenmetallhaltig (Aluminium, Kupfer, Zink, Blei)	17 102	Schwarten und Spreißeis aus sauberem unbeschicht. Holz	31 219	Hochofenschlacke
31 223	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonstigen Schmelzprozessen	17 115	Spanplattenabfälle	31 220	Konverterschlacke („LD-Schlacke“)
31 614	Schlamm aus Eisenhütten	17 202	Bau- und Abbruchholz	31 305	Kohlenasche
31 615	Schlamm aus Stahlwalzwerken	18 718	Altpapier, Papier und Pappe, unbeschichtet	31 307	Kesselschlacke
31 616	Schlamm aus Gießereien	57 108	Polystyrol und Polystyrolschaum	31 315	REA-Gipse
31 626	Schlamm aus der Nichteisenmetall-Erzeugung	57 119	Kunststofffolien	31 401	Gießerei-Altsand
31 627	Aluminiumoxidschlamm	57 501	Gummi	31 410	Straßenaufbruch
35 314	Kabel	57 801	Shredderleichtfraktion, metallarm	31 427	Betonabbruch
35 501	Zinkschlamm	58 107	Stoff- und Gewebereste sowie Altkleider	31 467	Gleisschotter
35 502	Metallschleifschlamm	91 107	heizwertreiche Fraktion	54 912	Bitumen und Asphalt
51 104	kupferhaltiger Galvanikschlamm	912	Gewerbeabfälle		
51 105	zinkhaltiger Galvanikschlamm	91 201	Verpackungsmaterial und Kartonagen		
51 112	sonstige Galvanikschlämme	91 207	Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung		
51 113	sonstige Metallhydroxidschlämme (und metallhaltige Bäder)	917	Grünabfälle		
51 115	Aluminiumhydroxidschlamm	91 701	Garten- und Parkabfälle		
513	sonstige Oxide und Hydroxide	91 702	Friedhofsabfälle		
51 305	Aluminiumoxid	92 102	Mähgut und Laub		
51 308	Aluminiumhydroxid				
51 309	Eisenhydroxid				
51 310	sonstige Metallhydroxide				
911	Siedlungsabfälle				
91 101	Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle				

Abbildung 1: Abfallschlüssel zum Inventar in Hausmülldeponien (Österreich) [3] (Kapazität > 50.000 m³; 1998-2007).

Nach Hahn [9] lassen sich für deutsche Verhältnisse (alte Bundesländer) am Beispiel einer Deponie in Hessen, die verwertbaren Wertstoffklassen noch weiter untergliedern und konkretisieren:

1. Energierohstoffe/Energieersatzprodukte (nutzbar, ca. 17-53 %, mittl. Heizwert 8,02 MJ/kg)
 - Biogene Organik (ca. 10-27 %, mittl. Heizwert ca. 10 kJ/kg)
 - Misch-Kunststoffe (ca. 7-27 %, mittl. Heizwert > 20 kJ/kg)
 - Leichtverpackungen/Verbundwerkstoffe (schlechter Abbaugrad, mittl. Heizwert ca. 10-25 kJ/kg)
2. Metalle/metallhaltige Produkte (ca. 4 %)
 - Fe-Metalle und Stahl (ca. 3,2 %)
 - Kupfer und Aluminium (ca. 0,8 %)
3. Mineralische Produkte (ca. 22-87 %)
 - Phosphate
 - Erdig-mineralische Ersatzbaustoffe
 - ggf. auch Seltene Erdenprodukte

Die Wertstoffgattierung in den Deponien, die seit den 70 er Jahren betrieben wurden, ist zuhöchst unterschiedlich und auch betrachtungszeitbezogen [4]. Es ist davon auszugehen, dass in jüngeren Deponien jährlich weniger und zudem wertmäßig zugunsten der minderwertigen mineralischen Faktion verschobene Materialien abgelagert wurden (s. Tab. 1). Neuere Untersuchungen zeigen aber auch dass sich die betrachtete Wertstoffgattierung erweitert und gegenwärtig auch bis zur Gewinnung von strategischen Rohstoffen, z.B. Seltene Erden, Germanium, Silber, Gold, Molybdän, . . . , usw. [3], reicht. Allerdings ist mit diesen Wertstoffen eher in Monodeponien der Industrie zu rechnen [9].

Untersuchungen von Rettenberger lassen für Deutschland (nur alte Bundesländer bis 2005) ein jährl. Deponiegutaukommen von etwa 750 Mio. Mg Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfall auf Großdeponien erwarten [11]. Davon sind etwa 26 Mio. Mg Fe-Schrott (3,5 %), 850.000 Mg Cu-Schrott (0,11 %) und 500.000 Mg Al-Schrott (0,07 %) enthalten. Der verbleibende Rest sollte in Summe aller Bestandteile einen nutzbaren Energieinhalt von etwa 2.300 TWh beinhalten. Bei Betrachtung aller Deponien in Deutschland schätzen Mocker et al. [2] das Deponieinventar auf bis zu 2.500 Mio. Mg. Fe-Schrott sollte dort mit 3,3 % und die Buntmetall mit ca. 0,52 % in Summe verfügbar sein. Der Energiegehalt wird nach Mocker et al. am enthaltenen heizwertreichen Kunststoff angelegt, welcher mit 178 Mio. Mg verfügbar ist und allein einen Energieinhalt von ca. 1.100 TWh erbringen würde [2].

Es ist ferner zu bedenken, dass das Wertstoffpotenzial der Deponien von der konkreten Region, deren Größe und Struktur sowie dem Wirtschaftsbezug als auch von der konkreten Zeit des Aufbaus und den sonstigen Rahmenbedingungen abhängt und damit sehr unterschiedlich sein kann [9, 10, 11] und zudem auch an der zeit- und zustandsbezogenen „Alterung“ oder Stoffumsetzung der abgelagerten Abfälle und Abfallgattierung [9] zu messen ist. Der klima-, witterungs- und deponieaufbaubedingte biologische und mikrobiologische Abbau des organischen Anteils des Deponiegutes soll (bei üblicher Nutzung von 100-140 m³ Deponiegas pro Mg Abfall), unter Bezug auf die durchschnittlich zusammengesetzten hessischen Hausmülldeponien, nur etwa 50 % betragen [9].

Tabelle 1: Ablagerung von Wertstoffen in Deponien (1990-2009) in Österreich, mod. nach [4].

Wertstoffe	Jahreszyklen		Jahreszyklen		Jahreszyklen	
	1990-1997	Anteil	1998-2007	Anteil	2008-2009	Anteil
Metallhalt. Stoffe	1.197.500 Mg/a	59.00%	971.070 Mg/a	59.00%	202.850 Mg/a	41.00%
Energierohstoffe	227.500 Mg/a	11.00%	122.270 Mg/a	7.00%	15.350 Mg/a	3.00%
Mineralien	215.800 Mg/a	10.00%	263.200 Mg/a	16.00%	178.700 Mg/a	36.00%
Mehrfachnutzung	408.800 Mg/a	20.00%	286.040 Mg/a	19.00%	100.150 Mg/a	20.00%
Ges.-Anteil	49.00%		39.00%		12.00%	
rel. Ges.-Anteil	100.00%		80.00%		24.00%	

4 Gewinnung/Abbau und Aufbereitung von Deponiegut

Der Rückbau von Deponien umfasst nach dem Öffnen des Deponiekörpers, als Primärprozesse die Vorbehandlung des Deponiegutes, zumeist durch kontrolliertes in-situ Belüften des Deponiekörpers, das Auskoffern des Deponiegutes mit Baggervorsortierung, das Aufbereiten des Deponiegutes und die Nachbehandlung der Produkte und Medien im Rahmen von Sekundärprozessen. In der Abb. 2 ist eine generelle Übersicht zu den umgesetzten Verfahrensschritten gezeigt.

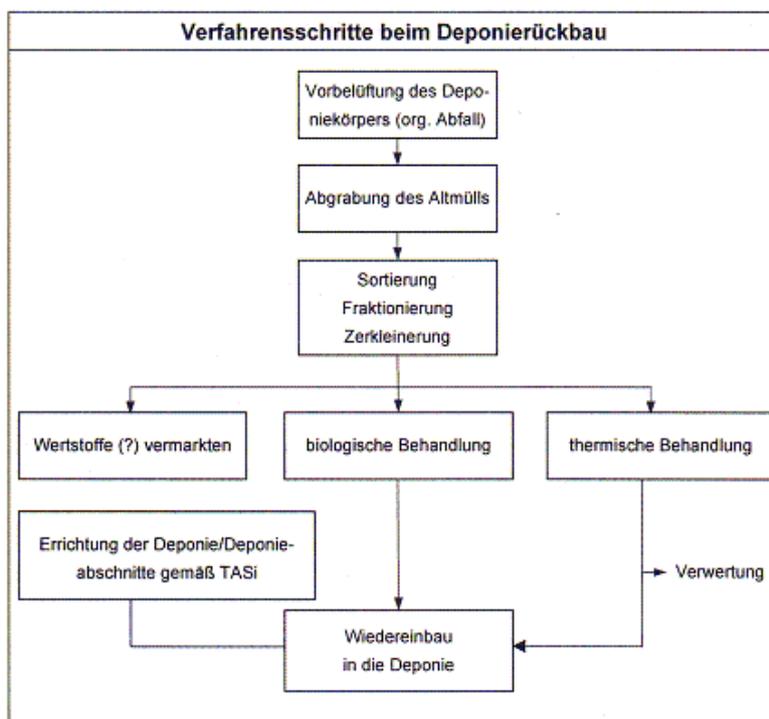


Abbildung 2: Verfahrensschritte beim Deponierückbau, schematisch, nach [4].

Vorbehandlung des Deponieguts:

Die Vorbehandlung, im Besonderen die technische Vorbelüftung, dient vorrangig zum Trocknen

und damit zum Feuchteconditionieren, d.h. dem Vereinheitlichen und Handhabbarmachen des Deponiegutes.

Die Vorbehandlung dient ferner auch zur Stabilisierung des Geruchs des weiter zu verarbeitenden Deponiegutes und kann in Abhängigkeit von der Größe des zu belüftenden Volumens Tage oder bis zu 2-4 Wochen benötigen [13, 14, 15]. Bei der Durchführung wird der Deponie oder abgegrenzten Deponieteilen kontrolliert über spezielle Eintragssysteme Luft zugeführt und die entstehende Abluft kontrolliert abgesaugt und nachbehandelt [14, 15]. In der Regel werden dabei eine Hochdruckbelüftung (Impulsbelüftung, mit 2-10 bar [16]) oder eine Niederdruckbelüftung (Rotte-Filter Verfahren oder Druck-Saugbelüftung, Raster: 5-10 m, mit 0,01-0,5 mbar [17, 18]) zum Einsatz gelangen.

4.1 Abbau oder Auskoffern des Deponiegutes

Beim Auskoffern (Rückbau) wird das Deponiegut entweder schichtweise von oben nach unten oder scheibenweise von der Seite ab- oder ausgebaut und dabei gleichzeitig chargiert. Bei Grubendeponien ist nur der schichtweise Abbau angeraten. Bei Haldendeponien sind beide Varianten grundsätzlich möglich. In der Regel kommt es standortbezogen zu Mischformen. Beide Vorgehensweisen haben ihre konkreten Vor- und auch Nachteile, wie aus Tab. 2 ersichtlich ist.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile der Deponiegutab- oder -rückbauvarianten.

