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

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

EUROREGION neisse–nisa–nysa

Fachkonferenz „Deponien und Abfallwirtschaft“ in Zittau

Deponien – Altlasten – Sickerwasser – „Bürgermeisterkippen“

DEPONIEWORKSHOP ZITTAU-LIBEREC 2019

14.-15. November 2019



Odborná konference „Skládky a odpadové hospodářství“ v Žitavě

Skládky – Staré zátěže – Průsakové vody – Černé skládky

SKLÁDKOVÝ WORKSHOP ŽITAVA-LIBEREC 2019

14.-15. Listopadu 2019

Fachkonferenz „Deponien und Abfallwirtschaft“ in Zittau

Deponien – Altlasten – Sickerwasser – „Bürgermeisterkippen“

15. Deponieworkshop Zittau-Liberec

Odborná konference „Skládky a odpadové hospodářství“ v Žitavě

Skládky – Staré zátěže – Průsakové vody – Černé skládky

15. Skládkový workshop Žitava-Liberec

Zittau 2019

Podpora

Akce je součástí projektu **Odborná konference „Skládky a odpadové hospodářství“ v Žitavě** podpořeného Evropskou unií z Evropského fondu pro regionální rozvoj z Programu spolupráce Česká republika – Svobodný stát Sasko 2014-2020 v rámci Fondu malých projektů Euroregionu Nisa. č.p. ERN-0808-SN-26.02.2019

Förderung

Das Projekt **Fachkonferenz „Deponien und Abfallwirtschaft“ in Zittau** wurde von der Europäischen Union aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung mit dem Kooperationsprogramm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik 2014-2020 gefördert. Proj. Nr. ERN-0808-SN-26.02.2019

Deutscher Fachbearbeiter: Uwe Bartholomäus (Hochschule Zittau/Görlitz)
Editor: Lukáš Zedek (Technická univerzita v Liberci)
Překlady provedl: Sven Dietrich
Sborník byl připraven s využitím typografického systému LaTeX.

Inhaltsverzeichnis

Umweltgesetze und Genehmigungsverfahren **7**

Maršák, J.
Das neue Abfallgesetz und ein Ausblick auf die Abfallablagerung in der Tschechischen Republik 9

Drews, R.; Oeser, A.
Planrechtfertigung zur Erweiterung der Deponie Forst Autobahn mit dem Schüttbereich III zur Entsorgung mineralischer Abfälle aus dem Landkreis Spree-Neiße 15

Pilnáček, V.
Technische Normen der Abfalldeponierung - ein Jahr seit ihrer Aktualisierung 25

Dvořáková, P.
Kontrolltätigkeit der Tschechischen Umweltinspektion im Bereich der Abfalldeponierung 27

Sickerwasser und Grundwasser **31**

Dunger, V.; Schmidt, C.; Šembera, J.
Auswirkungen des Klimawandels auf Deponieoberflächenabdichtungen in ausgewählten Naturräumen Nordböhmens 33

Al-Akel, S.; Sandig, F.
Einfluss der Porosität und des Wassergehalts auf die Luft- und Wasserdurchlässigkeit von Böden 47

Peters, T.
Reinigung von Deponie-Sickerwasser mittels Umkehrosmose als Beitrag für sichere Deponien während Ablagerung und Nachsorge 49

Kontrollsysteme, Standsicherheit **57**

Nosko, V.
Elektronische Monitoringsysteme zur Feststellung von Undichtheiten in Dichtungsbahnen der Abfalldeponien 59

Schwöbken, S.
Langfristige Kontrollen von Deponieabdichtungen mit Dichtungskontrollsystemen . . . 69

Zedek, L.; Kurka, J.; Šembera, J.
Technische Verwirklichung und Schwierigkeiten beim Einschätzen der Böschungsstabilität abhängig von Bodentyp, Neigung, Böschungslänge und Grundwasserstand . . . 77

Bürgermeisterkippen **85**

Egloffstein, T.
„Bürgermeisterkippen“ - vom ersten deutschen Abfallgesetz zur Altlastenbearbeitung von heute (deutsche Fassung) 87

Egloffstein, T.
„Bürgermeisterkippen“ - vom ersten deutschen Abfallgesetz zur Altlastenbearbeitung von heute (tschechische Fassung) 91

Bartholomäus, U.; Schoenherr, J. I.
Zum Werdegang der „Bürgermeisterkippen“ in Ostsachsen 95

Hráská, D.
Die Problematik von „Schwarzen Deponien“ im böhmischen Grenzgebiet. 105

Arnstadt, T.; Oettel, P.; Bartholomäus, U.; Meißner, S.; Schoenherr, J.I.
Über Langzeitversuche auf der Lysimeteranlage in Bautzen-Nadelwitz und auf Testfeldern der Spülhalde Hammerberg bei Freiberg 109

Deponiegas und Brände **123**

Seyfert, A.
Vorhaben einer Deponie-Restgasverwertung mit Gasspeicher und BHKW-Anlage . . . 125

Hrabčák, M.
Verifizierung der Berechnung von Treibhausgasen (LFG) für kleine Deponien 135

Michna, R.
Brände auf Kommunalabfalldeponien 143

Problemfälle der Kreislaufwirtschaft **153**

Casals, E.; Drewes, R.
Beräumung von illegalen Abfallablagerungen in Brandenburg: Erfassung, Bewertung, Priorisierung 155

Pasulka, M.
Erdaushub, Voraussetzungen und Möglichkeiten für die Nutzung von Überschüssen . 163

Labbert, M.
Kunststoffsortierung im Recycling 175

Postersession **195**

Zedek, L.; Kurka, J.; Šembera, J.
Technische Verwirklichung und Schwierigkeiten beim Einschätzen der Böschungsstabilität abhängig von Bodentyp, Neigung, Böschungslänge und Grundwasserstand (Poster) 197

Obsah

Zákony o životním prostředí a postupy schvalování **7**

Maršák, J.
Nový zákon o odpadech a výhled skládkování odpadů v ČR 9

Drews, R.; Oeser, A.
Posouzení oprávněnosti záměru na vybudování nové části skládky minerálních odpadů 15

Pilnáček, V.
Technické normy pro skládkování odpadu - rok od aktualizace 25

Dvořáková, P.
Kontrolní činnost ČIŽP při skládkování odpadů 27

Průsakové a podzemní vody **31**

Dunger, V.; Schmidt, C.; Šembera, J.
Účinky změn klimatu na povrchové utěsnění skládek ve vybraných přírodních lokalitách Severních Čech 33

Al-Akel, S.; Sandig, F.
Vliv porozity a vodního režimu na propustnost půd 47

Peters, T.
Čištění skládkových výluhů pomocí reverzní osmózy jako příspěvek k bezpečnosti skládek v průběhu provozu a následné péče 49

Monitorovací systémy, stabilita svahů **57**

Nosko, V.
Elektrické monitorovacie systémy na detekciu a lokalizáciu netesností v izolačných fóliách skládok odpadov 59

Schwöbken, S.
Dlouhodobé kontroly izolace skládek systémy pro testování těsnosti 69

Zedek, L.; Kurka, J.; Šembera, J.
Technická realizace a úskalí vyhodnocování stability svahů v závislosti na typu zeminy, sklonu svahu, délce svahu a hloubce hladiny podzemní vody 77

Decentralizované obecní skládky a vyplňování terénních nerovností odpadem 85

Egloffstein, T.
„Burgermeisterkippen“ - od prvního německého zákona o odpadech po řešení reliktních zátěží dnes (německá verze) 87

Egloffstein, T.
„Burgermeisterkippen“ - od prvního německého zákona o odpadech po řešení reliktních zátěží dnes (česká verze) 91

Bartholomäus, U.; Schoenherr, J. I.
O vývoji decentralizovaných obecních skládek ve východním Sasku 95

Hráská, D.
Problematika „černých skládek“ v českém pohraničí 105

Arnstadt, T.; Oettel, P.; Bartholomäus, U.; Meißner, S.; Schoenherr, J.I.
K dlouhodobým zkouškám lysimetrů na lokalitě Budyšín-Nadelwitz a na testovacích polích usazovací nádrže Hammerberg u Freibergu 109

Skládkový plyn a požáry skládek 123

Seyfert, A.
Zhodnocování zbytkového skládkového plynu pomocí plynojemu a blokové elektrárny 125

Hrabčák, M.
Verifikácia výpočtu produkcie LFG pre malé skládky 135

Michna, R.
Požáry skládek komunálního odpadu 143

Obtíže oběhového hospodářství 153

Casals, E.; Drewes, R.
Likvidace nelegálních skládek odpadů v Braniborsku: registrace, vyhodnocení, stanovení priorit 155

Pasulka, M.
Výkopové zeminy, podmínky a možnosti využití přebytků 163

Labbert, M.
Třídění umělých hmot při recyklaci 175

Posterová sekce 195

Zedek, L.; Kurka, J.; Šembera, J.
Technická realizace a úskalí vyhodnocování stability svahů v závislosti na typu zeminy, sklonu svahu, délce svahu a hloubce hladiny podzemní vody (Poster) 197

Umweltgesetze und Genehmigungsverfahren

Zákony o životním prostředí a postupy schvalování

Das neue Abfallgesetz und ein Ausblick auf die Abfallablagerung in der Tschechischen Republik

Nový zákon o odpadech a výhled skládkování odpadů v ČR

Jan Maršák[1]

Kurzfassung

Im Jahre 2018 wurden Veränderungen der sechs wichtigsten Richtlinien für den Abfall- und Verpackungsbereich beschlossen - die Abfallrichtlinie, die Abfalldeponierichtlinie, die Verpackungsrichtlinie und die Richtlinie zu Produkten mit begrenzter Lebensdauer. Bei der Abfalldeponierung sind die wichtigsten beschlossenen Ziele: Recyceln von Kommunalabfällen (65 % im Jahre 2035) und die Reduzierung der direkten Ablagerung von Kommunalabfällen auf Deponien (max. 10% im Jahre 2035). Das Ziel einer Einschränkung dieses Deponierens wird durch die Tschechische Republik grundsätzlich unterstützt.

Die Mitgliedstaaten sind verpflichtet, diese Ziele in die nationale Gesetzgebung bis Juli 2020 zu überführen. Im Jahre 2019 wurden durch das Ministerium für Umwelt der Tschechischen Republik ein neues Abfallgesetzt, ein neues Gesetz über ausgewählte Produkte mit begrenzter Lebensdauer und eine Novellierung des Verpackungsgesetztes vorgelegt, mittels der die Überführung durchgeführt wird. Die Priorität des neuen Abfallgesetzes ist eine maßgebliche Unterstützung eines höheren Niveaus der Abfallbehandlung, um somit die ungünstige Situation in der Tschechischen Republik insbesondere hinsichtlich des Kommunalabfalls zu verändern, der derzeit überwiegend deponiert wird (2017 noch 45% der Abfälle).

Abstrakt

V roce 2018 byly schváleny změny šesti důležitých směrnic pro odpadový a obalový sektor – směrnici o odpadech, směrnici o skládkách odpadů, směrnici o obalech a směrnice k výrobkům s ukončenou životností. Ve vztahu ke skládkování odpadů jsou nejdůležitějšími schválené cíle pro recyklaci komunálních odpadů (65 % v roce 2035) a redukční cíl 10 % z produkce komunálních odpadů, které budou moci být ukládány na skládku v roce 2035. Česká republika podporovala zásadním způsobem cíl týkající se omezení skládkování.

Členské státy mají povinnost do července 2020 provést transpozici do národních právních předpisů. Ministerstvo životního prostředí předložilo v roce 2019 do legislativního procesu nový zákon o odpadech, nový zákon o vybraných výrobcích s ukončenou životností a novelizaci zákona o obalech, prostřednictvím kterých bude kompletní transpozice provedena. Prioritou nového zákona o odpadech bude významně podpořit vyšší úrovně hierarchie nakládání s odpady a změnit stávající nevhodnou situaci v České republice zejména co se týče komunálních odpadů, kde stále převládá ukládání na skládky. V roce 2017 bylo skládkováno 45% komunálních odpadů.

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

1 Změny evropských právních předpisů související se skládkováním odpadů

Legislativa odpadového hospodářství hraje významnou roli při prosazování principů oběhového hospodářství zejména prostřednictvím opatření, která povedou k výraznému omezování skládkování odpadů, podpoře prevence a zlepšení využití odpadů jako druhotných surovin.

V červnu 2018 byly na evropské úrovni publikovány změny legislativy odpadů a obalů. Tyto změny, jejichž rozsah je poměrně výrazný, se dotkly celkem šesti směrnic:

- Směrnice, která mění směrnici o odpadech - 2018/851/EU,
- Směrnice, která mění směrnici o obalech - 2018/852/EU,
- Směrnice, která mění směrnici o skládkách odpadů - 2018/850/EU,
- Směrnice, kterou se mění směrnice 2000/53/ES o vozidlech s ukončenou životností, 2006/66/ES o bateriích a akumulátorech a odpadních bateriích a akumulátorech a 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních – 2018/849/EU.

Členské státy mají 24 měsíců na provedení transpozice těchto změn. Transpoziční lhůta končí v červenci 2020.

Nové schválené cíle v jednotlivých směrnicích zachycuje tabulka 1. Právně závazné evropské cíle pro nakládání s odpady a obaly jsou považovány za jedny z hlavních nástrojů pro přechod k oběhovému hospodářství.

Ve vztahu ke skládkování odpadů jsou nejdůležitějšími schválené cíle pro recyklaci komunálních odpadů (65 % v roce 2035), redukční cíl skládkovat pouze 10 % a méně z produkce komunálních odpadů a cíl nepřijímat na skládku žádný odpad vhodný k recyklaci nebo jinému využití, zejména komunální odpad, s výjimkou odpadu, u něhož skládkování vede k nejlepšímu výsledku z hlediska životního prostředí v souladu s článkem 4 směrnice 2008/98/ES. Česká republika podporovala zásadním způsobem cíl týkající se omezení skládkování.

2 Příprava nové legislativy pro odpady, výrobky s ukončenou životností a obaly

Česká republika jako členský stát Evropské unie je povinna v transpoziční lhůtě provést všechny nové povinnosti z evropské do příslušné národní legislativy. Ze strany Ministerstva životního prostředí byly proto do legislativního procesu předloženy 4 právní předpisy:

- nový zákon o odpadech,
- nový zákon o výrobcích s ukončenou životností,
- novela zákona o obalech,
- změnový zákon.

V roce 2019 proběhlo meziresortní připomínkové řízení, kde byla vyřešena zásadní většina rozporů. V červenci 2019 byly zákony zaslány na Legislativní radu vlády (LRV). Zákony byly v průběhu srpna a září projednány v 5 komisích LRV. V září 2019 byly zákony projednány poprvé na plénu LRV. V říjnu 2019 proběhlo další projednávání na plénu LRV.

Po projednání na plénu LRV budou zákony předloženy k odsouhlasení vládě a následně odeslány do Poslanecké sněmovny.

Návrhy počítají s platností od července 2020 a účinností od ledna 2021.

Tabulka 1: Nové závazné evropské cíle pro nakládání s komunálními odpady a obaly.

Směrnice o odpadech		
Recyklace komunálních odpadů	***2025***	55%
	2030	60%
	2035	65%
Směrnice o skládkách odpadů		
Skládkování využitelných a recyklovatelných odpadů	***2030***	Členské státy usilují o zajištění toho, aby od roku 2030 nebyl přijímán na skládku žádný odpad vhodný k recyklaci nebo jinému využití, zejména komunální odpad, s výjimkou odpadu, u něhož skládkování vede k nejlepšímu výsledku z hlediska životního prostředí v souladu s článkem 4 směrnice 2008/98/ES.
Skládkování komunálních odpadů	***2035***	10% z produkce komunálních odpadů nebo méně
Směrnice o obalech		
Cíle (celkové)	***2025***	Recyklováno 65 % hmotnosti veškerých obalových odpadů
	2030	Recyklováno 70 % hmotnosti veškerých obalových odpadů
Cíle (jednotlivé materiály)	***2025***	Recyklace konkrétních materiálů obsažených v obalovém odpadu: • *50 % plastů;* • *25 % dřeva;* • *70 % železných kovů;* • *50 % hliníku;* • *70 % skla;* • *75 % papíru a lepenky*
	2030	Recyklace konkrétních materiálů obsažených v obalovém odpadu: • *55 % plastů;* • *30 % dřeva;* • *80 % železných kovů;* • *60 % hliníku;* • *75 % skla;* • *85 % papíru a lepenky.*

3 Hlavní priority nového zákona o odpadech

1. Zlepšení naplňování hierarchie nakládání s odpady v ČR.
2. Maximální legislativní podpora zvýšení recyklace odpadů a oběhového hospodářství.
3. Legislativní podpora pro další odklon využitelných a recyklovatelných odpadů ze skládek.
4. Umožnit splnění povinností ČR ze směrnic EU.
5. Omezení nelegálního nakládání s odpady.
6. Sjednocení podmínek pro nakládání odpady a jejich lepší vymahatelnost.
7. Zpřehlednění přechodu odpad/neodpad.
8. Zpřísnění podmínek provozu mobilních zařízení.
9. Posílení ekonomických nástrojů k podpoře recyklace (poplatky za ukládání odpadů na skládky).
10. Posílení možností pro zavedení motivačních plateb za odpad pro občany (systém „pay as you throw“ - PAYT).

4 Omezení skládkování odpadů - vybrané okruhy v zákoně o odpadech

Dle posledních hodnocení České republiky, které byly publikovány ze strany Evropské komise (Přezkum provádění právních předpisů v oblasti životního prostředí 2019 - Zpráva o České republice; Country Report Czech Republic 2019) je hlavním způsobem nakládání s komunálními odpady stále skládkování.

Údaje MŽP o nakládání s komunálními odpady za rok 2018 toto hodnocení potvrzují. Komunální odpady se podílí na celkové produkci odpadů přibližně 15%. V České republice bylo vyprodukováno za rok 2018 5,8 miliónů tun komunálních odpadů. Produkce na obyvatele činila 544 kg/rok. Ve způsobech nakládání stále dominuje skládkování komunálních odpadů. Za rok 2018 bylo skládkováno 45% komunálních odpadů, což představuje více než 2,6 miliónů tun komunálních odpadů uložených na skládku. Materiálově využito bylo 38% a energeticky 12% z produkce komunálních odpadů.

Za poslední tři roky neklesla relativní, ani absolutní, úroveň skládkování v ČR. V letech 2016, 2017 a 2018 byla míra skládkování komunálních odpadů 45%. V absolutních číslech dokonce množství skládkovaných odpadů vzrůstá. Kombinace způsobů nakládání s komunálními odpady s dominujícím skládkování není dlouhodobě udržitelná a pro ČR výhodná. Za 15 let musí poklesnout skládkování komunálních odpadů na hodnotu 10% nebo méně z roční produkce komunálních odpadů. Za 10 let musí být zamezen vstup recyklovatelným a využitelným odpadům na skládku.

Návrh nového zákona o odpadech jednoznačně směřuje ke změně této situace.

5 Cíle pro recyklaci a omezování skládkování komunálních odpadů

Nový zákon o odpadech bude stanovovat podíly jednotlivých způsobů nakládání s komunálními odpady a kopíruje v tomto požadavky nové evropské legislativy:

- Recyklace komunálních odpadů - v roce 2025 – 55%, v roce 2030 – 60%, 2035 – 65%.
- Nejvýše 10% skládkování komunálních odpadů v roce 2035.

- Nejvýše 25% energetického využití komunálních odpadů v roce 2035 (lze podíl zvýšit pouze na úkor skládkování).

Dále budou stanoveny třídící cíle pro obce:

- Odděleně soustřeďované recyklovatelné složky komunálního odpadu musí tvořit v kalendářním roce 2025 a následujících alespoň 60 %, v kalendářním roce 2030 a následujících alespoň 65 % a v kalendářním roce 2035 a následujících alespoň 70 % z celkového množství komunálních odpadů produkovaných obcí v daném kalendářním roce.

6 Zákaz ukládání některých druhů odpadů na skládky odpadů

Tento nástroj je obsažen již ve stávajícím zákoně o odpadech a je navržen i do nového zákona o odpadech. Je ovšem navrženo posunutí zákazu z roku 2024 na rok 2030 (v souladu se směrnicí o skládkách odpadů - členské státy usilují o zajištění toho, aby od roku 2030 nebyl přijímán na skládku žádný odpad vhodný k recyklaci nebo jinému využití, zejména komunální odpad, s výjimkou odpadu, u něhož skládkování vede k nejlepšímu výsledku z hlediska životního prostředí v souladu s článkem 4 směrnice 2008/98/ES.).

Nejedná se o úplný zákaz skládkování odpadů, jedná se o zákaz skládkovat vybrané druhy odpadů. Od 1. ledna 2030 bude zakázáno ukládat odpady:

- s výhřevností v sušině vyšší než 6,5 MJ/kg,
- nesplňující parametr biologické stability - AT4 10 $\mathrm{mgO_2/g}$,
- odpady, které je možné recyklovat stanovené prováděcím právním předpisem,
- nebezpečné odpady, které je technicky možné zpracovat ve spalovnách nebezpečného odpadu na území ČR stanovené prováděcím právním předpisem.

7 Poplatek za ukládání odpadů na skládky

Podle dokumentů EK a OECD je klíčovým ekonomickým problémem odpadového hospodářství v ČR velmi nízká cena za skládkování odpadů. V současnosti je sazba poplatku za uložení 1 tuny komunálních nebo ostatních odpadů – 500 Kč. Poplatek nebyl změněn od roku 2009, což znamená, že klesá jeho reálná hodnota (zhruba 430 Kč). Skládkování má konkurenční výhodu oproti vhodnějším způsobům zpracování (recyklace, materiálové využití, energetické využití). Jedná se o situaci, která je v rozporu s hierarchií nakládání s odpady a strategií MŽP v oblasti odpadového hospodářství.

V novém zákoně o odpadech je navrženo jiné rozlišení sazeb poplatků pro různé druhy odpadů (tabulka 2). Snahou je zamezit ukládání recyklovatelných a využitelných odpadů. Pokud odpad nelze využít, pak se příslušná sazby nebude v podstatě měnit oproti stávajícímu stavu. Je navržen velmi pozvolný nárůst poplatků u využitelných odpadů směřovaný k roku 2030. Poplatek u využitelných odpadů by měl v roce 2029 činit 1850 Kč/tuna. Snížena sazba za nebezpečné odpady na úroveň 2000 Kč/tuna. V zákoně bude uveden zákaz skládkování spalitelných nebezpečných odpadů (spalitelné nebezpečné odpady budou stanoveny prováděcím předpisem).

8 Třídící sleva pro obce

Při dosažení cílů pro oddělené soustřeďování recyklovatelných odpadů (tabulka 3) bude obec platit za komunální odpad jako za zbytkový odpad, tedy cca 500 Kč/t. Jedná se o motivační nástroj pro obce, které se chtějí orientovat na vysokou míru třídění. Do odděleně soustřeďovaných složek se bude započítávat: papír, plasty, sklo, kovy a biologicky rozložitelné odpady. Výpočtový vzorec stanoví prováděcí právní předpis.

Tabulka 2: Sazba pro jednotlivé dílčí základy poplatku za ukládání odpadů na skládku (v Kč/t).

	Poplatkové období v roce									
Dílčí základ poplatku za ukládání	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030 a dále**
využitelného odpadu	800	900	1000	1250	1500	1600	1700	1800	1850	1850
zbytkového odpadu	500	500	500	500	500	600	600	700	700	800
nebezpečného odpadu	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
vybraného technologického odpadu	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

Tabulka 3: Podíl odděleně soustřeďovaných recyklovatelných komunálních odpadů z celkového množství komunálního odpadu.

Rok	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**
Minimální podíl	35 %	45 %	55 %	60 %	65 %	70 %	70 %	70 %	75

9 Závěr

V České republice přetrvává dlouhodobě nevhodná skladba způsobů nakládání s komunálními odpady. V roce 2018 bylo skládkováno 45% z produkce komunálních odpadů, což představuje přes 2,6 miliónů tun komunálních odpadů. V ČR se skládkuje dvojnásobně více komunálních odpadů, než je průměr Evropské unie (23% v roce 2017).

Nové závazné cíle Evropské unie požadují redukovat skládkování komunálních odpadů na 10% nebo méně z roční produkce v roce 2035. Z těchto důvodů MŽP předložilo nový zákon o odpadech, který by měl přelomovým způsobem podpořit oběhové hospodářství, recyklaci, využití a třídění odpadů v České republice.

Nový zákon o odpadech neobsahuje nevyzkoušené experimenty, ale naopak formuluje prověřená opatření – postupné navyšování poplatků za ukládání odpadů na skládky a zákaz skládkování vybraných druhů odpadů, která zafungovala v jiných zemích Evropské unie.

Nový zákon o odpadech jako základní právní předpis pro nakládání s odpady je nejsilnějším nástrojem, kterým Ministerstvo životního prostředí disponuje, k žádoucí změně situace v nakládání zejména s komunálními odpady v ČR. Zákon jednoznačně cílí na odklon využitelných odpadů ze skládek.

Planrechtfertigung zur Erweiterung der Deponie Forst Autobahn mit dem Schüttbereich III zur Entsorgung mineralischer Abfälle aus dem Landkreis Spree-Neiße

Posouzení oprávněnosti záměru na vybudování nové části skládky minerálních odpadů

Ralf Drews[1], Anne Oeser[2]

Kurzfassung

Das Land Brandenburg legte 2015 das Gutachten „Entscheidungsgrundlage für die Prüfung der Planrechtfertigung im Rahmen von Planfeststellungsverfahren von Deponien der Klasse I im Bundesland Brandenburg“ vor.

Im Ergebnis des Gutachtens ist festzustellen, dass es im Süden Brandenburgs keine Entsorgungskapazitäten für mineralische Abfälle der Deponieklasse I gibt.

Im Landkreis Spree-Neiße ist eine 10-jährige Entsorgungssicherheit im Bereich der mineralischen Abfälle nicht mehr gegeben bzw. kann nur durch

- die Schaffung neuer eigener Deponiekapazitäten durch den Landkreis,
- durch Kooperation mit privaten Entsorgern,
- die Ausschreibung der zu beseitigenden Mengen,
- durch eine interkommunale Zusammenarbeit
- oder durch einen Ausschluss der mineralischen Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen als privaten Haushaltungen gesichert werden.

Im Ergebnis eines folgend erarbeiteten Konzeptes zur künftigen Entsorgung mineralischer Abfälle im Landkreis Spree-Neiße, wurde die Schaffung neuer eigener Deponiekapazitäten durch den Landkreis beschlossen.

Bestandteil jedes Planverfahrens zur Errichtung einer neuen Deponie ist die Planrechtfertigung.

Wie eine solche Planrechtfertigung erstellt werden kann und was dabei aus Sicht eines öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers zu beachten ist, wird am Beispiel der Errichtung eines neuen Schüttbereiches für mineralische Abfälle auf der bestehenden Deponie des Landkreises Spree-Neiße, der Deponie Forst-Autobahn dargestellt.