Abbau-/Rückbauvariante	Vorteile	Nachteile
Schichtweiser Abbau → flächig von oben nach unten	<ul style="list-style-type: none"> • bautechnisch sicher • einfach durchführbar • Nutzung vorhandener Deponiestraßen zum Materialtransport 	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzen der Geräte nach Abbaufortschritt im Gelände • große, nicht abgedeckte offene Fläche • Regeneintrag, Sickerwasserbildung • Staubaustrag
Scheibenweiser Abbau → scheibenförmig, stufenweise von oben nach unten und von der Seite	<ul style="list-style-type: none"> • Ausnutzung von Geländegegebenheiten • Nutzung gravitativer Materialbewegungen 	<ul style="list-style-type: none"> • schwierige bautechnische Abwicklung • Neuanlage von Fahrstraßen min. auf jeder zweiten Abbaustufe

Das rück- oder abzubauen Deponiegut ist extrem inhomogen und besitzt eine sehr breite Stückgrößenverteilung (Schlamm bis Betonfertigteile). Folglich ist eine Vorsortierung und Zwischenlagerung der vorabgetrennten Produkte direkt im Abbau-Ort angeraten. Hierfür müssen Platz und Geräte vorgehalten werden. Durch Verwendung besonderer Ausbautechnologien und spezieller Technik können so bereits einzelne Wertstoffe gewonnen oder Wertstofffraktionen vorabgetrennt und auch Störstoffe ausgehalten werden. Dabei sollten folgende Materialströme unbedingt Beachtung finden:

- Unterkorn (Feinst- und Feinkorn)
- Betonteile

- Schrott (Fe- und NE-Schrott)
- Holz
- Kunststoffteile (Leichtfraktion vom Shredder)
- sonstige Mischfraktionen

Als Geräte kommen im Abbau und der ersten Abbaugutvorsortierung Bagger, Radlader, Dumper und LKW zum Einsatz. Das Auskoffern oder Abgraben erfolgt in der Regel per Bagger oder Radlader, mit entsprechender Aufnahmemöglichkeit. Hier sollten bereits möglichst viele Materialströme direkt separiert oder ausgehalten werden. Einzelne Materialströme haben dabei bereits Fertigproduktqualität oder bedürfen dann lediglich nur noch einer vereinfachten weiteren Aufbereitung. Die Baggervorsortierung kann, zumeist mit manueller Begleitung versehen, folgende Materialströme effizient aushalten bzw. anreichern:

- mineralische Abfälle
- Holz
- Metalle (Schrott)
- Folien
- Betonteile

In der Abb. 3 ist eine beim Abbau des Deponiegutes verwendete einfache Baggerschaukel (Gitterlöffel) zur gleichzeitigen Baggervorsortierung exemplarisch gezeigt. Der Rost kann auch als separat angetriebener Rollen-, Scheiben- oder Walzenrost ausgebildet sein [22]. Rotierende und vibrierende Roste sind ebenfalls marktüblich verfügbar. Obwohl manuell unterstützt und auch durch Anbackungen verschiedenster Verunreinigungen erschwert, stellt die Baggervorsortierung einen effizienten und kostengünstigen Verfahrensschritt in der Aufbereitung des Deponiegutes dar, dem folglich unbedingt eine besondere Beachtung und Bedeutung zugeordnet werden muss. Nach der Baggervorsortierung werden die Materialströme auf der Deponie zwischengelagert und dann im Weiteren noch aufbereitet.



Abbildung 3: Baggerschaukel (Gitterlöffel) zur Vorsortierung, Fa. Geel, Baumaschinenzubehör.

4.2 Mechanische Aufbereitung von Deponiegut

Als Geräte kommen hierbei Bagger oder Radlader zur Aufgabe des Deponiegutes sowie verschiedene Zerkleinerungsapparate, Siebklassierapparate, Stromklassierapparate zum

Klassieren und Sortieren sowie spezielle stofforientierte Sortierapparate und Handsortierarbeitsplätze zum Einsatz. Man unterscheidet grundsätzlich die Primärprozesse, die sich direkt mit der Anreicherung von Wertstoffen in den Produktströmen befassen von den Sekundärprozessen, die nur die Konditionierung und Nachbehandlung der Produkte und Medien zur besseren Verwertung bzw. Vermarktung . . . etc. zum Ziel haben. Als Aufbereitungs- oder Rückbauleistung werden für eine einfache Einstrang-Anlage in der üblichen Größe in der Literatur [4] ca. 150.000 Mg/a veranschlagt.

4.2.1 Zerkleinerungsprozesse/Zerkleinerungsapparate

Bei der Aufbereitung des Deponiegutes sind verschiedene Zerkleinerungs- und Zerteilprozesse notwendig, die in Zerkleinerungsapparaten realisiert werden. Als Ziele dieser Prozessstufe sind zu nennen [21, 22]:

1. Begrenzung der oberen Partikel-/Stückgröße (x_o)
2. Auflockern des Gutes und Dispergieren seiner Komponenten (Zerteilen)
3. Interne oder externe Gutentfeuchtung (Verdunstungstrocknung)
4. Erzeugung handhabbarer geeigneter Partikelgrößen (x_{50} , x_m , . . .)
5. Aufschluss von Wert- und Störstoffen (Maximierung von A_i)

Von besonderer Bedeutung sind das Herstellen einer praktikablen Stückgröße und das Erreichen eines ausreichend hohen und selektiven Stoffaufschlusses, um nachfolgend das Klassieren und das Sortieren von Wert- und Störstoffen effizient durchführen zu können. Die Einstellung bestimmter Stückgrößenverteilungen wird in der Regel mit schnell oder langsam laufenden Rotorschern oder Schneidmühlen durchgeführt.

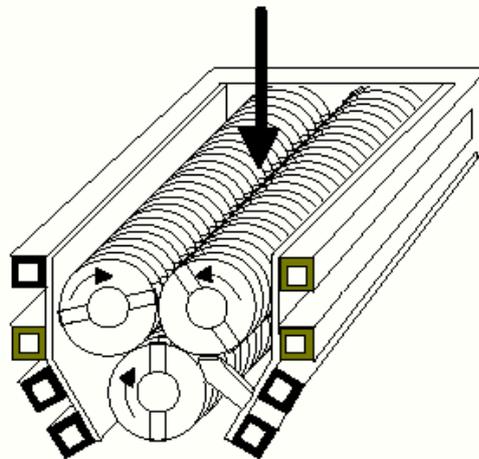


Abbildung 4: Rotorschere, schematisch.

In der Abb. 4 ist eine 3-Rotor-Schneidmühle schematisch gezeigt. Die Zerkleinerung erfolgt hier zweistufig, jeweils an den überlappenden Schrauben.

Im Sinne des Erreichens der v.g. Prozessziele und insbesondere des Stoffaufschlusses sind aus der Vielzahl verfügbarer Zerkleinerungsapparate solche auszuwählen, die Prallbeanspruchung aufweisen. In der Abb. 5 und 6 sind derartig arbeitende Brecher/Mühlen aufgezeigt. Bei der Prallbeanspruchung werden zwangsfrei die Kräfte eingeleitet und der Bruch entlang der Verbundgrenzen initiiert und somit der Stoffaufschluss bestmöglich erreicht.

Zur bloßen Umsetzung von Zerteilprozessen kommen vorrangig Nockenwalzenbrecher mit scherenden Kraftwirkungen und häufig auch, je nach Stoffeigenschaften, modifizierte schnell

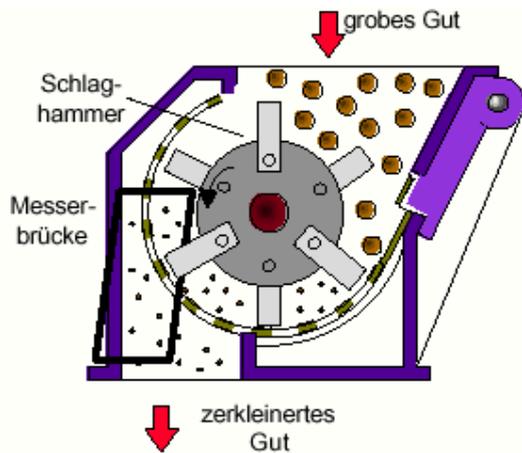


Abbildung 5: Hammer-Reißer, schematisch.

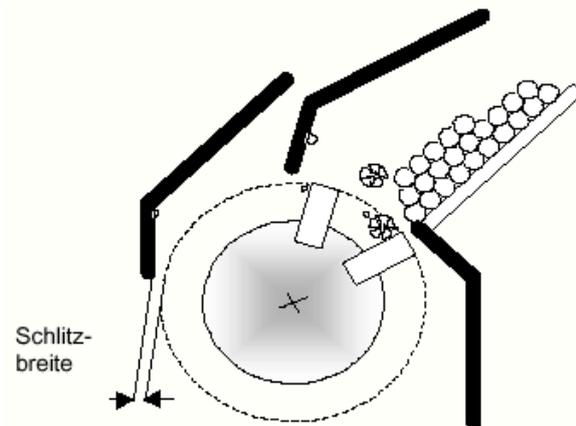


Abbildung 6: Prallbrecher, schematisch.

oder langsam laufende Rotorscheren (s. Abb. 4) zum Einsatz. Backen-, Kegel- und Walzenbrecher sind dagegen ungeeignet.

4.2.2 Klassierprozesse/Klassierapparate

Die Klassierprozesse dienen zum Separieren nach der Korn- oder Stückgröße. Dabei werden vorrangig trocken arbeitende Siebklassierprozesse oder auf einem Luftstrom basierende Stromklassierprozesse (Aero-Stromklassierer, Windsichter oder Sichter) eingesetzt. Als Ziele dieser Prozessstufe sind zu nennen [21, 22]:

1. Vorabtrennung von störendem Grobgut (Überkorn)
2. Vorabtrennung von störendem Feingut (Unterkorn)
3. Interne oder externe Gutentfeuchtung (Verdunstungstrocknung, vorzugsweise bei Sichern)
4. Erzeugung handhabbarer und geeigneter Partikelgrößenklassen für die Sortierprozesse (Sicherung/Maximierung des Sortiererfolgs)
5. Herstellung von Sortierprodukten, beim Ab- oder Anreichern von Wertstoffen in speziellen Korngrößenklassen (Sortierendes Klassieren)

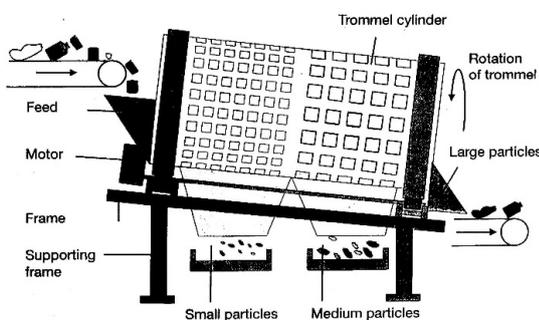


Abbildung 7: Trommelsieb, schematisch.

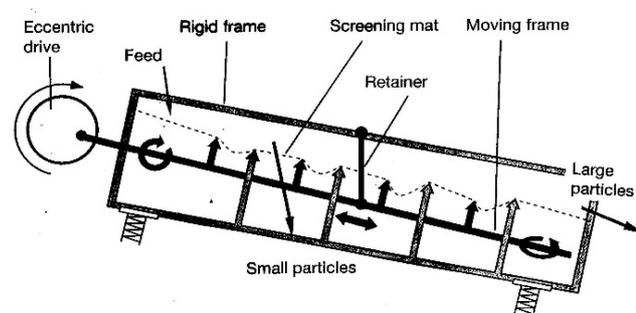


Abbildung 8: Spannwellensieb, schematisch.

Von besonderer Bedeutung sind das Herstellen einer praktikablen Stückgröße zur weiteren Aufbereitung in Sortierprozessen und das sortierende Klassieren. Alle Klassieraufgaben werden in der Regel trocken ausgeführt. Dies setzt einen ausreichenden Trockengrad (minimale

Feuchte) des Siebgutes (Deponiegut) zwingend voraus. Feuchtes klebendes Deponiegut ist nicht oder nur sehr schlecht siebbar. Als Siebklassierer kommen im Besonderen klassische Schwing- oder Trommelsiebe (s. Abb. 7) zum Einsatz. Deren Nachteil besteht im schnellen Zusetzen des Siebbelages und ist auf die große Inhomogenität, breite Kornformverteilung und ausgeprägte Plastizität des Siebgutes zurückzuführen. Dem ist leider nur mit aufwendigen Reinigungsmaßnahmen zu begegnen [22].