[1]Landkreis Spree-Neiße; Heinrich-Heine-Straße 1; 03149 Forst (Lausitz); Tel. 03562 6925154; r.drews-abfallwirtschaft@lkspn.de

[2]Landkreis Spree-Neiße; Heinrich-Heine-Straße 1; 03149 Forst (Lausitz); Tel. 03562 6925155; a.oeser-abfallwirtschaft@lkspn.de

Abstrakt

Spolková země Braniborsko předložila v roce 2015 posudek „Podklady pro rozhodnutí pro ověření oprávněnosti projektu (Planrechtfertigung) v rámci řízení o přípustnosti / povolení záměrů a infrastrukturních opatření, ovlivňujících území (Planfeststellungsverfahren) pro skládky třídy I. ve Spolkové zemi Braniborsko“.

Na základě výsledku tohoto posudku lze konstatovat, že na jihu Braniborska neexistují žádné kapacity pro likvidaci minerálních odpadů v kategorii třídy skládky I.

V okrese Spree-Neiße není zajištěná desetiletá jistota likvidace minerálních odpadů, případně jí lze zajistit pouze:

- vytvořením nových vhodných kapacit skládek ze strany okresu,
- kooperací se soukromými subjekty odpadového hospodářství,
- vypsáním soutěže na objem odpadů, který má být likvidován,
- interkomunální spoluprací
- nebo vyloučeném minerálních odpadů z jiných zdrojů odpadů, nežli soukromých domácností.

Na základě výsledku následně zpracované koncepce budoucí likvidace minerálních odpadů na okrese Spree-Neiße bylo rozhodnuto o vybudování nových vlastních kapacit skládek ze strany okresu.

Součástí každého procesu přípravy vybudování nové skládky je posouzení oprávněnosti záměru.

V příspěvku bude na příkladu vybudování nové oblasti pro minerální odpady na stávající skládce Forst (Lausitz)-Autobahn toto posouzení popsáno. Současně bude upozorněno na skutečnosti, které je přitom nutno z hlediska veřejnoprávního subjektu v rámci tohoto posuzování zohlednit.

1 Ausgangssituation

Nach § 20 Abs. 1 KrWG[1], ist der Landkreis Spree-Neiße als öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger verpflichtet, die in seinem Gebiet angefallenen und überlassenen Abfälle aus privaten Haushaltungen und Abfälle zur Beseitigung aus anderen Herkunftsbereichen nach Maßgabe der §§ 6 bis 11 KrWG zu verwerten oder nach Maßgabe der §§ 15 und 16 KrWG zu beseitigen.

Das bedeutet, dass sich der Landkreis nur mit Zustimmung des zuständigen Landesamtes für Umwelt Brandenburg (LfU) von seiner Entsorgungspflicht entbinden kann, soweit diese Abfälle nach Art, Menge oder Beschaffenheit nicht mit den in Haushaltungen anfallenden Abfällen entsorgt oder die Sicherheit der umweltverträglichen Beseitigung im Einklang mit den Abfallwirtschaftsplänen der Länder durch einen anderen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger oder Dritten gewährleistet werden kann.

Der Verpflichtung zur Verwertung oder Beseitigung mineralischer Abfälle aus Haushaltungen kann sich der öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger nicht entziehen. Er kann diese nur durch die Schaffung eigener Deponiekapazitäten, durch Kooperation mit privaten Entsorgern, der Beauftragung Dritter oder durch eine interkommunale Zusammenarbeit erfüllen.

Auf Basis eines 2015 erarbeiteten Konzeptes zur künftigen Entsorgung mineralischer Abfälle im Landkreis Spree-Neiße, wurde durch den Kreistag des Landkreises die Schaffung eigener neuer Deponiekapazitäten beschlossen.

Der Errichtung einer neuen Deponie oder eines neuen Deponieabschnittes, bedarf jedoch einer Planrechtfertigung und Planrechtfertigung. Dabei sind eine umfassende und nachvollziehbare Ermittlung des Istzustandes und eine daraus abgeleitete verlässliche Mengenbilanz unabdingbar.

Die Erarbeitung der Mengenprognosen basiert neben den bekannten gesetzlichen Grundlagen zur Verwertungs- oder Beseitigungspflicht (Kreislaufwirtschaftsgesetz, Brandenburgisches Abfall- und Bodenschutzgesetz, Deponieverordnung, Gewerbeabfallverordnung) auch auf folgende sehr hilfreiche Handlungsrichtlinien:

- Brandenburger Leitfaden für den Rückbau von Gebäuden zur Steigerung der Ressourceneffizienz des Recyclings von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen von 2015
- Leitfaden „Ausschreibungen“ von 2017
- Leitfaden „Qualitätssicherung für RC-Baustoffe“ von 2018
- Leitfaden „Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von RC-Baustoffen im Vergleich zur Verwendung von Naturmaterial (Leitfaden Wirtschaftlichkeit) von 2019
- Brandenburgische Technische Richtlinien für Recycling-Baustoffe im Straßenbau (BTR RC-StB) von 2014
- Steckbrief „Kleinmengen von mineralischem Bauschutt“ der Landesanstalt für Umwelt von 2007

Als Bestandteil der Planrechtfertigung werden im Folgenden die Erarbeitung der Mengenbilanz, die daraus abgeleiteten Prognosen und die Alternativenprüfung dargestellt.

[1] Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 9 G v. 20.7.2017 I 2808

1.1 Anfall an mineralischen Abfällen zur Beseitigung

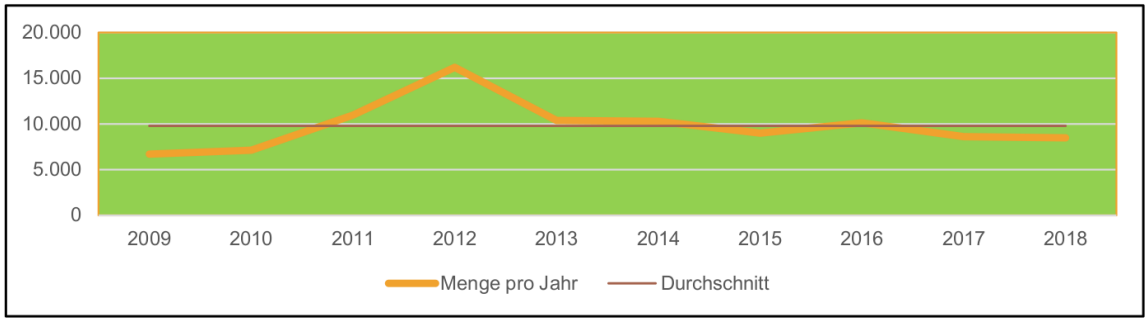


Abbildung 1: Beseitigungsmengen Deponie Forst-Autobahn

Durchschnittlich werden auf der einzigen im Landkreis Spree-Neiße noch betriebenen Deponie, der Deponie Forst-Autobahn ca. 10.000 Mg/Jahr mineralische Abfälle beseitigt.

Nach Schließung der Deponie Reuthen im Jahr 2009 wurden die an den Wertstoffhöfen in Spremberg, Welzow, Guben, Werben und Forst angedienten mineralischen Abfälle (außer Mineralfaserabfälle) bis 2016 ausschließlich auf dieser Deponie beseitigt. Die angelieferten Mengen sind seit 2009 ständig angestiegen und haben sich bis 2018 mit ca. 4.000 Mg/Jahr vervierfacht.

Seit 2017 erfolgt auf den Wertstoffhöfen eine nochmalige Trennung der mineralischen Abfälle in DK 0 und DK I Materialien. Dadurch können die unbelasteten DK 0 Abfälle in einer Größenordnung von ca. 1.000 Mg/a bzw. 25 % des Gesamtaufkommens auf der Deponie Reuthen im Rahmen der Profilierung eingesetzt werden.



Abbildung 2: Wertstoffhof Spremberg

1.2 Anfall an mineralischen Abfällen zur Verwertung als Deponieersatzbaustoff

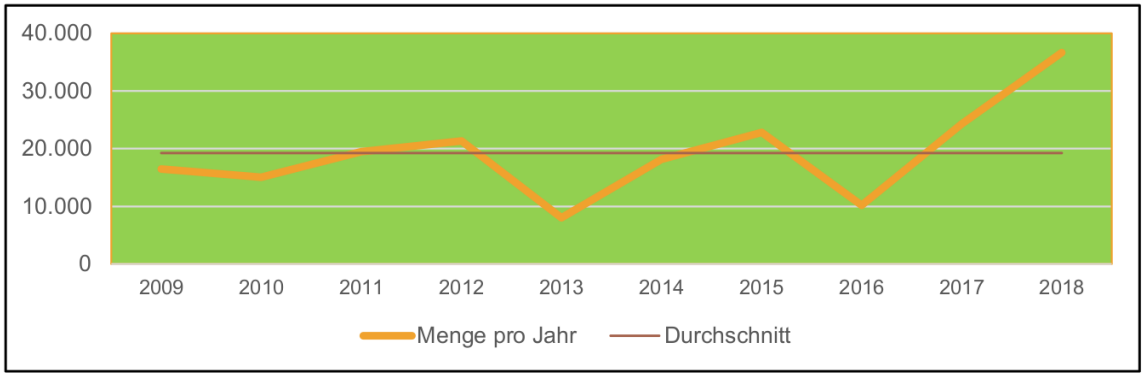


Abbildung 3: Verwertungsmengen Deponie Reuthen

Auf der Deponie Reuthen werden überwiegend die Abfallarten 170504 Boden und Steine mit 31 % und 170107 Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik mit 44 % der Deponieklasse 0 als Profilierungs- oder Böschungssicherungsmaterial verwertet.

Neben der Verwertung auf der Deponie Reuthen fanden im Rahmen der laufenden Profilierungs-, Sicherungs- und Rekultivierungsmaßnahmen die o. g. mineralischen Abfälle als Ersatzbaustoffe auch auf anderen Deponien des Landkreises Verwendung. Diese Verwertung erfolgte jeweils einsatzbezogen auf Grundlage abfallrechtlicher Anordnungen.

Von 2008 bis 2018 konnten im Landkreis Spree-Neiße insgesamt 415.253 Mg mineralische Abfälle, insbesondere zur Profilierung, für die Ausgleichs- und Tragschicht, als Gasdränschicht und zur Abdeckung eingesetzt werden.

1.3 Anfall an mineralischen Abfällen zur Verwertung und Beseitigung in der Bau Recycling- und Entsorgungswirtschaft

Im Zuge der Erarbeitung dieser Planrechtfertigung wurde bei in der Region tätigen Abriss- und Entsorgungsbetrieben eine umfangreiche Recherche durchgeführt. Da die wichtigsten Bau-, Recycling- und Entsorgungsbetriebe Angaben tätigten, konnte eine recht genaue Prognose erstellt werden.

Im Ergebnis der Umfrage ist festzustellen, dass es bereits ein sehr hohes Verwertungspotential insbesondere für Betonabbruch und Boden in der Region gibt. Trotzdem besteht gemäß den vorgenannten Angaben noch ein erheblicher Bedarf an Beseitigungskapazitäten für die nicht verwertbaren mineralischen Abfälle in Höhe von ca. 15.000 Mg/Jahr.

m Rahmen einer Eigenrecherche wurde weiterhin festgestellt, dass bei einem Großteil der Recyclingunternehmen seit Jahren große Zwischenlager für Ziegel und Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik aufgebaut wurden. Eine stoffliche Verwertung der Abfälle aus diesen Zwischenlagern war bisher kaum möglich, so dass diese Abfälle in einer Größenordnung von ca. 55.000 Mg künftig zu beseitigen sind.

2 Prognose zum Anfall an mineralischen Abfällen im Landkreis Spree-Neiße

2.1 Prognostizierter Anfall an mineralischen Abfällen auf Basis der Verwertungen als Deponieersatzbaustoff

Im Rahmen der laufenden Sicherungs- und Rekultivierungsmaßnahmen werden auch weiterhin mineralische Abfälle als Deponieersatzbaustoffe, vor allem zur Profilierung des Depo-

niekörpers, zur Herstellung der Ausgleichs- und Tragschicht oder auch der Gasdränschicht eingesetzt.

Der Einsatz mineralischer Baurestmassen für die Entwässerungs- und Rekultivierungsschicht ist zwar möglich, aber in der Praxis auf Grund der strengen Anforderungen kaum realisierbar. Für diesen Einsatzzweck sind meist nur produktionsspezifische Abfälle wie Schlacken, Baggergut und Glasabfälle geeignet. Entsprechende produktionsspezifische Abfälle fallen in der erforderlichen Größenordnung im Landkreis nicht an.

Der Einsatz von Deponieersatzbaustoffen kann nur auf Grundlage abfallrechtlicher Anordnungen des Landesamtes für Umwelt Brandenburg (LfU) erfolgen. Diese Ersatzbaustoffe müssen für den jeweiligen Einsatzzweck technisch geeignet sein und zwingend die Zuordnungskriterien und Zuordnungswerte der Spalte 5 der Tabelle 2 des Anhanges 3 der Deponieverordnung einhalten. Nur beim Schüttbereich II der Deponie Forst-Autobahn sind Zuordnungswerte bis Spalte 6 (Deponieklasse I) zulässig.

Auf Grund der Qualitätsvorgaben des BQS 7-1, BQS 7-2 oder BQS 7-3 ist ein Einsatz von als Abfall anfallenden Böden in der Rekultivierungsschicht nicht oder nur sehr aufwendig zu realisieren. Es ist daher davon auszugehen, dass der noch bestehende Bedarf an Rekultivierungsschichtmaterialien in Höhe von ca. 450.000 Mg aus Primärrohstoffen gedeckt werden muss.

Verlässlich prognostiziert werden kann der künftige Bedarf an Profilierungsmaterial. Zur Profilierung der Deponie Reuthen werden mit Stand 01.01.2019 noch ca. 185.000 Mg Deponieersatzbaustoffe der Abfallart 170504 Boden und Steine und 170107 Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik benötigt. Das noch bis 2026 im Rahmen der Sicherung und Rekultivierung aller Deponien im Landkreis Spree-Neiße vorhandene Verwertungspotential kann mit ca. 262.000 Mg bzw. ca. 40.000 Mg/Jahr angegeben werden.

2.2 Vergleich Anfall und künftiger Bedarf an mineralischen Abfällen zur Verwertung als Deponieersatzbaustoff

Für den Einsatzzweck Deponieprofilierung kann der Bedarf an Deponieersatzbaustoffen durch den Anfall der vorzugsweise einzusetzenden Abfallart 170107 Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik sowie der Abfallart 170504 Boden und Steine bis 2025 voll gedeckt werden. Ab 2026 besteht kein Bedarf mehr.

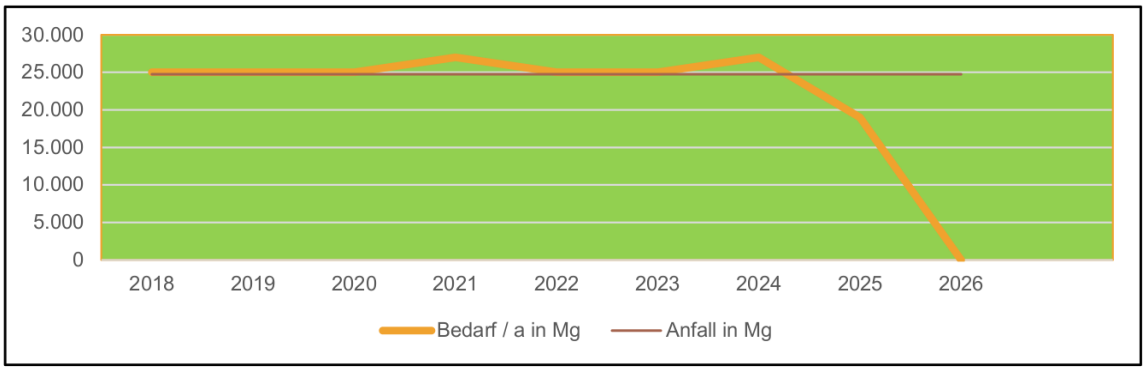


Abbildung 4: Gegenüberstellung Anfall und Bedarf Deponieersatzbaustoffe zur Profilierung

Dem gegenüber können nicht alle anfallenden Deponieersatzbaustoffe der Abfallart 170504 Boden und Steine als Trag- und Ausgleichsschicht verwendet werden. Ein Einsatz ist nur in den Jahren 2020/2021 und 2024/2025 möglich. Die anfallenden Mengen 2018/2019 sowie 2022/2023 werden jedoch im Rahmen der Profilierungsmaßnahmen mit verwertet.

Ab 2026 besteht jedoch auch diese Verwertungsmöglichkeit nicht mehr.

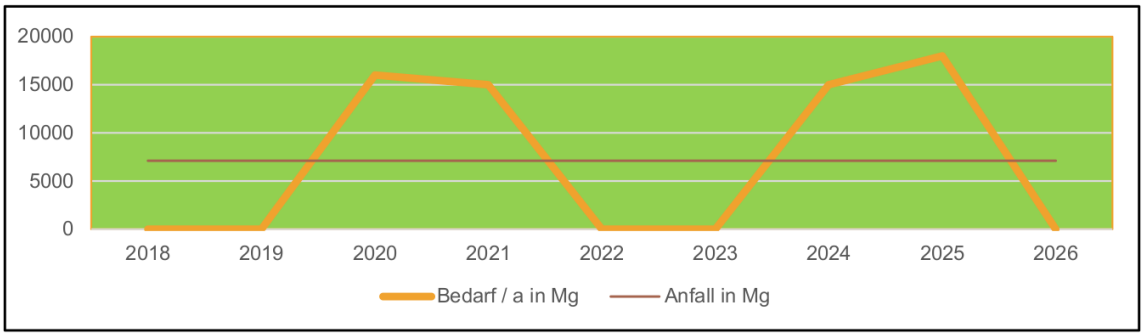


Abbildung 5: Gegenüberstellung Anfall und Bedarf Deponieersatzbaustoffe für die Trag- und Ausgleichsschicht

Im Ergebnis der Prognose ist festzustellen, dass nur noch bis zum Jahr 2025 größere Mengen an mineralischen Abfällen, insbesondere aus dem Baubereich als Deponieersatzbaustoff verwertet werden können.

Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der bis zu diesem Zeitpunkt eingesetzten Deponieersatzbaustoffe auf Grund der ungünstigen Materialeigenschaften oder eines hohen Schadstoffgehaltes einer Beseitigung zugeführt werden muss.

2.3 Prognostizierter Anfall an mineralischen Abfällen auf Basis der Beseitigungsmengen 2009 bis 2018

Die Menge der künftig zu verwertenden und zu beseitigenden mineralischen Abfälle ist von folgenden Einflussfaktoren abhängig:

- Bevölkerungsentwicklung
- Anzahl der Haushalte
- Stadtumbauprogramme
- Entwicklung der Infrastruktur
- Entwicklung der Bauwirtschaft
- Industriestruktur und Wirtschaftsentwicklung

2.3.1 Entwicklung des Anfalls an mineralischen Abfällen aus Haushaltungen

Bei den mineralischen Abfällen aus Haushaltungen handelt es sich überwiegend um Abfälle, die im Zuge von privaten Renovierungs- und Sanierungsarbeiten anfallen und der Abfallschlüsselnummer 200202 Boden und Steine zugeordnet werden. Der für den Landkreis Spree-Neiße prognostizierte Bevölkerungsrückgang von jährlich 1,5 % beeinflusst die Mengenentwicklung der mineralischen Abfälle aus diesem Bereich nicht, da gleichzeitig ein Anstieg der Singelhaushalte für einen Ausgleich sorgt. Dies hat zur Folge, dass insbesondere der an den Wertstoffhöfen aus den Haushalten angelieferte mineralische Abfall mit ca. 4.000 Mg als gleichbleibend prognostiziert werden kann. Die einzelnen mineralischen Bestandteile (Boden, Steine, Ziegel, Keramik) und mögliche Verunreinigungen mit Schadstoffen (Farben, Kleber, Verbundwerkstoffe) lassen eine Verwertung dieser Abfälle nicht zu. Diese Abfälle müssen einer Beseitigung zugeführt werden.

2.3.2 Entwicklung des Anfalls an mineralischen Abfällen aus dem Hochbaugewerbe

Haupteinflussfaktor auf das Aufkommen an mineralischen Abfällen im Landkreis ist die Bauwirtschaft.

Neben neuen Wohnungsbauvorhaben erhöhen vor allem geförderte Stadtumbauprojekte wie der Abriss von Wohnanlagen, Beseitigung alter Industriebrachen, Straßenbauprojekte, Renaturierungen oder Grünflächengestaltungen zeitweise den Anfall an mineralischen Abfällen. Diese Maßnahmen machen derzeit den Haupanteil des Anfalls aus. Der Anteil von im Landkreis als Deponieersatzbaustoff verwerteten oder abgelagerten Abfällen aus der Bauwirtschaft betrug in den letzten Jahren durchschnittlich 22.000 Mg/Jahr.

Es ist davon auszugehen, dass diese Abfälle auf Grund der Schadstoffkonzentration und der Eigenschaften (hoher Feinkornanteil, Schwammbelastung, hoher Sulfatanteil usw.) derzeit stofflich nicht verwertbar sind.

Durch den prognostizierten Bevölkerungsrückgang und hohen Leerstand an Wohnungen und Gewerberäumen wird in den nächsten Jahren der Abriss, Teilumbau oder Umbau gegenüber dem Neubau Priorität haben. Es werden demnach mehr mineralische Abfälle anfallen, wie im Zuge von Neubaumaßnahmen als RC-Materialien wieder verwertet werden können. Trotz Rückgang der Neubautätigkeit wird in den nächsten Jahren von einem gleichbleibenden Aufkommen an mineralischen Abfällen zur Verwertung und Beseitigung im Bereich des Hochbaus in Höhe von ca. 15.000 Mg/Jahr ausgegangen.

2.3.3 Entwicklung des Anfalls an mineralischen Abfällen aus dem Tief- und Straßenbaugewerbe

Der Einsatz von RC-Material im Straßen- und Tiefbau dürfte sich vor allem auf Betonrecyclingmaterial und Asphaltgranulat beschränken. Diese mineralischen Abfälle werden derzeit schon stofflich verwertet und wurden seit 2009 nur in einem sehr geringen Umfang abgelagert oder im Deponiebau verwertet.

Grundsätzlich wird der Straßenneubau im Landkreis in den nächsten Jahren weiter zurückgehen. Die Errichtung neuer Wohnbereiche oder Gewerbegebiete, der Bau neuer Umgehungs- und Zufahrtsstraßen wird durch den grundhaften Ausbau und die Instandsetzung defekter Straßenabschnitte ersetzt.

Die beim Ausbau und der Instandsetzung einsetzbaren RC-Baustoffe lassen sich weitestgehend aus den Ausbaumaterialien (Asphaltgranulat) gewinne. Vor dem Einbau neuer Schottertragschichten fällt jedoch in der gleichen Größenordnung ungeeigneter Bodenaushub wieder als Abfall an.

Es wird in den nächsten Jahren mit einem konstanten Aufkommen von ca. 9.000 Mg/Jahr aus diesem Bereich gerechnet.

2.3.4 Entwicklung des Anfalls an mineralischen Abfällen aus der Industriebetrieben

Obwohl im Landkreis Spree-Neiße Industriebetriebe auch große Mengen an mineralischen Massenabfällen (Aschen, Schlacken, Gießereisande, Gipsabfälle usw.) produzieren, werden diese nicht dem Landkreis zur Beseitigung angedient, sondern entsprechend verwertet oder nach Bergrecht entsorgt.

Mineralische Abfälle zur Beseitigung aus Industriebetrieben fallen im Landkreis derzeit nicht an. Ein künftiger Anfall kann daher auch nicht prognostiziert werden.

2.3.5 Entwicklung des Anfalls an mineralischen Abfällen aus der Entsorgungswirtschaft

Durch die Bau- und Entsorgungswirtschaft werden ca. 10.000 Mg/Jahr außerhalb des Landkreises in bergrechtlichen Verfüllbetrieben (überwiegend im benachbarten Land Sachsen) verwer-

tet. Entsprechend den Aussagen der Entsorgungswirtschaft sollen diese Mengen dem Landkreis künftig zur Beseitigung angedient werden.

Inwieweit diese Mengen dann tatsächlich zur Beseitigung anfallen, kann verbindlich nicht prognostiziert werden. Für die Prognose der künftigen Beseitigungsmengen werden daher von den derzeit in der Entsorgungswirtschaft außerhalb des Landkreises verwerteten Mengen nur ca. 3.000 Mg/Jahr berücksichtigt.

2.3.6 Vergleich Anfall und künftiger Bedarf an mineralischen Abfällen zur Beseitigung

Bei der Erarbeitung der Mengenprognose war zu beachten, dass der Großteil der auf den Deponien beseitigten und verwerteten mineralischen Abfälle nur Schadstoffkonzentrationen der Deponieklasse 0 oder I Deponie aufwiesen. Insgesamt wurden seit 2009 Haufwerke in einer Größenordnung von ca. 90.000 Mg untersucht. Die speziell durchgeführten Analysen von Kleinanliefererabfällen bestätigen durchgehend die Einhaltung der Zuordnungskriterien der Deponieklasse 0 und I.

Es ist daher davon auszugehen, dass auch künftig die Abfallart Boden und Steine in einer Größenordnung von ca. 4.000 Mg/Jahr, die über die Wertstoffhöfe angenommen werden, mindestens die Deponieklasse I einhalten.

Da es für die künftig aus der Entsorgungswirtschaft noch zusätzlich zu beseitigenden mineralischen Abfallmengen keine Analysen gibt, werden diese Abfälle ebenfalls der Deponieklasse I zugeordnet.

Im Ergebnis der Prognose auf Basis der Ablagerungs- und Verwertungsmengen sowie aus der Entsorgungswirtschaft besteht ab ca. 2023 ein Bedarf an Beseitigungskapazitäten der Deponieklasse 0 und I von jeweils ca. 15.000 Mg/Jahr bzw. insgesamt ca. 30.000 Mg/Jahr.

3 Alternativenprüfung

Bestandteil jeder Planrechtfertigung ist eine umfangreiche und tiefgründige Untersuchung möglicher Alternativen zu einem neuen Deponiestandort.

Diese beinhaltet zunächst die Möglichkeit der Nutzung von Deponiekapazitäten außerhalb des Landkreises oder privater Entsorger.

Im Ergebnis können sowohl durch die öffentlich-rechtlichen Körperschaften, als auch durch private Deponiebetreiber derzeit keine DK 0 und DK I Kapazitäten für den Landkreis vorgehalten werden. Lediglich kostenintensive DK II Kapazitäten stehen zur Verfügung.

Sollten sich auf Grund aktueller Entwicklungen in der Region neue Möglichkeiten ergeben, müssen diese dann neu betrachtet werden.

Die Errichtung eigener Deponiekapazitäten durch den Landkreis Spree-Neiße an einem neuen bisher nicht genutzten Standort, schied auf Grund der entstehenden Aufwendungen für Standortsuche, Raumordnungsverfahren, Planfeststellungsverfahren, Umweltverträglichkeitsuntersuchungen und Erschließung aus. Es wurden daher nur Varianten der Erweiterung der kreiseigenen Deponie Forst-Autobahn unter Nutzung der vorhandenen Infrastruktur untersucht.

Der neue Schüttbereich wurde so groß geplant, dass das im Landkreis zur Beseitigung vorhandene Potential für einen 30-jährigen Betrieb ausreichend ist.