Unter Beachtung der hohen Reinigungs- und Wartungsaufwendungen können mit höherer Effizienz sog. Wahrscheinlichkeitssiebe (vom Typ: Mogensen-Sizer), Mehrfrequenz- oder Spannwellensiebe (s. Abb. 8) und auch Rollen- Scheiben- oder Walzensiebe hier erfolgreich und ausgleichend eingesetzt werden [22]. Zudem können auch spezielle Sonderbauformen, wie fremdbewegte Fingersiebe, fremdbewegte Stangenroste, Sternsiebe (s. Abb. 9), sowie Eimer-Ketten-Siebe . . . , eingesetzt werden. Diese waren für das Boden- und/oder Hausmüllrecycling entwickelt und eingesetzt worden, sind aber in der Klassierung von teilweise noch klebrigem Deponiegut ebenfalls erfolgreich betreibbar [22].

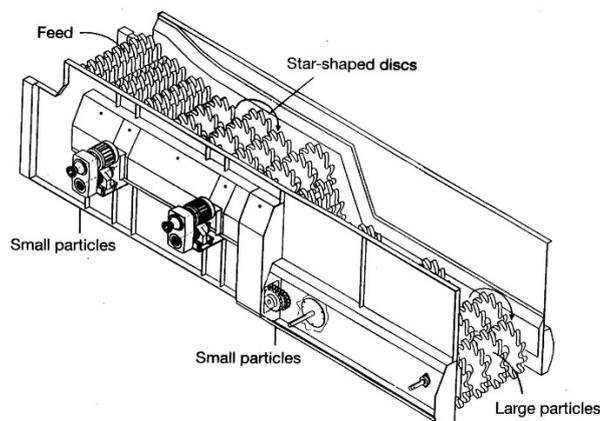


Abbildung 9: Mehrstufig arbeitendes Sternsieb, schematisch.

Die Aero-Stromklassierer werden im Besonderen durch Auf- und Querstromsichter klassischer Bauart (s. Abb. 10) sowie durch sehr effizient arbeitende Zick-Zack-Sichter (s. Abb. 11) repräsentiert. Letztere sind besonders vorteilhaft einsetzbar.

Die Vorteile von Zick-Zack-Sichtern bei der Aufbereitung von zum Teil noch leicht klebrigem Deponiegut lassen sich wie folgt angeben [21]:

- mehrstufige Anordnung und Betrieb (mehrstufige Klassierung)
- Kombination von Gegenstrom- und Querstromsichtung je Klassierstufe
- Aufschluss von Stoffagglomeraten durch turbulentes Zerteilen im Sichtelementübergang
- Nachrocknung des Deponiegutes im Sichtluftstrom (Verdunstungstrocknung)
- Nachreinigung der Klassierprodukte (hohe Produktgüte)
- hohe Trennschärfe (hohe Trenn- oder Klassiergüte)

Die Sieb- oder Aero-Stromklassierer (Sichter) sind den Sortierprozessen grundsätzlich vorgeschaltet, um damit deren Effizienz zu erhöhen (Sortieren enger Korngrößenklassen). Sie können aber auch direkt spezielle Wertstoff-Fractionen (sortierendes Klassieren) erzielen. Bei letzterem besteht die Anreicherung einer spezifischen Wertstoff-Fraktion in einer bestimmten Kornklasse, wie z.B. [19, 20]:

- mineralische Komponenten → im Feinstgut (Fraktion: 0-30 mm)

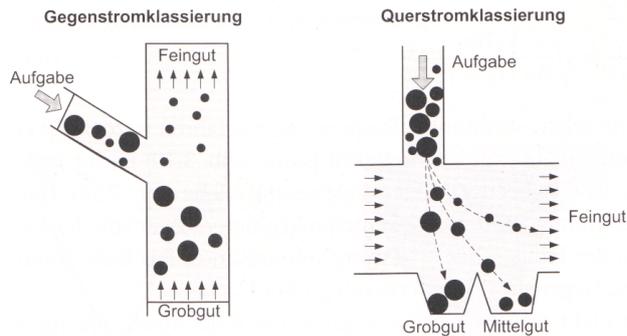


Abbildung 10: Aufstrom- und Querstrom-Sichter, schematisch [22].

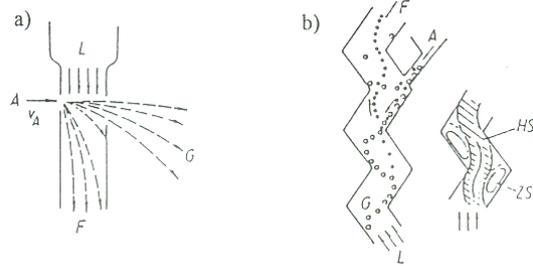


Abbildung 11: Zick-Zack-Sichter, schematisch (F – Feines, A – Aufgabe, L – Grobes, HS/ZS – Haupt-/Zirkulationsströmung).

- organische Komponenten → im Feingut (Fraktion: 18-80 mm)

4.2.3 Sortierprozesse/Sortierapparate

Das Sortieren von Gutströmen wird in ein Materialsortieren, bei dem charakteristische Material- oder Stoffeigenschaften (z.B. PET, PE oder PPK) als Trennmerkmale Beachtung finden, und in ein Produktsortieren, bei dem Produktmerkmale als Trennmerkmale für das Produkt aus verschiedenen Wertstoffen (z.B. Bild der PET-Flasche mit PE-Kappe, PET-Körper und Papier-Banderole) angewendet werden, unterschieden. Wenn es sich bei den Merkmalen um Summenparameter (z.B. Dichte, elektrische Leitfähigkeit, usw.) handelt spricht man von integrierten Trennmerkmalen und wenn es sich um stoffspezifische Einzelparameter handelt (z.B. NIR-Spektrum von PET) von singulären stoffselektiven Trennmerkmalen. Vielfach kann erst durch Kombination verschiedener Einzel- und Summenparameter eine exakte Zuordnung und Stoffabtrennung in einer mehrstufigen Aufbereitungstechnologie erreicht werden.

Im Weiteren unterscheidet man das Sortieren in seiner Ausführung nach der abzutrennenden Stoffzielgröße. Beim Aussortieren des Wertstoffs oder -produkts spricht man vom „Positiv Sortieren“. Hier wird eine hohe Sortierproduktqualität (c_i) erreicht, aber zu Lasten des Wertstoffausbringens (R_{ci}). Beim „Negativ Sortieren“ werden die Verunreinigungen oder Störstoffe aussortiert und der Wertstoff verbleibt im Stoffstrom. Dabei wird ein hohes Ausbringen (R_{ci}) gewährleistet, aber die Wertstoff-/produktqualität (c_i) ist nur gering.

Die Prozessziele von mechanischen Sortierprozessen lassen sich demnach wie folgt angeben [21, 22]:

1. Maximierung der stoffspezifischen Abtrennung eines Wertstoffs/Wertproduktes (hohes Ausbringen, R_{ci})
2. Maximierte Anreicherung eines Wertstoffs/Wertproduktes in einem Stoffstrom (hohe Konzentratqualität c_i)
3. Erzeugung von spezifischen Wertstoff-/Wertprodukt-Gemischen zur weiteren Verarbeitung (Zwischen- oder Mittelprodukte mit abgereicherten Stör- oder Schadstoffen/-produkten)

Es wird vorausgesetzt, dass beim Aufgabematerial für das Stoffsortieren ein genügend hoher Stoffaufschluss (zumeist $A_i > 95\%$) erreicht und zudem weitere Randbedingungen, die das Stoffsortieren beeinträchtigen könnten, wie z.B. eine enge Partikelgrößenklasse, eine enge Partikelformklasse, eine ähnliche Gleichfälligkeit, die Stoffstromvergleichmäßigung, die Vereinzelung der zu trennenden Partikel, ein maximaler Trennmerkmalsunterschied, usw., erfüllt sind. Generell wird mit dem Sortieren das Trennen von Stoffgemischen nach spezifischen aufgeschlossenen stoffmerkmalrelevanten Trennmerkmalen verstanden. Gemäß der Art der Trenn-

merkmale lassen sich die in der Tab. 3 angegebenen verschiedenen Sortierprozesse (Arten) unterscheiden.

Tabelle 3: Traditionelle Trennmerkmale und die dazugehörigen Sortierprozesse, Übersicht.

Sortierprozess	Trennmerkmale
Dichtesortieren (Dichtescheiden)	Stoff-/Materialdichte, Sedimentationsgeschwindigkeit, ...
Flotation	Benetzbarkeit (Hydrophobie/Hydrophilie) der Oberfläche, ...
Magnetisches Sortieren (Magnetscheiden)	Magnetisierbarkeit, magnetische Suszeptibilität, magnetische Störfestigkeit, ...
Elektrisches/Elektrostat. Sortieren Wirbelstromsortieren	Leitfähigkeit des Volumens und der Oberfläche, Polarisierung, Dielektrizität, dielektrischer Verlust
Manuelles Klauben (Handsartieren)	Multi-sensorisches Sortieren nach sonstigen Merkmalen, z.B. Form, Farbe, Glanz, Reflektion, Transparenz, Stoffwärme, ...
Sensorisches Klauben (Automat. Sortieren)	Schritt für Schritt Sensorerkennung des Bildes, Farbe, Reflektion, Transmission, Röntgenabsorption, Lichtemission, ...
Thermisch bewirktes Sortieren	Thermische Erhärtung, thermische Erweichung, thermische Leitfähigkeit, thermische (Speicher-)Kapazität, thermische Adhäsion, ...
Sonst. physikalisch bewirktes Sortieren	Plastizität, Elastizität, Formverhalten, Formbarkeit, Oberflächenrauigkeit, ...

Für den Einsatz in der Deponierückbaugutauflbereitung kommen nicht alle Sortierprozesse zum Einsatz. Man orientiert gegenwärtig nur auf trocken oder mit Luft als Trennmedium arbeitende Prozesse, obwohl nasse Prozesse generell eine wesentlich höhere Trenneffizienz und damit höhere Ausbringenswerte bei verbesserter Produktqualität bzw. Anreicherung verzeichnen [22]. Der Vorteil fehlender Aufwendungen für eine moderne Prozesswasseraufbereitung ist bei Beachtung der notwendigen Ablufthaltung und -reinigung eher unbedeutend. Zudem wäre dann auch die aufwendige Deponiegutvorbehandlung nicht notwendig. Wie auch bei der Technologieentwicklung beim Recycling von Abfall (z.B. Leichtverpackungen und Hausmüll) sollte sich die Technologie hierhin in den nächsten Jahren auch erweitern und auf nasse Prozesse ausgerichtet werden [22, 23, 25, 27].

Gemäß der verfügbaren Literatur werden derzeit aus nachfolgend aufgeführter einsetzbarer Sortierprozesspalette nur wenige, ausgewählte Sortierprozesse eingesetzt [28, 29, 30].

Sortieren nach der Stoffdichte (Dichtescheiden):

Das Sortieren nach der Stoffdichte ist traditionell eines der ältesten und am weitesten verbreiteten sowie der wichtigste Trennprozess. Hierbei wird ein Leichtgut von einem Schwergut abgetrennt, wenn die Dichtedifferenz zwischen den Stoffen oder zum Trennmedium hinreichend groß ist. Für die Anwendung des Dichtescheidens beim Rückbau des zum Teil klebrigen Deponiegutes können folgende Dichtescheidevarianten zum Einsatz gelangen [22]:

- Dichtescheiden durch Aero-Setzen
- Dichtescheiden in der Aero-Wirbelschichtseparation
- Dichtescheiden durch Sichten (Querstrom- oder Gegenstrom-Sichten, Zick-Zack-Sichten)
- Dichtescheiden durch Aero-Wurfsortieren (Aero-Herdsortieren)

Dabei bedingen die konkreten Rahmenbedingungen (Qualität des Deponiegutes, ...) deren Auswahl und Effizienz.