Bei der Untersuchung der einzelnen Varianten wurden die Anforderungen an den Untergrund, die Oberflächenabdichtung, die Betriebskosten sowie Nachsorgeaufwendungen berücksichtigt.

Bei dem Kostenvergleich wurde deutlich, dass die Neuanlage von zwei Schüttbereichen für DK 0 und DK I Abfälle insgesamt unwirtschaftlicher wird, als der Bau eines neuen Schüttbereiches für DK I Abfälle, auf dem dann auch DK 0 Abfälle mit abgelagert werden.

Für die Anlage eines neuen DK I Schüttbereiches gab es wiederum zwei Varianten. Diese wurden hinsichtlich der Kriterien Kosten, Grunderwerb, Waldinanspruchnahme, Landschaftsbild, Nachnutzung, Staub- und Lärmbelastung und Infrastrukturanbindung gegenübergestellt.

Im Ergebnis dieser Prüfung wurde die Variante der Errichtung eines neuen Schüttbereiches, westlich und südlich anliegend an den noch betriebenen Schüttbereich II vorgeschlagen.

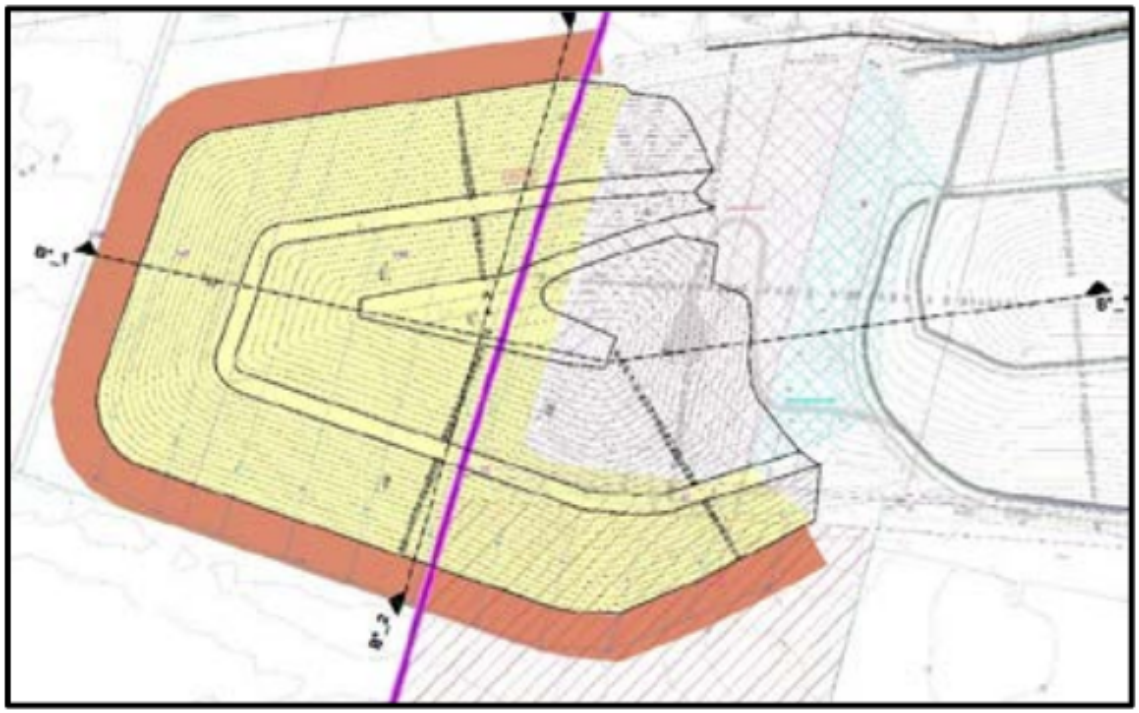


Abbildung 6: Plan Erweiterung Schüttbereich für mineralische Abfälle Forst

Im letzten Alternativenprüfungsschritt wurden die Kosten einer Erweiterung der Deponie Forst-Autobahn und die Nutzung der vorhandenen DK II Kapazitäten in der südlichen Brandenburger Region betrachtet. Neben den Ablagerungskosten wurden auch die notwendigen Transportkosten zu den jeweiligen Deponiestandorten untersucht.

Gegenüber der Nutzung der vorhandenen DK II Kapazitäten erweist sich eine Erweiterung der Deponie Forst in allen Varianten als deutlich vorteilhafter.

4 Prüfung auf Übereinstimmung der Errichtung einer Deponie für mineralische Abfälle im Landkreis Spree-Neiße mit den Zielen der abfallwirtschaftlichen Landesplanung im Land Brandenburg

Bereits 2015 wurde der zuständigen Genehmigungsbehörde, dem LfU Brandenburg die erste Planrechtfertigung vorgelegt. Im Ergebnis der Prüfung wurde die Notwendigkeit der Errichtung einer Deponie für mineralische Abfälle im Landkreis Spree-Neiße als ausreichend begründet eingeschätzt und eine Übereinstimmung mit den landesplanerischen Zielen festgestellt.

Die abfallwirtschaftlichen und gesetzlichen Grundlagen wurden jeweils in den Jahren 2016, 2018 im Zuge der gesamtabfallwirtschaftlichen Planungen des Landkreises überprüft und bestätigt. Laut Zeitplanung soll Anfang 2020 die Einreichung des Genehmigungsantrages zur Erweiterung der Deponie Forst-Autobahn mit dem Schüttbereich III zur Entsorgung mineralischer Abfälle aus dem Landkreis Spree-Neiße beim LfU erfolgen. Bestandteil dessen wird dann auch eine nochmals aktualisierte Planrechtfertigung sein.

Technische Normen der Abfalldeponierung - ein Jahr seit ihrer Aktualisierung

Technické normy pro skládkování odpadu - rok od aktualizace

Vojtěch Pilnáček[2]

Kurzfassung

Im Jahre 2018 wurden die technischen Normen im Bereich der Abfalldeponierung aktualisiert. Die letzte aktualisierte Norm wurde im September 2018 herausgegeben. Gegenwärtig ist es also mehr als ein Jahr seit ihrer Herausgabe her. Somit wäre es also angebracht ein Monitoring der Implementierung neuer Maßnahmen in die Praxis durchzuführen. Die überwiegende Anzahl der Deponien in der Tschechischen Republik werden gemäß einer Genehmigung im Einklang mit der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates Nr. 2010/75/EU vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) betrieben. Im Zusammenhang damit wurde das Monitoring in Form einer Überprüfung dieser Genehmigungen im Zeitraum ab April 201l bis in die heutigen Tage durchgeführt, wann die erste aktualisierte Norm herausgegeben wurde. Es wurden 152 integrierte Genehmigungen von Deponien mit folgenden Ergebnissen überprüft: Die wichtigsten Veränderungen, die in den integrierten Genehmigung festgestellt wurden, fanden im Bereich des elektronischen Monitoring der Dichtheit der Dichtungsbahn (5 Fälle von 5 neu gebauten Deponien), in den Definitionen der technischen Absicherung und der Konstruktionselemente der Deponien (1 Fall), im Bereich der Rekultivierung der Deponien (nur einige Teilveränderungen), in der Ausweisung der aktiven Fläche der Deponie (6 Fälle), der täglichen Überdeckung der aktiven Fläche (5 Fälle) und in der Art der Gasabführung aus den Deponien (5 Fälle, viel mehr Teilveränderungen) statt. Das Ergebnis der Überprüfung ist die Feststellung, dass die Veränderungen im Bezug zur Anpassung der Normen zwar stattfinden, aber relativ langsam. Um eine detailliertere Übersicht zu erhalten müssten die Betriebsordnungen dieser Deponien untersucht werden.

Abstrakt

V roce 2018 byla provedena aktualizace technických norem v oblasti skládkování odpadů. Poslední aktualizovaná technická norma byla vydána v září 2018. V současné době tedy uplynul více než rok od jejího vydání. Bylo tedy vhodné provést monitoring implementace nových opatření do provozních podmínek. V České republice je drtivá většina skládek provozována v režimu povolení podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezování znečištění). Monitoring byl v souvislosti s tím proveden průzkumem změn těchto povolení v období od dubna 2018, kdy byla vydána první aktualizovaná norma do současnosti. Bylo přezkoumáno 152 integrovaných povolení skládek, a to s následujícími závěry. Hlavní změny, které byly zaznamenány v integrovaných povoleních, proběhly v oblasti elektronického monitoringu celistvosti těsnicí folie (5 případů z 5 nově budovaných skládek), v definicích technického zabezpečení a konstrukčních prvků skládek (1 případ), rekultivace skládek (pouze několik dílčích změn), vymezení aktivní plochy skládky (6 případů), denního překrývání aktivní plochy (5 případů) a způsobu odplynění skládek (5 případů, spíše dílčí změny). Závěrem zkoumání je, že změny ve vazbě na úpravy norem probíhají, i když relativně pomalu. Pro podrobnější přehled by bylo potřeba prozkoumat přímo provozní řády skládek.

[2]Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 65, 10010 Praha 10, Vojtech.Pilnacek@mzp.cz

Kontrolltätigkeit der Tschechischen Umweltinspektion im Bereich der Abfalldeponierung

Kontrolní činnost ČIŽP při skládkování odpadů

Pavlína Dvořáková[1]

Kurzfassung

Die Tschechische Umweltinspektion (Česká inspekce životního prostředí, ČIŽP) ist eine Behörde mit Zuständigkeiten im Bereich der Wald-, Landschafts- und Naturschutzes, des Artenschutzes, des Schutzes der Luft und Gewässer, der integrierten Abfallvermeidung sowie dem Umgang mit Abfällen. Durch die Durchführung von Kontrollen in diesem Bereich, bzw. durch Auflegung von Abhilfemaßnahmen, leistet die Tschechische Umweltinspektion einen Beitrag zur Sicherstellung des Umweltschutzes in der Tschechischen Republik.

Im Bereich der Abfallwirtschaft obliegt den Inspektoren der Tschechischen Umweltinspektion die Aufsicht über der Abfallbehandlung. Kontrolliert werden juristische oder natürliche Personen - Unternehmer, aus der Sicht, wie sie die im Abfallgesetz oder im Gesetz über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung festgelegten Verpflichtungen erfüllen. Geprüft werden die durch eine integrierte Genehmigung festgelegten Auflagen, die gemäß dem Abfallgesetz erlassen wurden.

Die Kontrolltätigkeit konzentriert sich auf den grenzübergreifenden Transport von Abfällen, auf die Abfallverursacher, auf die Einrichtungen zur Sammlung und Aufkauf von Abfällen, auf Anlagen zur Abfallnutzung und auf Einrichtungen zur Behandlung oder Entsorgung von Abfällen, zu denen Abfalldeponien gehören.

Abstrakt

ČIŽP je kontrolní orgán s kompetencemi v oblastech ochrany lesa, ochrany krajiny a přírody, CITES, ochrany ovzduší, ochrany vod, integrované prevence a odpadového hospodářství. Inspekce prováděním kontrol v těchto oblastech a případně stanovením nápravných opatření přispívá k zajištění ochrany životního prostředí v ČR.

V oblasti odpadového hospodářství dozorují inspektoři ČIŽP nakládání s odpady. Kontrolovány jsou právnické osoby nebo fyzické osoby oprávněné k podnikání, jak dodržují povinnosti stanovené zákonem o odpadech nebo zákonem o integrované prevenci a omezování znečištění (kontrola podmínek daných integrovaným povolením), případně rozhodnutí vydaná dle zákona o odpadech.

Kontrolní činnost se zaměřuje na přeshraniční přepravu odpadů, na původce odpadů, na zařízení ke sběru a výkupu odpadů, na zařízení k využívání odpadů a na zařízení určená k úpravě či odstraňování odpadů, kam patří právě skládky odpadů.

[1]Česká inspekce životního prostředí, Ředitelství, Odbor technické ochrany a integrované prevence, Oddělení odpadového hospodářství, Na Břehu 267, 190 00 Praha 9, pavlina.dvorakova@cizp.cz

1 Úvod – výsledky činnosti ČIŽP za rok 2018

Inspektoři z oddělení odpadového hospodářství provedli v roce 2018 v rámci kontrol zaměřených na zařízení určená k odstraňování odpadů celkem 436 kontrol, při kterých bylo v 91 případech zjištěno porušení zákona o odpadech nebo zákona o integrované prevenci, příp. porušení kontrolního řádu v souvislosti s nakládáním s odpady (neumožnění kontroly). Vydáno bylo 76 pravomocných rozhodnutí v celkové výši 3 681 000 Kč.

V případě skládek odpadů bylo v loňském roce provedeno 103 kontrol, při kterých bylo zjištěno porušení u 21 provozovatelů skládek odpadů. V roce 2018 nabylo právní moci 25 rozhodnutí, kterým byly provozovatelům skládek vyměřeny pokuty, jež dosáhly celkové výše 2 153 000 Kč.

Nejvyšší uloženou pokutou u skládek odpadů byl sankční postih ve výši 500 000 Kč provozovateli tzv. centra komplexního nakládání s odpady v Čáslavi, konkrétně za provoz solidifikační linky a skládky nebezpečných odpadů.

2 Kontroly aktivně provozovaných skládek

ČIŽP kontroluje převážně skládky odpadů, které jsou aktivně provozované, kdy nejméně každé tři roky musí být zkontrolována každá skládka skupiny S-OO3 a každý rok jsou zkontrolovány všechny skládky nebezpečných odpadů (S-NO). Nad rámec takovýchto plánovaných kontrol provádí inspekce na skládkách dále prošetření přijatých podnětů, které nejčastěji upozorňují na úlety ze skládky, zvýšenou prašnost, zahoření či na nesprávnou likvidaci průsakových vod. Dále inspekce kontroluje skládky odpadů v průběhu provádění rekultivace nebo skládky již uzavřené, monitorované v režimu následné péče.

Většina skládek jsou zařízení, která podléhají schválení v režimu zákona o integrované prevenci (zákon č. 76/2002 Sb.) a jsou provozována na základě integrovaných povolení (IP), která vydávají příslušná pracoviště krajských úřadů. Proto zjištění z výsledků kontrol ČIŽP jsou nejčastěji kvalifikována jako porušení ust. § 16 odst. 1 písm. a) zákona o integrované prevenci, kdy lze obecně závěry o zjištěných nedostatcích shrnout tak, že nebyly plněny některé podmínky stanovené v integrovaném povolení, nebo nebyly plněny podmínky schváleného provozního řádu zařízení. Jen v několika málo případech byly uloženy sankce za porušení zákona o odpadech, a to zejména v souvislosti s nedodržením podmínek týkajících se evidence o odpadech anebo požadavků na vytváření finanční rezervy.

Někteří provozovatelé skládek v první fázi provozu tak byli sankcionováni za nedostatky v souvislosti s finanční rezervou a za zjištěná pochybení při tvorbě rekultivační rezervy byla stanovena opatření k nápravě spočívající v doplacení finanční rezervy.

Vedle tvorby finanční rezervy v náležité výši dle požadavků daných zákonem o odpadech v ust. §§ 49-51 je při kontrolách skládek pozornost inspektorů zaměřena na případné používání konstrukčních prvků, jejich vykazování v evidenci o odpadech a také na vykazování odpadů použitých jako technické zabezpečení skládky (TZS) směřované na prověření dodržování povinnosti vyplývající z ust. § 45 odst. 3 zákona o odpadech, tj. že celkové množství odpadů uložených na skládku jako materiál pro technické zabezpečení skládky (TZS), za které provozovatel skládky neodvádí poplatek, může dosahovat maximální výše 20 % celkové hmotnosti odpadů uložených na skládku v daném kalendářním roce.

Zvýšená pozornost byla věnována dále ukládání odpadů na bázi sádry (sádrokarton) v určených příslušných sektorech skládky a na dodržování požadavků při skládkování odpadů s obsahem azbestu.

Mezi konkrétní nejzávažnější pochybení provozovatelů skládek odpadů patří např.:

- neprovádění řádné přejímky odpadů, nedostatečná kontrola úplnosti základního popisu odpadu provozovatelem, kdy odpady jsou přijímány do zařízení bez základního popisu

odpadů, anebo pokud je vyplněn popis, tak pouze formálně či neúplně, tedy nejsou dostatečně popsány vlastnosti přijímaného odpadu s odkazem na vhodnost přijetí takového odpadu do zařízení, nebo nebyly doloženy všechny rozbory dle požadavků příslušné vyhlášky (č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky), přijaty byly odpady bez příslušných chemických analýz,

- byly přijaty a uloženy odpady, které nejsou provozním řádem povoleny; došlo k přijetí a uložení biologicky rozložitelných odpadů, zjištěno bylo přijetí i volně ložených odpadů s obsahem azbestu, se kterými bylo nesprávně manipulováno a nakládáno při uložení na skládce,

- technologická nekázeň jako především nedodržení velikosti aktivní plochy pro ukládání odpadů, či není zajištěno zabránění úletům lehkých frakcí odpadů, nezabezpečení značné plochy odpadem určeným k technickému zabezpečení skládky, nerozdělení skládkového prostoru na jednotlivé sekce, výška zhutněné vrstvy odpadu byla vyšší než povolená mocnost, odpady nebyly pravidelně a dostatečně překrývány, vnější odvodňovací příkopy byly zanesené a nemohly plnit řádně svoji funkci, neprovádění monitoringu vod v definovaném rozsahu, byly zjištěny nedostatečné záznamy při vedení provozního deníku.

V ojedinělých případech provozovatel skládky nedodržoval postup ukládání odpadů na skládkové těleso a nevytvářel terasy. Ve zcela ojedinělém případě pak bylo zjištěno nejzávažnější nedodržení postupů při skládkování odpadů jako zaplnění jímky průsakových vod nad povolenou výšku hladiny v jímce, vytékání průsakové vody z tělesa skládky mimo zabezpečenou plochu, nebyl vůbec veden provozní deník skládky, nebyla zaslána roční zpráva o vyhodnocení plnění závazných podmínek integrovaného povolení včetně zprávy monitoringu, nebylo vypracováno roční hlášení o produkci a nakládání s odpady.

Při kontrolách dokumentace skládek inspektoři ČIŽP často konstatují, že jsou nedostatečných způsobem prováděny záznamy v provozním deníku. Konkrétně bylo například zjištěno, že v provozním deníku nebyly zaznamenávány všechny podstatné události, jako např. informace o tom, do které části skládky je aktuálně odpad ukládán, chyběly záznamy o zřízeném sektoru k ukládání azbestového odpadu, nebyly zaznamenány provozní poruchy a způsob jejich odstranění, kontroly oplocení a mimořádné situace (narušení vstupní brány), překrytí odpadu inertním materiálem apod. Případně jsou zjišťovány nedostatky při kontrole vedené průběžné evidence o odpadech a ročních hlášení o způsobech nakládání s odpady (podání ročního hlášení za zařízení s nepravdivými údaji).

3 Kontroly rekultivovaných skládek

V případě skládek odpadů v druhé fázi provozu, tj. při provádění rekultivace, byl inspektory prověřován způsob provedení rekultivace (množství a kvalita odpadů, mocnost vrstev), soulad s prováděcí vyhláškou a se schváleným provozním řádem, plnění podmínek čerpání finanční rezervy. V několika případech bylo zjištěno neprovozování druhé fáze provozu v souladu s rozhodnutím a s provozním řádem, tzn. porušení ust. § 19 odst., 1 písm. c) zákona o odpadech, příp. porušení ust. § 16 odst. 1 písm. a) zákona o integrované prevenci.

4 Legislativní změny

V průběhu roku 2018 byly vydány aktualizované technické normy pro oblast skládkování odpadů, které reflektují legislativní změny od roku 2002 týkající se skládkování.

Z provedených kontrol u některých provozovatelů skládek odpadů vyplývá, že nadále přetrvává snaha vyčlenit přijímané odpady, zejména kategorie nebezpečné, z poplatkové povinnosti (materiály na TZS, vyrovnávací vrstva, konstrukční prvky, výrobky z odpadů). Kontrolu poplatků

mohou dle dikce zákona o odpadech provádět obce, na jejichž katastrálním území se skládka nachází, a příslušné krajské úřady.

Je nutné vyzdvihnout pozitivní posun a to, že novelou zákona o odpadech účinnou od roku 2016 se podařilo změnit a kontrolovatelnějším způsobem již stanovit limit pro množství odpadů určených k TZS, za které se nemusí odvádět poplatky, tedy v hmotnostních procentech.

Problematika možností obcházení zákonného systému je však mnohem komplexnější. Je nutné si uvědomit, že v areálech skládek provozovatelé zároveň zřídili a provozují další zařízení určená k nakládání s odpady, převážně sběrné dvory, resp. zařízení ke sběru a výkupu odpadů, kompostárny, manipulační plochy, pro dekontaminaci nebezpečných odpadů pak biodegradační plochy či solidifikační linky, které „dokáží“ zpracovat značný objem nebezpečných odpadů. Ve skutečnosti se provoz těchto zařízení v návaznosti na sebe ať už v jednom areálu, resp. v jedné lokalitě, či přímo na tělese skládky velmi úzce prolíná.

Obtížně uchopitelným problémem při skládkování odpadů zůstává „nepřiznané“ ukládání „výrobků z odpadů“, vč. z odpadů kategorie nebezpečných. Dlouhodobě jsou do těles skládek ukládány např. certifikované výrobky, resp. certifikované stabilizáty, povětšinou „vyrobené“ z odpadů, především z odpadů kategorie N. Inspekce se s takovýmto účelovým obcházením neztotožňuje a tuto praxi bude v rámci svých kontrol řešit.

Důležitým krokem v průběhu roku 2018 byla aktualizace norem pro oblast skládkování odpadů, kdy postupně byly vydávány (od června do října) aktualizované technické normy reflektující legislativní změny, které nastaly od roku 2002 týkající se skládkování. Provozovatelé skládek se musí řídit změnami v aktualizovaných normách, upravit integrovaná povolení a provozní řády, příp. upravit projekty nově stavěných etap skládek.

První normy v oblasti skládkování odpadů byly vydány v roce 1998, následně byly aktualizovány v roce 2002 a 2003. Další aktualizace se dočkaly právě v předchozím roce.

5 Požáry skládek odpadů

V roce 2018 došlo k několika stovkám požárů na skládkách. ČIŽP v takových případech úzce spolupracuje s Hasičským záchranným sborem. Vzhledem k tomu, že se jedná o havarijní stavy, kdy většinou není zjištěna příčina zahoření či vzniku požáru, podařilo se ČIŽP pouze ve zcela ojedinělých případech sankcionovat provozovatele skládky za prokazatelné nedodržení podmínek provozních řádů nebo integrovaných povolení. ČIŽP po požáru u provozovatele skládky primárně dozoruje, aby bylo prokázáno, že nedošlo k poškození hydroizolačních bariér.

Jedná se o velmi časté havarijní stavy při provozování skládek odpadů s mohutným a nekontrolovatelným únikem emisí škodlivých látek do atmosféry. K únikům škodlivých toxických látek může dojít ale i do průsakových vod či též do povrchových a podzemních vod v důsledku rozlití hasebních vod mimo těleso skládky. Zásahy hasičů většinou trvají dlouhou dobu, řádově i několik dní. V případě velkých požárů musí být vynaloženy i nemalé prostředky na jejich likvidaci (zapojen je velký počet požárních jednotek, náročné zásahy z důvodu obtížné manipulace s technikou na skládce).

Výše uvedená aktualizace norem tak může významně přispět ke zvýšení požární prevence při skládkování odpadů.

6 Závěr

V hierarchii nakládání s odpady je skládkování odpadů na posledním místě. Logicky, jedná se o environmentálně nejméně vhodný způsob nakládání s odpady v 21. století v evropském měřítku. Česká republika tedy zcela evidentně potřebuje nový zákon o odpadech, kde by byly nastaveny efektivně ekonomické nástroje pro nakládání s odpady tak, aby mohla být naplňována hierarchie nakládání s odpady a docházelo k recyklaci odpadů, k jejich materiálovému a energetickému využívání.

Sickerwasser und Grundwasser

Průsakové a podzemní vody

Auswirkungen des Klimawandels auf Deponieoberflächenabdichtungen in ausgewählten Naturräumen Nordböhmens

Účinky změn klimatu na povrchové utěsnění skládek ve vybraných přírodních lokalitách Severních Čech

Volkmar Dunger[1], Christian Schmidt[2] , Jan Šembera[3]

Kurzfassung

In Sachsen liegen seit geraumer Zeit Erkenntnisse vor, wie man methodisch herangeht, um die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf Deponieabdichtungssysteme zu quantifizieren. Nunmehr sollen entsprechende Ergebnisse für ausgewählte Naturräume Nordböhmens vorgestellt werden, die im Wesentlichen auf den in einer Masterarbeit enthaltenen Untersuchungen basieren.

Analog der Situation in Sachsen wird der zukünftig zu erwartende Klimawandel für weite Gebiete Nordböhmens durch eine Verringerung des Jahresniederschlags und durch eine Erhöhung der Jahrestemperatur gekennzeichnet sein. Für Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschichten von Deponien ist folgerichtig eine Verschlechterung der Schutzwirkung zu befürchten.

Mit Hilfe der Deponiewasserhaushaltsmodelle HELP 3.95 D und BOWAHALD ist das wasserhaushaltliche Verhalten von Oberflächenabdichtungen einer DK-I-Deponie für insgesamt 6 fiktive Deponiestandorte untersucht worden, die typische Natur- und Klimaräume Nordböhmens repräsentieren.

Für die drei Zeiträume für die Vergangenheit (Periode 1981 – 2010), für den zukunftsnahen Zeitraum 2021 – 2050 sowie für den zukunftsfernen Zeitraum 2071 – 2100 werden die Wasserhaushaltsbilanzen sowie die Austrocknungshäufigkeiten der Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht betrachtet. Die Ergebnisse der Modellierungen zeigen im großen Ausmaß eine drastische Verschlechterung der wasserhaushaltlichen Situation besonders im zukunftsfernen Zeitraum. An jetzt schon trockenen Standorten, wie z. B. an der Deponie Praha-Ruzyně, geraten Büsche oder Bäume in lebensbedrohliche Zustände.

Abstrakt

V Sasku jsou jež delší dobu k dispozici poznatky o metodickém přístupu pro kvantifikaci možných dopadů klimatické změny na systémy izolací skládek. Nyní by měly být představeny odpovídající výsledky pro vybrané oblasti Severních Čech, vycházející v podstatné míře z výzkumů, obsažených v magisterské práci.

Analogicky se situací v Sasku se bude očekávaná změna klimatu v rozsáhlých částech severních Čech vyznačovat snížením ročních srážek a zvýšením roční teploty. Pro rekultivační, případně hydrologické vrstvy skládek lze tedy očekávat zhoršení jejich ochranné funkce.

Za pomoci modelů vodního režimu ve skládkách (HELP 3.95 D a BOWAHALD) byly zkoumány dopady izolací povrchu na vodní režim ve skládce třídy I. pro celkem 6 fiktivních skládek, které reprezentují typické klimatické regiony severních Čech.

Pro minulá období (1981 – 2010), pro dohlednou budoucnost 2021 - 2050 a pro vzdálenou budoucnost 2071 - 2100 jsou sledovány hydrologické bilance a četnost vysychání rekultivačních, případně hydrologických vrstev. Výsledky modelu ukazují na rozsáhlé drastické zhoršení hydrologické situace především ve vzdálené budoucnosti. Na lokalitách, které již nyní trpí suchem, jakou je například skládka Praha-Ruzyně, se keře nebo stromy dostávají již nyní do život ohrožujících stavů.