Beim Aero-Setzen [22, 23, 25] wird ein Stoffgemisch mit einer impulsartigen Luftströmung beaufschlagt. Dabei wird die Schüttung rhythmisch um den Betrag des Hubes (Δh) angehoben und kann sich hernach überlagert durch die Stoffdichten der einzelnen Stücke wieder absetzen. Durch eine Vielzahl solcher Setzhübe, kommt es zur Entmischung, d.h. zum Trennen in das Leichtgut (oben) und das Schwergut (unten), am Setzgutträger (s. Abb. 12).

Beim Sortieren in einer Wirbelschicht, d.h. einer fluidisierten Gutschüttung, kommt es ebenfalls zum Entmischen nach der Stoffdichte, so dass, analog zur Schwimm-Sinkverhalten von Stoffen mit unterschiedlicher Dichte, sich ein Sinkprodukt (Schwergut) am Gutträgerrost etabliert und ausgeschleust werden kann (s. Abb. 13). Das Leichtgut oder Schwimmgut kann dann parallel dazu am oberen Ende der Wirbelschicht separiert werden.

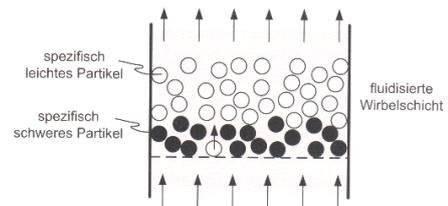
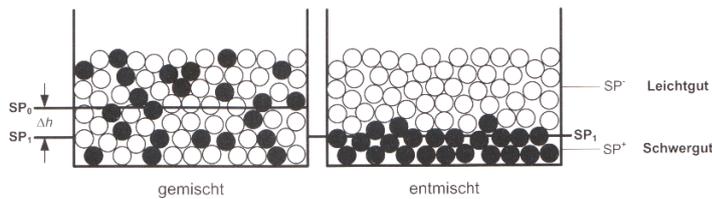


Abbildung 12: Sortieren durch Setzen, schematisch.

Abbildung 13: Wirbelschichtsortieren, schematisch.

Mit den „Aero-Wurfsortierern“ oder „Aero-Herden“ (Luftschwing- oder -stoßherden) kann ebenfalls und zwar in der Regel sehr effektiv derartiges Gut sortiert werden. Das Windsichten (Sichten, Aero-Sichten) im Allgemeinen kann zum Sortieren nach der Dichte sehr gut eingesetzt werden. Hierfür gelten streng genommen die gleichen Anforderungen und Bedingungen sowie Wirkprinzipien wie beim Aero-Stromklassieren, nur dass hier das Trennmerkmal Dichte für enge Stückgrößenklassen gleichermaßen umgesetzt wird. Es wird somit kein Fein- und Grobgut, wie beim Klassieren, erhalten sondern das Stoffgemisch in ein stoffspezifisches Leichtgut (Schwimm-Gut) und stoffspezifisches Schwergut (Sink-Gut) sortiert (vgl. Abb. 10). Es können sowohl Gegenstrom- als auch Querstrom-Sichter eingesetzt werden. Letztere werden allgemein bevorzugt verwendet (s. Abb. 14) und gestatten zudem, bei geeigneter Gestaltung der Leichtgutabnahme als steil stehendes Schrägband, eine zusätzliche Trennung des Leichtgutes gemäß seiner Stückform (körperförmig, flächig).

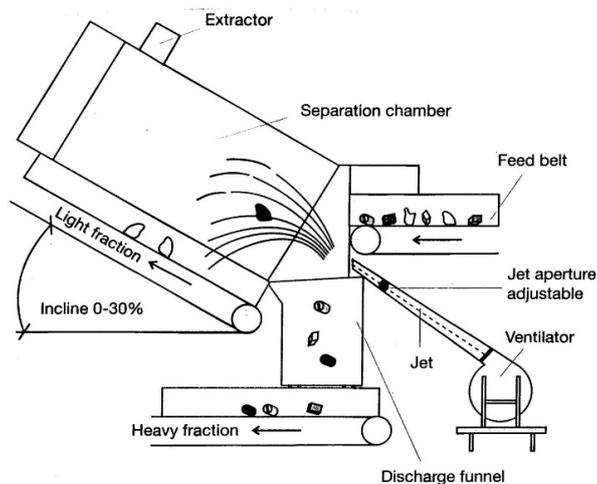


Abbildung 14: Querstrom-Windsichter, schematisch.

Ebenfalls sind, bei richtiger Dimensionierung und Beachtung der Deponieguteigenschaften, die besonders vorteilhaften Zick-Zack-Sichter (s. Abb. 11) als Sortierapparate einsetzbar. Hier werden dann eine Leicht- und ein Schwergut sortiert.

Sortieren nach magnetischen Trennmerkmalen (Magnetscheiden):

Das Magnetsortieren orientiert sich an der magnetischen Suszeptibilität der Stoffe. Diese müssen ferro- oder paramagnetische Eigenschaften $\kappa_s > 0$ aufweisen. Diamagnetische Stoffe $\kappa_s \leq 0$, verhalten sich feldinert. Dabei wird zwischen der absoluten (κ_s) und der massebezogenen, spezifischen magnetischen Suszeptibilität (χ_s) unterschieden ($\chi_s = \kappa_s / \rho_s$). Die Stoffe lassen sich anhand ihrer magnetischen Eigenschaft (χ_s) wie folgt einteilen [23, 25]:

- Starkmagnetische Stoffe ($\chi_s > 35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, z.B. Fe, Magnetit, Eisenguss, niedrig leg. Stahl, ...) → Schwachfeldmagnetscheider ($H < 0,15 \text{ T}$)
- Mittelmagnetische Stoffe ($\chi_s = 7,5 - 35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, z.B. Martit, ...) → Starkfeldmagnetscheider ($H = 0,3 - 0,6 \text{ T}$)
- Schwachmagnetische Stoffe ($\chi_s = 0,1 - 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, z.B. Mangan, Titan, Kupferlegierung, ...) → Starkfeldmagnetscheider ($H = 0,6 - 2,5 \text{ T}$, bei supraleitenden Spulen: $6,0 - 8,0 \text{ T}$)
- Nichtmagnetische Stoffe ($\chi_s < 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, Quarzit, Calcit, Al, Cu, ...)

Es lassen sich nur ferromagnetische bzw. stark bis mittelstark magnetische Stoffe von seiner nichtmagnetischen Matrix abtrennen. Bei abnehmenden magnetischen Eigenschaften können dennoch gute Trennergebnisse erzielt werden, wenn dann stärker magnetische Felder oder Apparate mit höheren magnetischen Feldstärken eingesetzt werden. Schwachmagnetische Stoffe sind nur bei sehr hohen Feldstärken, die in der Regel nur bei supraleitenden Spulen erreicht werden, sortierbar. Für die Abtrennung von Fe, Fe-Guss und niedrig legierten Stählen aus dem Deponiegut kommen vorrangig Aushub- oder Ablenktrommelscheider (s. Abb. 15) zum Einsatz. Die Trommeln sind in der Regel mit keramischen Ferrit-Permanentmagneten beachtlicher Feldstärke bestückt.

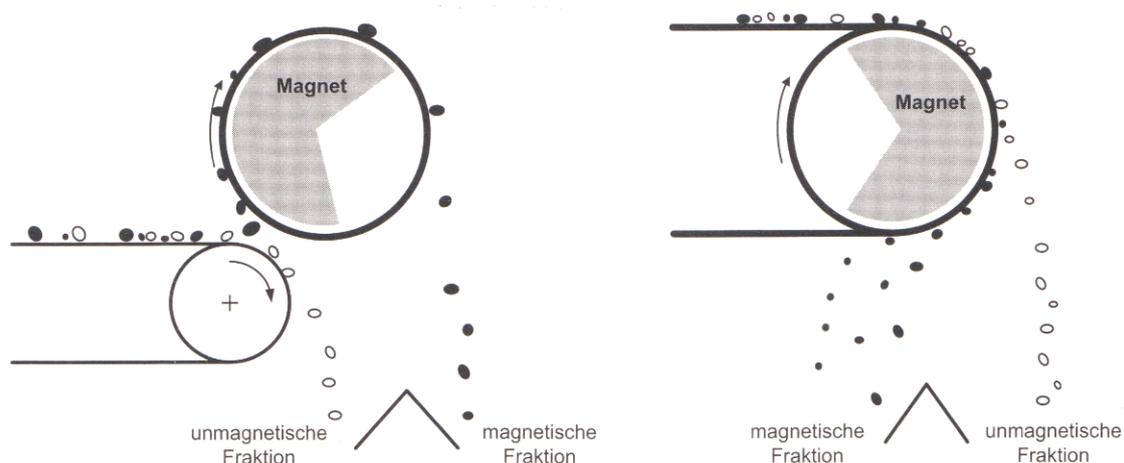


Abbildung 15: Trommelaushubmagnetscheider und Trommelablenkmagnetscheider, schematisch [22].

Die Magnetscheider werden im Weiteren auch kombiniert eingesetzt, da der Aushubscheider eine gute Konzentratqualität während der Ablenkscheider ein hohes Ausbringen aufweist.

Häufig wird die Magnetscheidung auch in die Guttransportprozesse (via Transportbänder) integriert. Bei gefächerten oder gebänderten Magneten in Trommelscheidern, kann, durch den „magnetischen Durchwalkeffekt“, zumindest bei fein- bis feinststückigem Gut, eine Verbesserung der Produktqualität erreicht werden.

Sortieren nach elektrischen Trennmerkmalen (Wirbelstrom- und Elektroscheiden):

Das Trennen von leitenden und nichtleitenden (Isolatoren) Stoffen wird als Elektroscheiden bezeichnet. Dabei werden grundsätzlich die elektrische Oberflächen- und/oder Volumenleitfähigkeit der Stoffe als Trennmerkmal verwendet. Vorausgehend ist, dass die Stoffe je nach Materialart unterschiedlich, zumeist tribo-elektrisch aufgeladen werden. Freifallscheider sind dabei sehr aufwendig und auch nur für kohäsionsloses Fein- und Feinstkorn nur einsetzbar. Walzenscheider sind wesentlich robuster. Sie können durch Zurüstung einer Korona-Elektrode dann auch wesentlich bessere, d.h. trennschärfere Sortierleistungen vollbringen. Leider sind sie ebenfalls nur für feinst- und feinkörnige kohäsionslose Stückgüter geeignet.

Der Wirbelstrom- oder Eddy-Current-Scheider (s. Abb. 16) arbeitet beim Sortieren von grobstückigem Schüttgut zur Abtrennung von Buntmetallen (Al, Cu, ...) vorteilhaft. Hier werden elektrische Leiter (vorrangig stückige Buntmetalle), die also nicht magnetisierbar sein sollten, von nichtleitenden Stoffen (Isolatoren, z.B. Kunststoff-Stücke) abgetrennt.

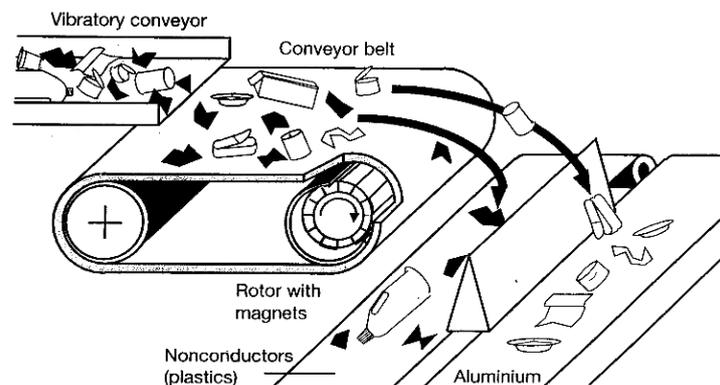


Abbildung 16: Wirbelstromscheider mit exzentrischem Polrad, schematisch.

Das Wirkprinzip der Wirbelstromscheidung beruht darauf, dass in einen langsam, durch ein schnell veränderliches Magnetfeld (Kopftrommel mit exzentrischem Polrad, s. Abb. 16) bewegten elektrischen Leiter (Al-Stück), primär eine Spannung mit einem Stromfluss induziert wird. Der elektrische Strom ist, wegen des fehlenden Verbrauchers, nicht gerichtet sondern als Wirbelstrom ausgebildet. Dieser Stromfluss weist ein eigenes, sekundäres elektro-magnetisches Wechselfeld auf, das dem primären Magnetwechselfeld entgegengesetzt gerichtet, d.h. abstoßend orientiert ist und somit auch abstoßend wirkt. Dadurch werden die elektrischen Leiter, soweit keine magnetische Anziehung, wie bei Fe-Metallen besteht, ausgeworfen. Die Fe-Metalle werden im Bereich des Polrades angezogen und rotieren auf der Stelle. Da sie auch der Induktion unterliegen kommt es zu deren Aufheizung und zu gefahrenbergenden Betriebssituationen (Brände durch sog. „Tramp-Iron“). Ein geringer und partikelgrößendefinierter Fe-Anteil kann durch eine gezielte Prozessführung (Trommeldurchmesser, Drehzahl, Stegband, ...) oder die Nachrüstung eines „Skimmer's“ oder „Scalper's“ (als zusätzliche alternierend agierende Abnahmeeinheit) beherrscht werden. Dennoch ist angeraten die Fe-Stücke in einer gezielt auf dieses Material ausgerichteten Prozessstufe (Magnetscheidung) vorher auszuhalten.

Sortieren nach sonstigen physikalischen oder mechanischen Merkmalen (Klauben):

Mit dem alt-deutschen Begriff „Klauben“ werden Sortierprozesse bezeichnet, bei denen spezi-

elle, nachfolgend genannte Stoffeigenschaften allein oder in Kombination als Trennmerkmale fungieren:

- Langförmigkeit von Stückgut (Trennmerkmal: Form, Plastizität, ...)
- Rollreibungsverhalten von Stückgut (Trennmerkmal: Form, Rauigkeit, Kantigkeit, ...)
- Oberflächenrauigkeit von Stückgut (Trennmerkmal: Rauigkeit, Form, ...)
- Plastizität oder Elastizität von Stückgut (Trennmerkmal: Plastizität, Elastizität, ...)
- Selektives Zerkleinerungsverhalten (Trennmerkmal: selektive Stoffsprödigkeit, Plastizität, ...)

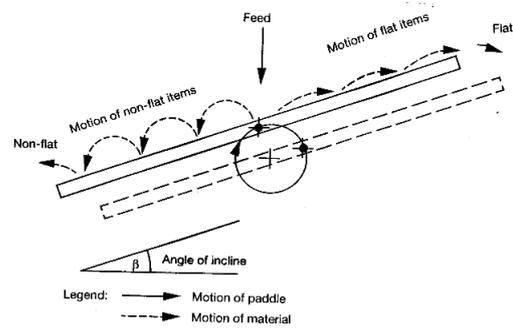
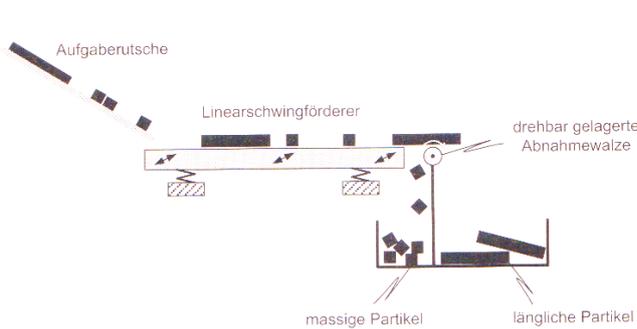


Abbildung 17: Langgutscheider, schematisch [22]. Abbildung 18: Ballistischer Separator, schematisch.

In der Abb. 17 bis 19 sind Sortierprozesse zur Abtrennung von Langgut (Form) oder Rollgut (körperförmig, rau) schematisch angegeben. Bei den Langstoffscheidern (s. Abb. 17) werden nach einer Vereinzelnung und Ausrichtung die kurzen oder kubischen oder massenförmigen Stücke in einem Abnahmespalt abgeschieden während die langförmigen stenglichen oder stabförmigen Stücke über die Abnahmewalze hinweg abgenommen werden. Der „Ballistische Separator“ oder „Paddel-Sichter“ (s. Abb. 18) nutzt das Rollverhalten von flächigen und kubischen Stücken auf einer schrägen Ebene (Paddel) unter zusätzlicher Einwirkung einer definierten Kreisschwingung (Paddelbewegung). Bei perforierten Paddelsystemen kann zudem noch ein Klassieren überlagert werden.

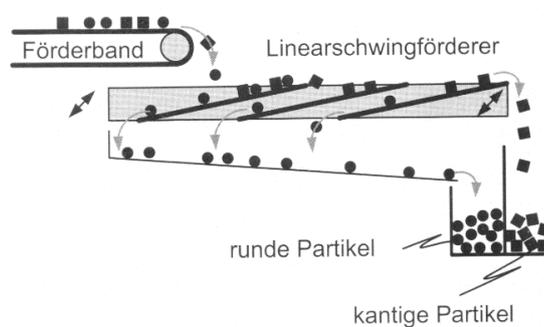
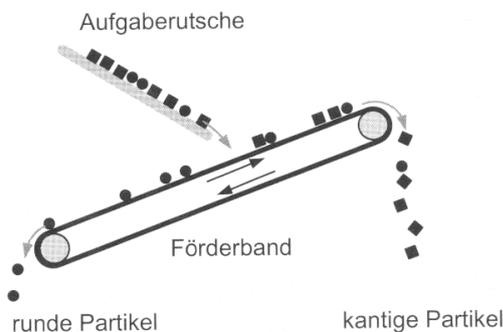


Abbildung 19: Rollgutscheider (Rollreibungs- oder Friktionsscheider, Kaskadensortierer, De-Stoner), schematisch [22].

Die Wirkungsweise der Rollgutscheider (s. Abb. 19) ist dadurch gekennzeichnet, dass das rollige, kubische oder ausgeprägt körperförmige Gut auf einer kontinuierlich oder alternierend

bewegten schrägen Ebene, gemäß der wirkenden Hangabtriebskraft im jeweiligen Feld eine räumliche Trennung zum Bewegungsverhalten der flächigen Stückgüter erreichen lässt (s. Abb. 19). Dabei kommen vorrangig Längs- oder Quer-Bandscheider zum Einsatz. Im Weiteren können aber auch geneigt oder horizontal arbeitende Tellerscheider oder Walzen- sowie (Innen-)Trommelscheider oder auch Konusscheider zum Einsatz gelangen. Das Trennergebnis kann ferner durch ein Vakuum unterhalb oder eine Absaugung oberhalb der Trennebenen (Oberbandluftabsaugung) sowie durch kontinuierliche oder impulsartige Vibrationsbeaufschlagungen der Trennebene optimiert werden.

Separieren durch händisches Sortieren oder Handscheiden (manuelles Klauben):

Das manuelle Klauben oder Handverlesen bzw. händische Aussortieren oder Scheiden auf Scheidebänken oder Scheidebändern ist eine der ältesten Sortiermethoden. Wegen der hohen Personalkosten hat diese Methode in den meisten Industrieländern eine untergeordnete Bedeutung bzw. ist auf Spezialfälle oder spezielle Problemwerkstoffe orientiert [22, 26]. In der Regel erfolgt das manuelle Klauben auf Lesebändern. Folgende Prozessschritte sind dabei zu realisieren:

1. Fokussieren des Zielstücks im vor-vereinzelten Gutstrom
2. Erkennen und analytisches Charakterisieren/Bewerten des Zielstücks
3. Klassifizieren des Zielstücks anhand einer Zielvorgabe oder Zielvorgabeliste
4. Zielstück im Gutstrom belassen oder in geeigneter Weise abtrennen

Der Handkläuber hat dabei den Teilprozess 2 mit allen seinen Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie Erfahrungen ... usw. zu realisieren. Hier wird nach organoleptisch-komplexer Ansprache bzw. Bewertung des Zielstücks (z.B. Masse, Volumen, Dichte, Form, Farbe, Glanz, Transparenz, Stoffwärme, Härte, Geruch, Oberflächenrauigkeit, Kantigkeit, ... im Vergleich mit der Zielvorgabe bzw. Vorgabeliste das Belassen im Gutstrom oder das Abtrennen aus dem Gutstrom entschieden und auch durch einzel-händische Herausnahme und Abwurf in den entsprechenden Produktbunker realisiert (s. Abb. 20). Eine Unterstützung durch z.B. UV-Licht und transportable analytische Messtechnik (NIR, XRF, LIPS, Funkenanalytik, ...) ist hier zunächst nicht vorgesehen. Bei deren Verwendung wird eine sensorisch treffsichere Sortierung erreicht und die Produktqualität zu Lasten des Ausbringens erhöht. Hier spricht man dann vom „semi-händischen Klauben“ oder vom „halb-automatischen Sortieren“.

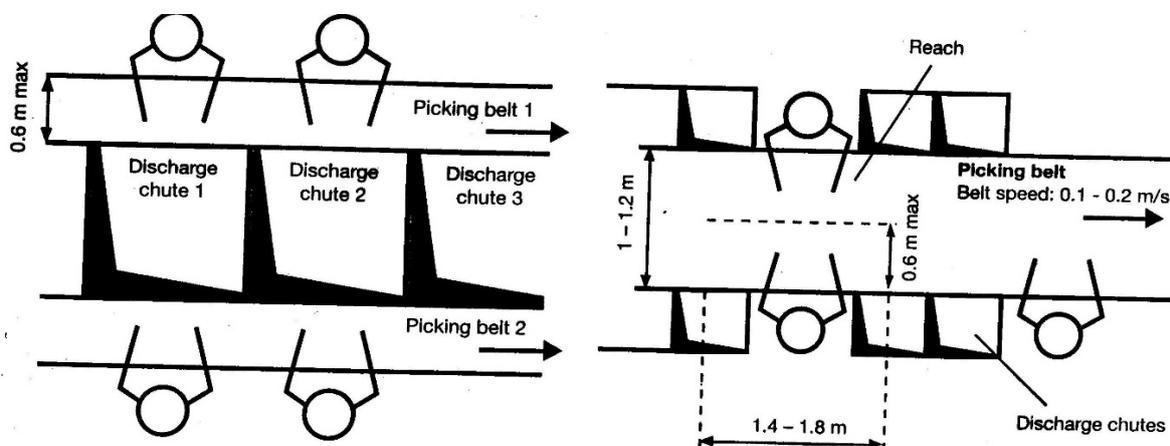


Abbildung 20: Einzelleseband, mit zentralem Abwurf, und Doppelleseband, mit seitlichem Abwurf, schematisch.

Durchschnittlich können jeweils zwei Stoffe pro Handkläuber sortiert werden. Arbeitswissenschaftliche Erhebungen gehen von einer durchschnittlichen, stündlichen Sortieraktionszahl von 1000 bis 1500 Aktionen pro Handkläuber aus [25, 26, 27]. Damit können z. B. bei den Leichtverpackungen analog zum Hausmüll bei geeigneter Stückgröße und Rahmenbedingungen etwa 200-300 kg stündlich pro Kläuber sortiert werden [27]. Untersuchungen haben gezeigt, dass nur Stückgrößen oberhalb von $x_u = 60-80$ mm und geringer als $x_o = 200$ mm eine gute Sortierbarkeit beim Handklauben vergleichbarer Stoffsysteme besitzen [27].

Separieren durch Sensor basiertes Sortieren (sensorisches Klauen):

Das sensorische Sortieren oder automatische Klauen ist in der Abb. 21 schematisch dargestellt. Sie basiert auf der Umsetzung der gleichen Teilprozesse wie beim Handklauben, nur dass hier der Teilprozess 2 und 3 häufig zu einem Teilprozess 2/3 „Detektieren“ zusammengefasst wird. Der Mensch als Arbeitskraft wird hier komplett ausgegrenzt und durch automatisch arbeitende Systeme ersetzt. Damit bestehen Vorteile aber auch neue geänderte Anforderungen an eine konsequentere Produktvorbereitung und definierte Prozessrahmenbedingungen. Die zu trennenden Stücke werden gleichmäßig aufgegeben und zumeist über eine Beschleunigungsbandkaskade vereinzelt und dem Messfenster in geeigneter separierter Weise mittig zugeführt (Teilprozess: Fokussieren).