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

[2]Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Masterarbeit 2018

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

1 Der Klimawandel in Tschechien

Verglichen mit anderen Regionen Europas ist die Tschechische Republik recht stark vom Klimawandel betroffen [10]. Entsprechend den Analysen des Tschechischen Umweltministeriums (Ministerstvo životního prostředí - MŽP) ist der Klimawandel in Tschechien bereits ab den 1960-er Jahren spürbar [11]. Seither sind die folgenden klimatischen Veränderungen beobachtet worden (Vergleich der Reihen 1961 – 1990 und 1991 – 2008, [11]):

- Die Zunahme der mittleren Jahrestemperatur beträgt 0,8 °C, wobei die Monate Januar und August mit 1,5 °C die größten Temperaturzunahmen aufweisen. Über die letzten 20 Jahre betrachtet entspricht dies einer Zunahme um 0,33 °C in 10 Jahren.
- Der Trend einer Temperaturzunahme ist mit 0,43 °C in 10 Jahren im Sommer bzw. 0,44 °C über 10 Jahre im Winter am deutlichsten ausgeprägt und im Herbst mit nur 0,08 °C in 10 Jahren am geringsten.
- Die Änderungen hinsichtlich der Niederschläge fallen alles in allem gering aus. Landesweit sind die Niederschläge seit Mitte des letzten Jahrhunderts um ca. 1 % bezogen auf 10 Jahre gesunken. Zu beachten ist, dass sich die Situation regional recht unterschiedlich gestaltet hat. So ist im Osten Tschechiens ein im Vergleich zu anderen Landesteilen markanter Rückgang der Sommerniederschläge beobachtet worden, im Westen hingegen eine deutlichere Zunahme der Winterniederschläge im Vergleich zu anderen Regionen.
- Mit Ausnahme des Herbstes sind alle anderen Jahreszeiten durch eine Zunahme der Sonnenscheindauern, sowie eine Abnahme der Luftfeuchtigkeit gekennzeichnet.
- Ferner ist ein signifikanter Rückgang der Frost- und Eistage sowie eine Zunahme der tropischen Nächte beobachtet worden.

Für die Zukunft werden folgende Veränderungen erwartet [11, 10]:

- eine gegenüber dem Zeitraum 1961 – 1990 um etwa 1,2 °C höhere Jahresmitteltemperatur im Jahr 2030,
- eine stärkere Temperaturzunahme im Winterhalbjahr im Vergleich zum Sommerhalbjahr,
- eine überproportionale Temperaturzunahme bis 2100 um weitere 2,8 – 3,3 °C gegenüber 2030 für den Fall, dass keine Aktivitäten in Bezug auf die Reduzierung der Treibhausgase unternommen werden,
- zunehmende Niederschläge im Winter und im Frühjahr bei tendenziell abnehmenden Niederschlägen im Sommer, wobei die Häufigkeit von intensiven Regenfällen (Schauer, Gewitter) zunehmen wird,
- bedingt dadurch eine Zunahme der Sommertrockenheit.

2 Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf Oberflächensicherungen von Deponien

In Bezug auf den Wasserhaushalt von Deponie-Oberflächensicherungen sind die folgenden wesentlichen Auswirkungen des Klimawandels zu nennen:

- eine zukünftig geringere Wasserzwischenspeicherung in Form von Schnee infolge der höheren Temperaturen im Winter,

- eine Zunahme der Abflusswerte, insbesondere was die schnellen Abflusskomponenten Oberflächenabfluss und Dränwasserabfluss betrifft, verursacht durch die tendenzielle Zunahme von Niederschlägen mit hohen Intensitäten,
- eine Zunahme der potenziellen, d. h. maximal möglichen Verdunstung bedingt durch die höheren Temperaturen und Sonnenscheindauern und die abnehmende Luftfeuchtigkeit sowie
- in Konsequenz aller vorausgegangenen Prozesse eine Abnahme der Bodenfeuchte vor allem im hydrologischen Sommerhalbjahr und ein Rückgang der Sickerwassermengen.

Im Zuge des Klimawandels besteht folglich die Gefahr, dass Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschichten häufiger und stärker als in der Vergangenheit austrocknen und der Bewuchs folglich häufiger und in stärkerem Maße Trockenstresssituationen ausgesetzt ist und sich damit auch die Gefahren bezüglich der Austrocknung und Durchwurzelung von Entwässerungs- bzw. mineralischen Dichtungskomponenten erhöhen.

3 Auswahl und Charakteristik der Deponiestandorte

Die Auswahl der Standorte erfolgte vor allem unter der Maßgabe, dass hierdurch die typischen Naturräume Nordböhmens abgedeckt sind. Naturräume sind durch abiotische Faktoren (Relief, Klima, Wasserhaushalt, Boden und Geologie) sowie biotische Faktoren (Flora und Fauna) in ihrer horizontalen und vertikalen Diskretisierung gekennzeichnet [12]. Ferner sollten die Naturräume der Standorte durch eine möglichst weite Verbreitung charakterisiert sein.

Unter Beachtung dieser Kriterien wurden insgesamt 6 Standorte ausgewählt. Neben der Zuordnung zu einem typischen Naturraum war das Vorhandensein einer Klimastation für die Standortwahl wichtig. Für die Untersuchungen nicht von Bedeutung war, ob es an den ausgewählten Orten tatsächlich Deponien gibt oder nicht. In der Tabelle 1 sind die Standorte benannt und kurz charakterisiert. Die Lage der Standorte ist der Abbildung 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Charakteristik der betrachteten Standorte.

Standort	Klimatische Region	Geomorphologische Provinz	Höhenlage [m NN]
Žatec	Tiefland-Trockenklima	Nordböhmisches Becken	210
Praha-Ruzyně	Tiefland-Urbanklima	Brdska oblast	364
Semčice	Mildes Tieflandklima	Mittelböhmische Hochebene	234
Česká Lípa	Humid-mildes Vorgebirgsklima	Nordböhmische Hochebene	246
Liberec	Vorgebirgsklima	Westliche Sudeten (Liberec-Becken)	398
Desná	Hochlandklima	Westliche Sudeten (Isergebirge)	772

Hinsichtlich des Deponiekörpers wurde ein Idealkörper angenommen: allseitige 50 m lange Böschung (1:3 geneigt) und ebenfalls 50 m lange Plateaufläche (5 % geneigt). Der Schichtenaufbau der Oberflächenabdichtung entspricht den Mindestanforderungen, die entsprechend deutscher Deponieverordnung [13] für die Deponieklasse I (der Gruppe S-OO1 des tschechischen Abfalldekrets Vyhláška č. 294/2005 [14] entsprechend) zu stellen sind (Schichten von oben nach unten):

- Oberboden, Mächtigkeit: 0,3 m
- Unterboden, Mächtigkeit bewuchsabhängig: 0,7 m für den Fall eines Grasbewuchses, 1,2 m für einen Strauchbewuchs und 2,2 m für einen Baumbewuchs
- 0,3 m mineralische Dränschicht (langzeitbeständiger $k_f - \mathrm{Wert}$: $1 \cdot 10^{-3}$ m/s) und

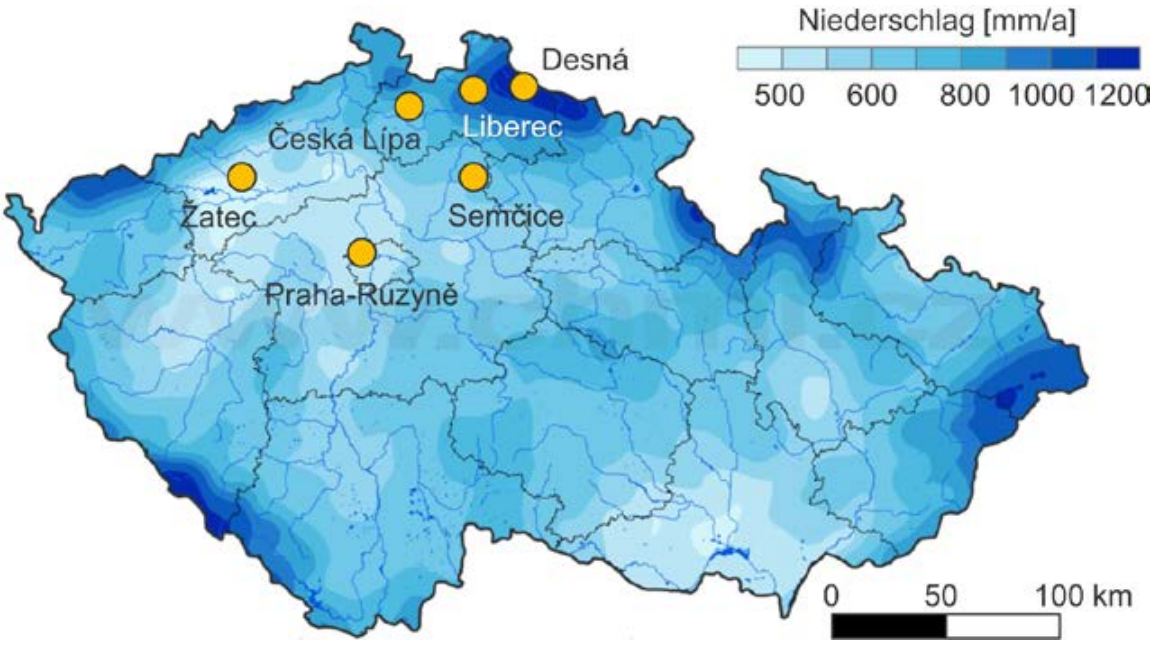


Abbildung 1: Lage der betrachteten Standorte (Kartengrundlage mit Jahresniederschlagsmitteln für Tschechien 1981 – 2010: ČHMÚ Český Hydrometeorologický Ústav).

- 0,5 m mineralische Dichtschicht (k_f – Wert: $5 \cdot 10^{-9}$ m/s).

Die Wasserspeicher- und Wassertransportparameter von Ober- und Unterboden wurden entsprechend eines mittel sandigen Lehms Ls3 festgelegt. Diese Bodenart erfüllt die Mindestanforderungen nach Deponieverordnung [13], GDA-Empfehlung E2-31 [15] bzw. Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards BQS 7-1 und 7-2 [16, 17] mit gewissen Reserven. Die verwendete Bodenart gehört nach BQS 7-1 und 7-2 [16, 17] bzw. Bodendreieck nach [18] zu den Böden, die als wasserhaushaltlich unproblematisch angesehen werden können.
In Bezug auf die Gestaltung des Bewuchses wurden drei Varianten betrachtet:

- Gras-/Krautbewuchs,
- primärer Strauchbewuchs mit sekundärem Grasbewuchs und
- primärer Baumbewuchs (voll ausgebildete Nadelbäume) mit sekundärem Grasbewuchs.

Die drei Bewuchsvarianten wurden so parametrisiert, dass die Anforderungen gemäß GDA-Empfehlung E2-32 [19] erfüllt sind.

Als meteorologische Daten dienten standortbezogene Daten des Klimamodells WETTREG2010 [20], die für den Zeitraum 1961 – 2100 als Tageswerte vorliegen. Zugrunde liegt das vergleichsweise moderate Emissionsszenario A1B. Die zur Modellierung verwendeten Daten stammen aus der ReKIS-Datenbank des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Aus der Gesamtreihe sind drei Zeiträume extrahiert worden:

- Zeitraum der unmittelbaren Vergangenheit: 1981 – 2010 (entspricht der 30-jährigen Bezugsreihe des DWD),
- zukunftsnaher Zeitraum: 2021 – 2050 sowie
- zukunftsferner Zeitraum: 2071 – 2100.

4 Modellergebnisse

Zunächst werden die klimatisch bedingten Veränderungen der langjährigen Mittelwerte für die wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen betrachtet. Die Abbildung 2 zeigt die Veränderungen hinsichtlich der klimatischen Wasserbilanzen (Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung).

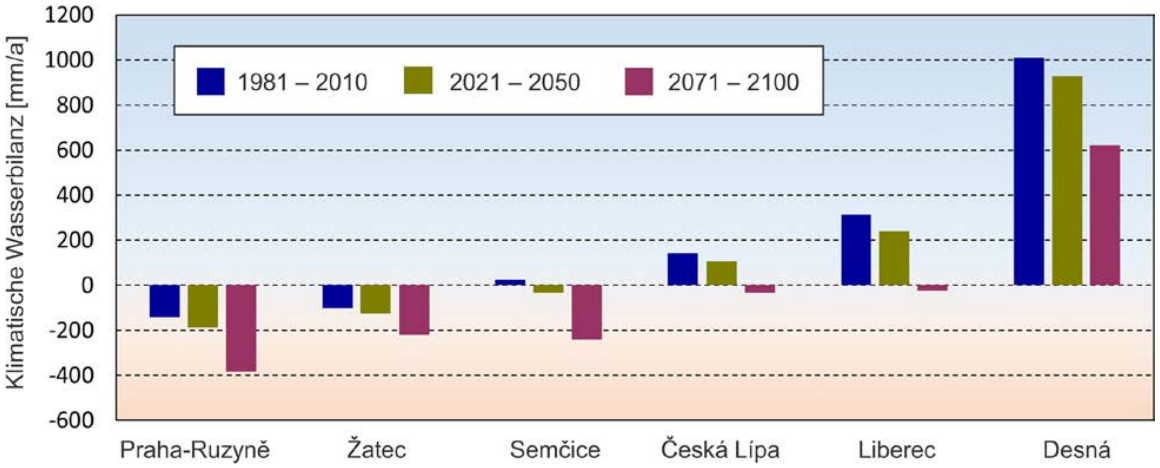


Abbildung 2: Klimatische Wasserbilanzen für die untersuchten Standorte (BOWAHALD-Ergebnisse).