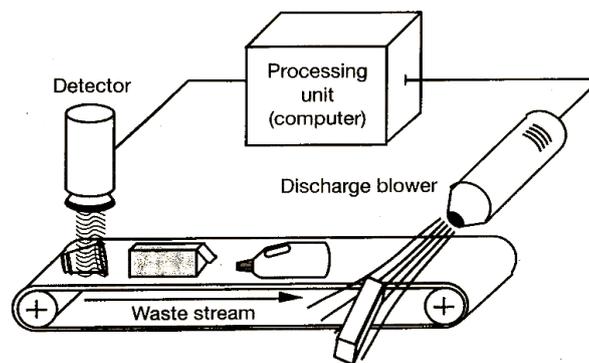


Abbildung 21: Automatisches Klauen, schematisch.

Der Detektor analysiert ein geeignetes Merkmal und überträgt dieses zur weiteren Datenaufbereitung an die Messwertverarbeitungseinheit. Die Messwertverarbeitungsdauer sollte dabei kleiner 20 ms betragen. Hier wird das Trennmerkmal ermittelt und mit den Sollwertvorgaben, unter Hinzuziehung statistischer Auswertungen, verglichen (Teilprozess: Detektieren). Bei Erfüllung (Überschreitung) oder Nichterfüllung (Unterschreitung) einer statistisch gesicherten Grenzwertsituation wird eine Austrageeinheit angesteuert und das Stück entweder im Gutstrom belassen oder ausgetragen. Hier kommen pneumatische Düsen- oder mechanische Klappenleisten zum Einsatz. Bei besonderer Anordnung der Austrageeinheiten zum Gutstrom kann auch ein zweites Produkt parallel separiert werden (Dreiprodukten-Trennung, Teilprozess 4: Belassen oder Abtrennen).

Der Detektor ist jeweils in der Lage nur ein oder maximal zwei Materialmerkmale zu analysieren. Damit ist nur bedingt die benötigte Selektivität erreichbar. Dieser Nachteil kann durch die Kombination mit einem oder zwei weiteren Sensoren (Multi-sensorischer Sortierapparat, s. Abb. 22) ausgeglichen werden. Bei einer Zweiprodukten-Abscheidung in der ersten Stufe und einer zusätzlichen Nachsortierung in der zweiten Stufe können mit 2 Sensoren 4 Produktströme und ein Durchlaufprodukt erreicht werden. Der zweite Sensor wirkt sich jedoch merklich vertuernd auf die Sortieranlage aus und bedingt dabei immer auch eine Begrenzung des Durchsatzes.

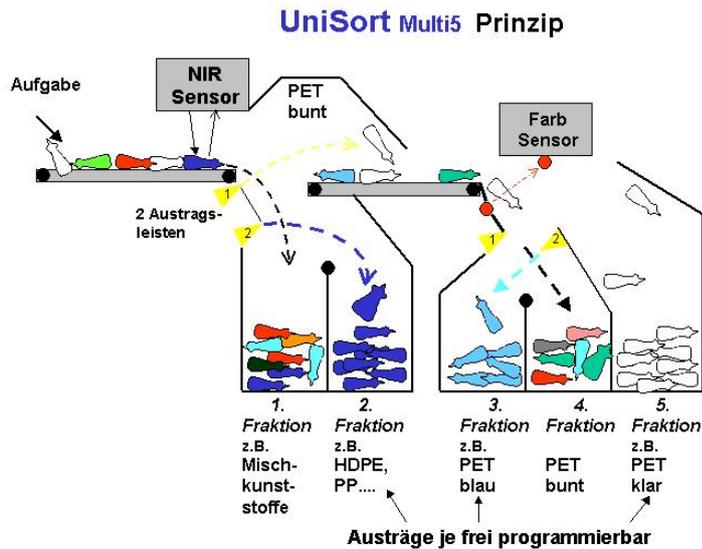


Abbildung 22: Multi-sensorisches automatisches Klauben, schematisch (Fa. RTT, Zittau).

Als singuläre aber auch kombiniert anwendbare Detektionsmerkmale werden derzeit umgesetzt:

- physikalische Eigenschaften (Größe, Image, Form, Lichtabsorption, Reflexionsfarbe, Transmissionsfarbe, Transparenz, Lichtbrechung, Opazität, Eigenradioaktivität, Dämpfung radioaktiver Strahlung, ...)
- elektrostatische Eigenschaften (elektrische Leitfähigkeit, dielektrische Kapazität, ...)
- spektroskopische Eigenschaften (UV, VIS, IR, NIR, SW-IR, ...)
- chemisch-analytische Eigenschaften (XRF, LIPS, AAA, ...)
- sonstige Eigenschaftsmerkmale
 - Laserimpuls-Thermographie (Wärmeausbreitung und -speicherung, ...)
 - Tracer-Erkennung (Farb-Tracer, Code-Tracer, UV-Tracer, ...)
 - Transpondererkennung (RF-ID, ...)

Die vorgenannten Prozesse, Prozesskombinationen und technologischen Verknüpfungen stellen den Stand des Wissens und der Technik zur mechanischen Aufbereitung von festen dispersen Stoffen oder Stoffströmen dar. Etwa nur ein Drittel des Möglichen wird gegenwärtig im Deponierückbau und in der Deponiegutaufbereitung derzeit veranschlagt. Weiter ist zu beachten, dass diese Prozesse in der Regel als primäre Prozesse angegeben werden. Davon werden sekundäre Aufbereitungsprozesse unterschieden. Diese sind sog. untergeordnete oder Nebenprozesse, die der Behandlung der verwendeten Medien, z.B. Behandlung und Kreislaufführung der Luft aus der Sichtung, dienen aber auch zur Nachbehandlung der erzeugten Produkte und deren restlichen Konfektionierung eingesetzt werden. Für letzteres kommen traditionelle Konditionier- (z.B. Vermischung mit Grobstoffen zur Strukturbildung und Erhöhung der mechanischen Festigkeit / Standsicherheit bei Bauersatzstoffen) und Konfektionierprozesse (Verfestigung mit Zement oder Kunstharzen, Verbrennung zur Schadstoffinertisierung, ...) aber auch mechanische Entstaubungsprozesse (Abscheidung von Füller) zum Einsatz.

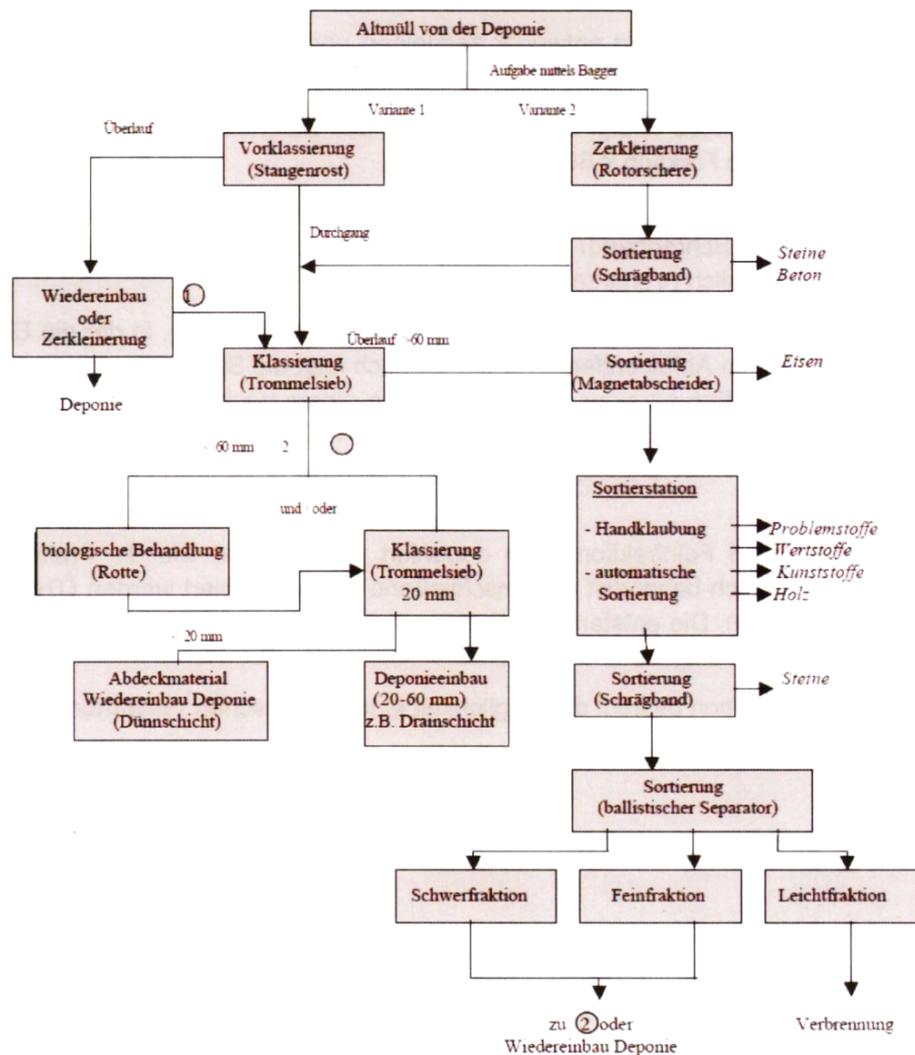


Abbildung 23: Verfahrensfließbild einer aktuell, modernen Deponiegutaufbereitungsanlage, mod. nach [3].

4.3 Sonstige Deponiegutbehandlung

Zudem können in der Deponiegutbehandlung auch biologische und thermische Prozesse zum Einsatz kommen. Diese Prozesse werden sowohl in der Gutvorbehandlung als auch den Primärprozessen der Gutaufbereitung und den Sekundärprozessen der Produktnachbehandlung eingesetzt. Im Wesentlichen sind dies aerobe Prozesse. Anaerobe Prozesse sind denkbar, werden aber, unter Bezug auf eine trockene Prozessführung, noch nicht eingesetzt.

Die Ziele der biologisch basierten Behandlungsprozesse sind:

- das Erzeugen von Wertstoffen, z.B. das Erzeugen erdähnlicher Ersatzstoffe, wie Kompost, dekontaminierter Bodenersatzstoff, ...
- die Herstellung der Deponiefähigkeit von Deponiegut (Porosität, Festigkeit, ...)
- die Stabilisierung des Geruchs
- die Stabilisierung der Feuchte

Als konkrete biologische Prozesse werden hierzu gegenwärtig mit gutem Erfolg eingesetzt [3]:

- On-site oder off-site Rotteverfahren (in Rotteboxen)
- Direkte Aeration der Erdstoffe in Haldenläger
- Rotte-Filterverfahren (z.B. „Smell Well“)
- Bio-Puster-Verfahren

Thermische Prozesse sind bei der Deponiegutbehandlung ebenfalls anzutreffen. Diese Prozesse werden sowohl in der Gutvorbehandlung als auch den Primärprozessen der Gutaufbereitung und den Sekundärprozessen der Produktnachbehandlung und Schadstoffbeseitigung sowie Abluftreinigung eingesetzt. Die konkrete Prozessgestaltung hängt dabei wesentlich von der verfügbaren Konsistenz, dem Brennwert und dem Gehalt störender Komponenten, sowie Chlor, ab und ist immer mit einer Nachbehandlung des Abgases verbunden. Als Apparate werden entweder Zyklone, Drehrohröfen, Wirbelschichtapparate oder Hochtemperaturöfen mit direkter und indirekter Beheizung verwendet. Die Prozesse sind wie folgt klassifizierbar [3]:

- Niedertemperatur-Verdunstung (20-60 °C, thermisches Trocknen, ...)
- Niedertemperatur-Ausgasen oder -Ausdampfen (< 300 °C, thermisches Entfernen von leichtflüchtigen Schadstoffen)
- Niedertemperatur-Entgasen (Pyrolyse) (300-900 °C, anaerob, mit Erzeugung von Pyrolyseöl, Pyrolysegas und Pyrolysekoks, ...)
- Hochtemperatur-Vergasen (800-1100 °C, mit O₂)
- Hochtemperatur-Verbrennen (Hochtemperatur-Behandlung) (500-1500 °C, mit O₂)

Die beim Deponierückbau hergestellten Produkte werden dann der Recyclingindustrie zur Rückführung in die Stoffkreislaufwirtschaft oder dem Markt direkt zugeführt.

Die nicht vermarktbar oder nicht verwertbar Produkte werden in die Deponie direkt zurück abgelagert (re-deponieren) oder auch, je nach Qualität, in anderen Deponien abgelagert oder beim Anlegen, Abdecken oder Schließen von Deponien verwertet.

Mit den vorgenannten mechanischen biologischen und thermischen Prozessen lassen sich das Deponiegut sowohl aus Sicht der Betriebskosten als auch der erreichbaren Ausbringen und Konzentratqualität marktgerecht, betriebswirtschaftlich rentabel und auch ökologisch akzeptabel aufbereiten.

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Folgenden wird eine Aufstellung der möglichen Kosten- und Erlöspositionen im Deponierückbau angegeben. Für den konkreten Standort, das konkrete Stoff- und Schadstoffinventar und den spezifischen Alterungsverlauf sowie den konkreten Zielgrößen und Anforderungen ist diese Aufstellung dann zu adaptieren [3, 4, 13, 28, 29, 30].

Kostenpositionen:

1. Deponie und Deponiegutvorerkundung und Entscheid zum Deponierückbau
2. Planung und Genehmigung der Rückbaumaßnahme einschließlich sämtlicher Gutachten und Nachweise
3. Rückbau der Oberflächenabdichtung und Gasfassungsanlage sowie Aushaltung und Zwischenlagerung wieder verwertbarer Materialien

4. Vorbereitende und begleitende Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung und zum Arbeitsschutz bei der Deponiegutvorbehandlung und beim Abfallausbau
5. Vorbereitung des Deponiegutes (Belüftung, Trocknung, Deodorierung, ...)
6. Vorbereitende Maßnahmen zur fachgerechten Bergung, Sicherstellung und Entsorgung von gefährlichen Abfällen
7. Abfallausbau und Abfallverladung, inkl. grober Vorsortierung zur Trennung von Müll und erdigen Bestandteilen sowie zur Aussonderung grober Störstoffe und gefährlicher Abfälle
8. Transport- und Entsorgungskosten für gefährliche Abfälle
9. Transport von verwertbaren Anteilen des Deponiegutes zur Aufbereitung
10. Aufbereitung des Deponiegutes (Zerkleinerung, Klassierung, Sortierung, Behandlung, ...)
11. Probenahme, Analyse, und Überprüfung sämtlicher Aufbereitungs-/Behandlungsprodukte
12. Marktbeobachtungen zur ertragsorientierten Vermarktung der Produkte
13. Transportkosten
14. Aufbau/Ertüchtigung des/eines Deponiekörpers zur Re-Deponierung der Abfallreststoffe (Aufbau der Basis- und Zwischenabdichtungen)
15. Deponieren der Restabfälle
16. Errichtung der Oberflächenabdeckung und Oberflächenabdichtung
17. Errichtung einer Regenwasserdrainage und Deponiegasfassung
18. Sickerwasserfassung und Verarbeitung
19. Rückbau, Sanierung und Vermarktung geräumter Deponieflächen

Erlöspositionen:

1. Vermarktung der Aufbereiteten Wertstoffprodukte (Fe-Schrott, Stahl, NE-Schrott, Elektroschrott, Holz, Boden, Kompost, Ersatzbaustoffe, Ersatzbrennstoffe, ...)
2. Verwertung geräumter Deponieflächen
3. Erlöse aus Treibhausgas-Emissionszertifikatehandel
4. Ersparte Aufwendungen (für Oberflächenabdichtung nach Deponierung der Restabfälle)
5. Ersparte Aufwendungen für die weitere Nachsorge

Die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus ist gegenwärtig stark umstritten [3, 4, 29, 30]. Dies liegt einerseits an den stark schwankenden Erlösen für die Wertprodukte am Markt, den ständig steigenden Materialverbrauchs- und Energieverbrauchskosten sowie den steigenden Kosten für Personal- und Transportaufwendungen begründet. Hierdurch sind alle Betrachtungen auf relativ unscharfe und schwach untersetzte Annahmen angewiesen [3, 4]. Andererseits sind die veranschlagten Aufbereitungstechnologien stark veraltet und repräsentieren die Leistungsfähigkeit der gegenwärtig existenten Aufbereitungstechnik nur ungenügend. Die in den einzelnen Modellstudien hierzu angegebenen Bezugswerte sind zudem nicht aktuell.

Dennoch ist bemerkenswert, dass in vielen Fällen zwar starke Schwankungen der möglichen Gewinn- und Verlustsituation angegeben werden, aber dennoch, je nach konkreten Anforderungs-, Zielführungs- Rechts- und Technologiestatussituation, eine positive, gewinnorientierte Wirtschaftlichkeit auch als möglich ausgewiesen wird [3].

6 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Der Deponierückbau gilt allgemein als unabwendbar. Die Begriffswandlung von der Langzeit-Deponie zu einer Deponie als temporäres Zwischenlager oder als zirkulierende oder Kreislaufdeponie ist bekannt. Dies ist mit dem gesamtgesellschaftlich steigenden Bedarf an Wertstoffen, der stetigen Verknappung an Stoff- und Energieressourcen, den steigenden Aufwendungen im Klimaschutz, der Verknappung an Bau- und Industrieflächen und an spezifisch hoch gesicherten Deponieraum sowie auch dem stetig steigenden Sicherheitsbedürfnis bezüglich leerer oder mangelhafter alter Deponien begründbar.

Studien von vor 5-7 Jahren gelten als nicht mehr aktuell, weisen stark schwankende, z.T. negative Erlöse aus und werden immer noch als Wissensgeber zur Dokumentation der Wirtschaftlichkeit zitiert. Hier wird es notwendig in allen Bereichen umfängliche Marktanalysen zu betreiben und diese Datenfiles dann aktuell hierzu heranzuziehen. Offensichtlich kann der Erfolg eines Deponierückbaus nicht allgemein oder am Modellfall übertragbar dargestellt werden und muss immer für den konkreten Standort der Deponie sowie der Qualität des Deponiegutes und der Art und Quantität der Wertstoffe beurteilt werden. Dabei ist der aktuelle Marktwert ebenso heranzuziehen wie auch die konkrete Zielsituation und damit die konkrete anwendbaren Einsparung an Aufwendungen. Diese ist ebenfalls stark veränderlich und auch von politischen Auflagen und wirtschaftlichen Zwängen abhängig. Die Entscheidung zum Deponierückbau erscheint dennoch immer als Wagnis zumal auch angeraten ist die Entscheidung dazu durch eine umfangreiche Informationssammlung zur Deponie vorzubereiten. Hierdurch schlagen die Erkundungskosten des Deponiekörpers und die Kosten zur Bewertung der konkreten Situation als auch die unabwägbareren Planungs- und Genehmigungskosten in Größenordnungen als notwendige Vorbereitungskosten mit hohem Fortführungswagnis zu Buche.

Die Klimarelevanz alter oder bestehender Deponien ist unbestritten. Somit sind hohe absolute allgemeine als auch relative stoffspezifische Einsparungswerte am „kumulativen Energieaufwand“ (KEH) als auch am Beitrag zur Treibhausgas einsparung (THG) verständlich und mit dem Deponierückbau immer positiv verbindbar. Auch die vorteilhafte Nutzung des Handels mit Treibhausgaszertifikaten sollte im positiven Sinne Beachtung finden und sich hier dann auch positiv auf die Erlössituation niederschlagen können.

Ein Kernproblem beim Deponierückbau ist die anzuwendende Aufbereitungstechnologie. Diese bestimmt die Qualität und damit die Vermarktbarkeit der Produkte aber gleichsam auch die Betriebskosten. Hierzu steht derzeit eine sich stetig und rasant entwickelnde Aufbereitungsindustrie und –wissenschaft zur Verfügung, die im Rahmen einer prozessorientierten verfahrenstechnischen Sichtweise neben den physikalischen oder mechanischen Wirkprinzipien auch chemische, thermische und biologische bzw. mikrobiologische Wirkprinzipien integriert. Ausgehend von ihrem Bezug zu baulichen und bergbaulichen Einsatzfeldern ist nun das Einsatzfeld auch auf die Recyclingtechnik und Abfallwirtschaft sowie Bodensanierung und Bauschutt aufbereitung erfolgt. Damit kann die hier vorhandene Technologie wesentlich unteretzt, erweitert und optimiert werden, welches wiederum zu einer verbesserten Situation in der Darstellung der Wirtschaftlichkeit von Deponierückbaumaßnahmen führt. Dies lässt sich für die trockene Aufbereitung gut analysieren und belegen, wenn man den aktuellen Stand der Technik mit dem im Beitrag aufgezeigten weitaus größeren Leistungspotential in den Prozessen: Vorbehandlung, Zerteilen, Aufschlusszerkleinern, Klassieren und Sortieren vergleicht.

Es ist ferner zu erwarten, dass in naher Zukunft auch die Einführung einer effizienten nassen Aufbereitungstechnologie erfolgen wird. Hier werden zwar erhöhte Aufwendungen in der

Wasserhaltung anstehen, aber gleichzeitig auch enorme Kostenersparnisse für den Wegfall der Lufthaltung und der Abluftreinigung aber insbesondere auch der Kosten für den Wegfall der Trocknung/Vorbelüftung usw. des Deponiegutes vor oder begleitend beim Ausbau und dem Ausgleich aller damit im Zusammenhang stehenden bisherigen Unabwägbarkeiten zu verbuchen sein. Eine vergleichsweise Entwicklung war auch in der Aufbereitung von Abfall zu verzeichnen.

Literaturverzeichnis

- [1] KrWG. Kreislaufwirtschaftsgesetz: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. 24.02.2012, In: BGBl. Teil I, Nr. 10, vom 24.02.2012, S. 212 ff., 2012.
- [2] M. Mocker, K. Fricke, I. Löh, M. Franke, T. Bahr, K. Münnich, und M. Faulstich. Urban Mining, Rohstoffe der Zukunft. Müll&Abfall, 10/09, s. S. 492-501, 2009.
- [3] A. Bernhard, M. Domenig, H. Reisinger, B. Walter, und Th. Weißenbach. Deponierückbau – Wirtschaftlichkeit, Ressourcenpotential und Klimarelevanz. Umweltbundesamt Wien, Eigenverlag, 2011.
- [4] DWA-VKU (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef und Verband kommunaler Unternehmen e.V. Berlin) (Hrsg.). Rückbau von deponierten Abfällen. DWA-Themen: T 6/2012, Druckhaus Köthen, Köthen, 2012.
- [5] M. Hrabčák. Erfahrungen aus dem Deponiebau in der Slowakei. In: Proceedings, Internat. Deponieworkshop Zittau-Liberec, „Deponien – Bau, Betrieb, Stilllegung und Nachsorge“, 15./16.11.2012, Liberec, TU Liberec, Eigenverlag, s. S. 27 ff., 2012.
- [6] B. Engelmann und K. Biedermann. Neues aus dem Deutschen Deponierecht. In: Proceedings, Internat. Deponieworkshop Zittau-Liberec, „Deponien – Bau, Betrieb, Stilllegung und Nachsorge“, 15./16.11.2012, Liberec, TU Liberec, Eigenverlag, s. S. 19 ff., 2012.
- [7] K. Biedermann. Deponien haben Zukunft. Müll & Abfall, 01/2012, s. S. 1 f., 2012.
- [8] H.-U. Bertram. Deponie - Gefährliche Illusion. ReSource, Vol. 25, 02/2012, s. S. 16 ff., 2012.
- [9] N. Hahn. Rohstoffpotentiale hessischer Deponien. In: Wasser & Abfall. Vol. 1, 02/2010, s. S. 48 ff., 2010.
- [10] D. Goldmann. Strategische und strukturelle Überlegungen zur effizienten Nutzung anthropogener Rohstoffpotentiale in Zeiten der Globalisierung. In: Müll & Abfall, 10/2010, s. S. 476 ff., 2010.
- [11] K. Wiemer, B. Bartsch, und H. Schmeisky. Deponien als Rohstofflagerstädten von morgen – Ergebnisse einer hessischen Untersuchung. Bio- und Sekundärrohstoffverwertung IV, Fachbuchreihe: Abfall - Wirtschaft, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie, Eigenverlag, Witzenhausen, 2009.
- [12] G. Rettenberger. Zukünftige Nutzung der Deponie als Ressourcenquelle. Tagungsband, Vol. 11, Münsteraner Abfalltage 2009, s. S. 101 ff., 2009.
- [13] A. Gosten. Untersuchung über den Nutzen des Deponierückbaus – Gedanken zum Deponierückbau unter heutigen Rahmenbedingungen am Beispiel einer BSR-Deponie. In: Thome-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.) (2009): Recycling und Rohstoffe. Band 2, TK-Verlag, Berlin, 2009.

- [14] K.-U. Heyer, K. Hupe, und R. Stegmann. Deponiebelüftung als Klimaschutzmaßnahme und zur höherwertigen Folgenutzung. Internat. Deponieworkshop Zittau-Liberec, „Auswirkungen des Klimawandels auf Umwelt und Erdbauwerke“, 07.-08.11.2013, Zittau, Hochschule Zittau/Görlitz, Eigenverlag, s. S. 83 ff., 2013.
- [15] R. Stegmann, K. Hupe, und K.-U. Heyer. Modifiziertes Nachsorgemanagement vor dem Deponierückbau. Studie: „Deponierückbau unter besonderer Berücksichtigung temporärer Abdichtungssysteme und in situ Belüftungsmaßnahmen“, 12/2000, unveröffentlicht, zit. in: [3], 2000.
- [16] G. Rettenberger. Rückbau und Abgraben von Deponien und Altablagerungen. Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 1998.
- [17] G. Rettenberger und R. Göschl. Demonstrationsprojekt Deponierückbau. Tagungsunterlagen, Umweltakademie-Seminar, 08./09. 11. 1994, Ludwigsburg, 1994.
- [18] R. Stegmann, K.-U. Heyer, und K. Hupe. Belüftung von Altdeponien als Maßnahme zur Reduzierung von CO₂-Emissionen. In: Wiemer, K.; Kern, M.; Raussen, T. (Hrsg.) (2012): Bio- und Sekundärstoffverwertung II, Fachbuchreihe: Abfall – Wirtschaft, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie, Eigenverlag, Witzenhausen, 2012.
- [19] I. Hölzle. Energieeffizienz von Deponierückbauten. Müll & Abfall, 10/2010, s. S. 488 ff., 2010.
- [20] I. Hölzle. Vom Deponierückbau bis zum „landfill mining“ – eine Synthese internationaler Untersuchungen. Österreichische Wasser- und Abwasserwirtschaft, Vol. 62, 2010, s. S. 155-161, 2010.
- [21] H. Schubert, E. Heidenreich, F. Liepe, und Th. Neeße. Mechanische Verfahrenstechnik. 3. erw. und durchges. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1990.
- [22] R. Bunge. Mechanische Aufbereitung: Primär- und Sekundärrohstoffe. 1. Aufl., Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2012.
- [23] H. Schubert. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Band 2: Sortierprozesse, 2. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1977.
- [24] K. Löhr, M. Melchiorre, und B.-U. Kettmann. Aufbereitungstechnik – Recycling von Produktionsabfällen und Altprodukten. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1995.
- [25] G. Schubert. Recyclingprozesse. s. S. 88 ff., In: Nickel, W. (Hrsg.) (1996): Recycling-Handbuch: Strategien – Technologien – Produkte. VDI Verlag, Düsseldorf, 1996.
- [26] K. Sattler und J. Emberger. Behandlung fester Abfälle: Vermeiden, Verwerten, Sammeln, Beseitigen, Sanieren. 4. Auflage, Vogel Buchverlag, Würzburg, 1995.
- [27] D. E. Uhlig, I. Bremerstein, und A. Beckmann. Sorting Technology: Dual System in Practice. 1. erweiterte Auflage, Hrsg.: Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland AG, TÜV-Verlag, Köln, 1998.
- [28] Renosam (Hrsg.). Landfill Mining: Process, Feasibility, Economy, Benefits, and Limitations. Report, July 2009, recherchiert: 27.10.2014.
http://www.renosam.dk/c/document_library/.
- [29] S. Bölte und J. Geiping. Siedlungsabfalldeponien – Nachsorge oder Rückbau? 12. Münsteraner Abfallwirtschaftstagung, Münster 2011, recherchiert 17.03.2014.
http://www.sdeponie-stief.de/pdf/fachlit_pdf/2011AWT_Boelte_rueckbau.pdf.

- [30] G. Rettenberger. Deponierückbau in der Praxis – Perspektiven und Konsequenzen für die Stilllegung und Nachsorge. Proc. 23, Kasseler Abfall und Bio-Energie-Forum: „Bio- und Sekundärrohstoffverwertung“, 12.-14. April 2011, s. S. 657 ff., 2011.

Seznam firem / Betriebsliste



CWH Ingenieurgesellschaft mbH Dresden
(**Andreas Krellmann** - Sponsor/Förderer)
Moritzburger Weg 67
D-01109 Dresden
E-mail: a.krellmann@cwh-ing.de
Tel.: +49 (0)351-88383401



DBI-EWI GmbH Freiberg
(**Mario Müller** - Sponsor/Förderer)
Halsbrücker Straße 34
D-09599 Freiberg
E-mail: freiberg@dbi-ewi.de
Tel.: +49 (0)3731-365255



Ekotechnika spol. s.r.o.
(**Arnošt Mráz** - Výstava/Ausstellung)
Mokropeská 1832
CZ-25228 Černošice
E-mail: info@ekotechnika.cz
Tel.: +420 251 640 511



Umwelt-Geräte-Technik GmbH
(**Katja Weber** - Výstava/Ausstellung)
Eberswalder Straße 58
D-15374 Müncheberg
E-mail: katja.weber@ugt-online.de
Tel.: +49 (0)33432-89575



UP Umweltanalytische Produkte GmbH
(**Gerhard Kast** - Reklama/Werbung)
Taubenstr. 4
D-03046 Cottbus
E-mail: g.kast@upgmbh.com
Tel.: +49 (0)355-48554-0



GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH
(**Thomas Hohlfeld** - Sponsor/Förderer)
Bautzner Straße 67
D-04347 Leipzig



MemBrain s.r.o.
(**Nataliya Savchuk** - Přednáška/Vortrag)
Pod Vinicí 87
CZ-47127 Stráž pod Ralskem
E-mail: info.membrain@membrain.cz
Tel.: +420 487 805 201

Reklama

Werbung

Deponieworkshop Zittau - Liberec



Umweltanalytische
Produkte GmbH

Rádi Vám zašleme informace k našim výrobkům a jejich cenám pro následující oblasti použití:

Monitoring skládek

- Meteorologické stanice
- Profilové termočláňkové sondy
- Výklopné počítadlo / měření odtoku
- Analyzátořy skládkového plynu
- Automatické vzorkovače
- Zařizení pro registraci dat
- Vizualizace webu
- Systém měření prokořenění

Hydrologická měření

- Čidla půdní vlhkosti
 - Tensiometry
 - objem půdní vlhkosti (tyčové sondy)
 - objem půdní vlhkosti (profilové sondy)
 - objem půdní vlhkosti (plošná sonda)
- Jímací sondy a přísavné destičky

Další témata:

- Měření infiltrace
- Měření půdní vlhkosti (penetrometr)
- Měření půdního plynu (CO₂) – Systém ACE

Jednoduše zakřížkujte položky, které Vás zajímají, vyplňte adresu a zašlete nám tento formulář faxem na číslo +49/355/48554-15 nebo emailem na adresu info@upgmbh.com.

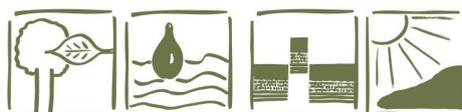
Organizace:**Oddělení:**.....

Titul / Jméno / Příjmení:.....

Ulice / PSČ / Město, obec:.....

Tel/Fax/Email:

Deponieworkshop Zittau - Liberec



Umweltanalytische
Produkte GmbH

Wir bieten schlüsselfertige Meßsysteme und Einzelkomponenten für die Deponieüberwachung.

Deponieüberwachung

- Wetterstationen
- Temperaturprofilsonden
- Kippzähler/Abflußmessung
- Deponiegasanalytoren
- automatische Probenehmer
- Datenlogger
- Datenvisualisierung
- Durchwurzelungsmeßsystem

Verwandte Themen

- Infiltrationsmessungen
- Bodenfestigkeitsmessungen (Penetrometer)
- Bodengasmessung (CO₂) – ACE-System

Bitte unterbreiten Sie mir auch ein Angebot für

- das **Leasing** der Meßtechnik
Laufzeit _____ Monate

Wasserhaushaltsmessungen

- Bodenfeuchte-Fühler
 - Tensiometer
 - vol. Bodenfeuchte (Stabsonden)
 - vol. Bodenfeuchte (Profilsonden)
 - vol. Bodenfeuchte (Flächensonde)
- Saugkerzen-/Saugplatten-Systeme
- (Klein-)Lysimeter

Wasserqualitätsmeßtechnik

- Labor-/Feldgeräte
- Trübungssensoren
- Multiparametersonden

- die **Ausleihe** der Meßtechnik
Leihdauer _____

Kreuzen Sie einfach die gewünschten Positionen an, füllen Sie das Adressfeld aus und senden Sie dieses Formular per Fax an 0355/48554-15 oder per Email an info@upgmbh.com.

Organisation: Abteilung:

Titel/Vorname/Name:

Strasse/PLZ/Ort:

Tel/Fax/Email:.....



Our company:



Staffed with an interdisciplinary team of:

- scientists,
- engineers and
- technicians,

the company develops and manufactures instruments with a high degree of innovation, functionality and quality.

Head Office
Müncheberg

Branch
Freising

Branch
Hörsching

UGT Umwelt-Geräte-Technik GmbH | Eberswalder Str. 58 | D-15374 Müncheberg | +49 (0) 33 43 2 - 89 575 | www.ugt-online.de

UGT Product line-up

Soil Science	Tensiometers, Soil moisture meters, suction probe technology, Penetrometer, hydraulic and pneumatic conductivity, Soil sampling , laboratory devices
Hydrology	Flow rate measurement, Level measurement, sampling and analytic
Meteorology	Meteorological sensors and complete weatherstations
Ecology	Dendrometer, Sap flow and water potential measurement, Leaf physiology
Lysimeter technology	Lysimeter cutting, Lysimeter stations, Measurement and controll technology, Project support, maintenance and service
Data acquisition and power supply	Data loggers, Software and database solutions, solar panels, rechargeable batteries

LANDFILL TECHNOLOGY



- Weather stations
- Seepage catchment and sampling
- Soilhydrological measuring site with weather station and radon gas survey

UGT Umwelt-Geräte-Technik GmbH | Eberswalder Str. 58 | D-15374 Müncheberg | +49 (0) 33 43 2 - 89 575 | www.ugt-online.de

OUR LYSIMETER TECHNOLOGY





DryLab



Small Lysimeter



Urban Track Lysimeter



Containerized Lysimeter Stations



Green Roof Lysimeter



Root Lysimeter



Gas Migration Lysimeter



Moor Lysimeter

UGT Umwelt-Geräte-Technik GmbH | Eberswalder Str. 58 | D-15374 Müncheberg | +49 (0) 33 43 2 - 89 575 | www.ugt-online.de



Thanks for your attention!

Your  -Team