Wie der Abbildung 2 zu entnehmen ist, bewirkt der Klimawandel eine Verringerung der klimatischen Wasserbilanz. Verursacht wird dies vor allem durch die Zunahme des Energiedargebots bei einem bis Mitte des 21. Jahrhunderts in etwa gleichbleibenden und danach tendenziell abnehmenden Wasserdargebot. So steht zu befürchten, dass Ende des 21. Jahrhunderts mit Ausnahme des Standorts Desná (Hochlandklima) alle anderen Klimaräume durch eine negative klimatische Wasserbilanz gekennzeichnet sein werden.

Die klimatische Wasserbilanz, die wie eben bemerkt die Dargebote bezüglich Wasser und Energie miteinander in Beziehung setzt, ist natürlich ein wesentlicher, alle nachfolgenden Prozesse und Wasserhaushaltsgrößen beeinflussender Faktor. Wasser- und Energiedargebot sind z. B. entscheidend dafür, welche Wassermengen tatsächlich verdunsten (reale Verdunstung). Dies wiederum entscheidet darüber, wie viel Wasser letztendlich versickert und dem Dränsystem zusitzt bzw. als Restdurchsickerung an der Basis der Oberflächenabdichtung ankommt.

In der Abbildung 3 ist die zeitlich-räumliche Entwicklung der wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag, reale Verdunstung und Abfluss (differenziert hinsichtlich der Komponenten Oberflächenabfluss, Dränwassermenge und Restdurchsickerung) beispielhaft für den Standort Praha-Ruzyně, d. h. für den Standort mit der am meisten negativen klimatischen Wasserbilanz, dargestellt. Da man bei der Vielzahl der untersuchten Varianten und der parallelen Verwendung von zwei Modellen recht schnell den Überblick verlieren würde, enthält die Abbildung 3 lediglich die mittels des HELP-Modells erzeugten Ergebnisse für einen nach West mit 5 % geneigten Plateaubereich, der mit einer Gras-Kraut-Vegetation bewachsen ist.

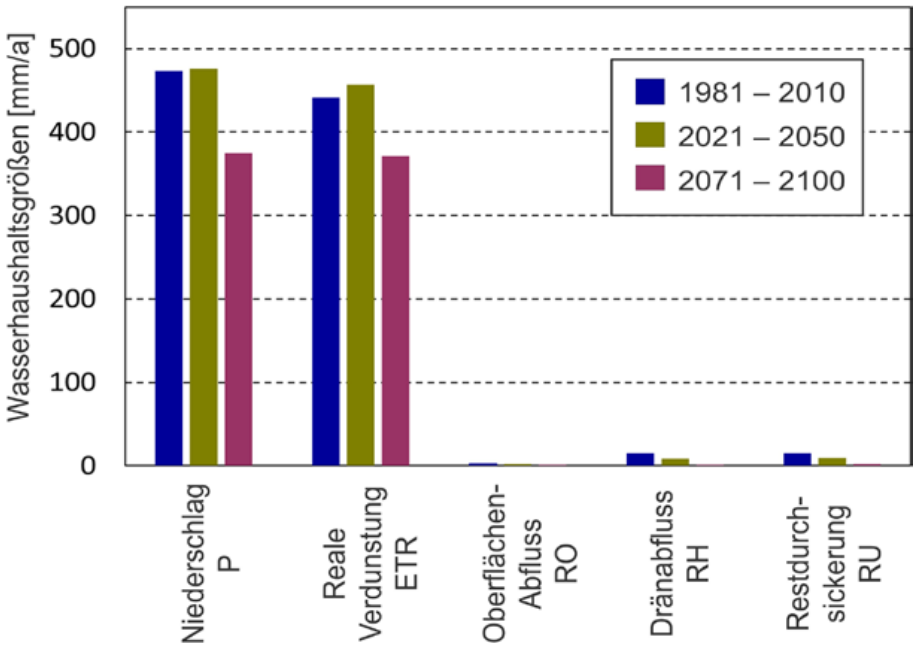


Abbildung 3: Klimabedingte Veränderungen der wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen für ein mit 5 % nach West geneigtes Plateau mit Gras-Krautbewuchs am Standort Praha-Ruzyně (Ergebnisse des Modells HELP).

Analog zur Abbildung 3 enthält die Abbildung 4 die Ergebnisse bezüglich der langjährig mittleren Wasserbilanz für den Standort Desná, d. h. für den Standort mit der positivsten klimatischen Wasserbilanz.

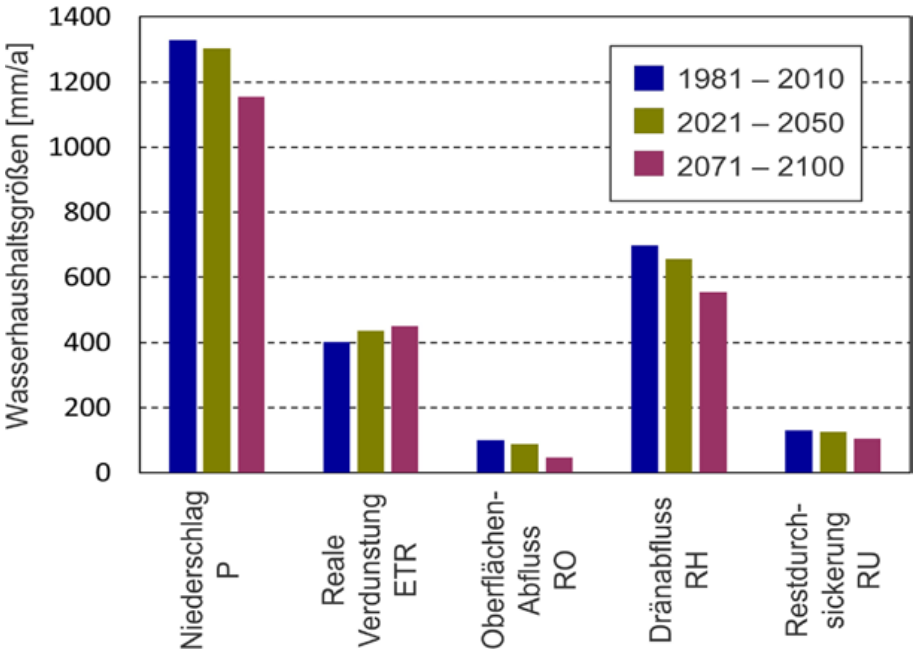


Abbildung 4: Klimabedingte Veränderungen der wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen für ein mit 5 % nach West geneigtes Plateau mit Gras-Krautbewuchs am Standort Desná (Ergebnisse des Modells HELP).

Wie die Abbildungen 3 und 4 verdeutlichen, fallen die Wasserbilanzen für die beiden Standorte recht unterschiedlich aus. Für den Standort Praha-Ruzyně stellt sich die wasserhaushaltliche Situation so dar, dass nahezu das gesamte Wasserdargebot (Niederschlag P) in reale

Verdunstung ETR umgesetzt wird. Abflüsse (RO + RH + RU) entstehen kaum. Infolge des bis Ende des Jahrhunderts tendenziell abnehmenden Wasserdagebots (Niederschlag) sinkt die reale Verdunstung trotz steigendem Energiedargebot (potenzielle Verdunstung ETP).

Die Dränabflüsse RH und Restdurchsickerungsmengen RU, die gegenwärtig in Summe bei etwa 30 mm/a liegen, sinken bis Mitte des Jahrhunderts auf unter 20 mm/a und erreichen zum Ende des Jahrhunderts Werte, die unter 5 mm/a liegen. Legt man die deutsche Deponieverordnung [13] zugrunde, so bedeutet dies, dass man wegen der sich ändernden klimatischen Bedingungen ab etwa Mitte des 21. Jahrhunderts auf die beiden Komponenten Drän- und Dichtschicht verzichten könnte.

Für den Standort Desná gestalten sich die Verhältnisse natürlich ganz anders. Infolge der stark positiven klimatischen Wasserbilanz wird nur ein Teil des Niederschlages P in reale Verdunstung ETR umgesetzt. Folglich bleibt genug Wasser übrig, das zur Abflussbildung gelangt. Die zukünftig zu erwartenden Änderungspotenziale sind eindeutig: zunehmende Verdunstung auf der einen Seite und abnehmende Abflüsse auf der anderen Seite. Interessant ist, dass trotz mineralischer Dichtungsschicht die Restdurchsickerungsmengen RU in einer Größenordnung von gegenwärtig 130 mm/a liegen und auch gegen Ende des Jahrhunderts bei gut 100 mm/a liegen werden. Eine Wasserwegsamkeit ($k_f - \text{Wert}$) der mineralischen Dichtungsschicht von $5 \cdot 10^{-9}$ m/s bedeutet eben nicht hydraulisch dicht.

Die Restdurchsickerungsmengen RU werden natürlich auch durch den Bewuchs beeinflusst. Die Abbildung 5 zeigt die entsprechenden Zusammenhänge beispielhaft für die Bewuchsarten Gras und Baumbewuchs (Nadelbäume bei vollständiger Bewuchsentwicklung). Betrachtet werden analog den Abbildungen 3 und 4 die mittels des HELP-Modells erzeugten Ergebnisse für einen nach West geneigten Plateaubereich. In die Betrachtungen wurde der Standort Liberec einbezogen, um zu zeigen, wie sich die Restdurchsickerungsmengen bei Umkehr der klimatischen Wasserbilanz von gegenwärtig deutlich positiv zu zukünftig leicht negativ (vgl. Abbildung 2) gestalten.

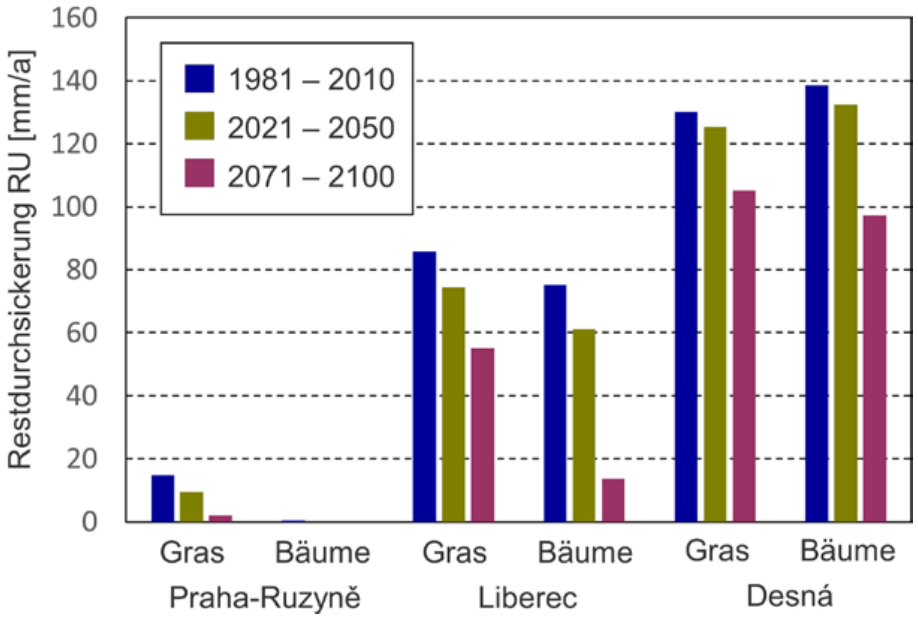


Abbildung 5: Klimabedingte Veränderungen der Restdurchsickerungsmengen für ein mit 5 % nach West geneigtes Plateau mit Grasbewuchs und Nadelbäumen an den Standorten Praha-Ruzyně, Liberec und Desná (Ergebnisse des Modells HELP).

Es wird deutlich, dass der Bewuchs einen Einfluss auf die Restdurchsickerungsmengen hat, dass diese darüber hinaus jedoch von weiteren Standortfaktoren, vor allem von der klimatischen Wasserbilanz (s. Abbildung 2) abhängen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Austrocknung der Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht vorgestellt. Untersucht wurde die Häufigkeit des Unterschreitens von Bodenfeuchtegehalten innerhalb der Wurzelzone, die als kritisch bzw. sehr kritisch für den Bewuchs angesehen werden können. In Anlehnung an [21] wurden Bodenfeuchtegehalte als kritisch angesehen, die unter 30 % nutzbarer Feldkapazität nFK liegen, als sehr kritisch solche, die unter die Marke von 10 % nFK absinken. Praktisch bedeutet dies, dass nur noch 30 bzw. 10 % des maximal pflanzenverfügbaren Bodenwassers tatsächlich für die Pflanzen verfügbar ist. Ein Wassergehalt bei 10 % nFK liegt bereits sehr nahe am permanenten Welkepunkt.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen der Häufigkeiten des Auftretens kritischer bzw. sehr kritischer Bodenfeuchtezustände innerhalb des Wurzelraums exemplarisch für die Standorte Praha-Ruzyně und Liberec. Gegenüber gestellt sind die Ergebnisse für die drei Bewuchsvarianten Gras, Büsche und Nadelbäume. Im Rahmen dieses Beitrages werden ausschließlich die mittels des Modells BOWAHALD gewonnenen Ergebnisse vorgestellt.

Die Interpretation der BOWAHALD-Ergebnisse ist auf Grund der Verwendung der deutschen Feldkapazitätsdefinition (Wassergehalt bei eine Bodenwasserspannung von pF 1,8) einfacher als die Interpretation der Bodenfeuchtewerte des HELP-Modells, bei dem pF 2,5 entsprechend der US-Definition der Feldkapazität Verwendung findet. Außerdem werden beim Modell BOWAHALD im Unterschied zum HELP-Modell tiefenorientierte Bodenfeuchtewerte ausgegeben und nicht nur die Bodenwasservorratsänderung für die Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht insgesamt.

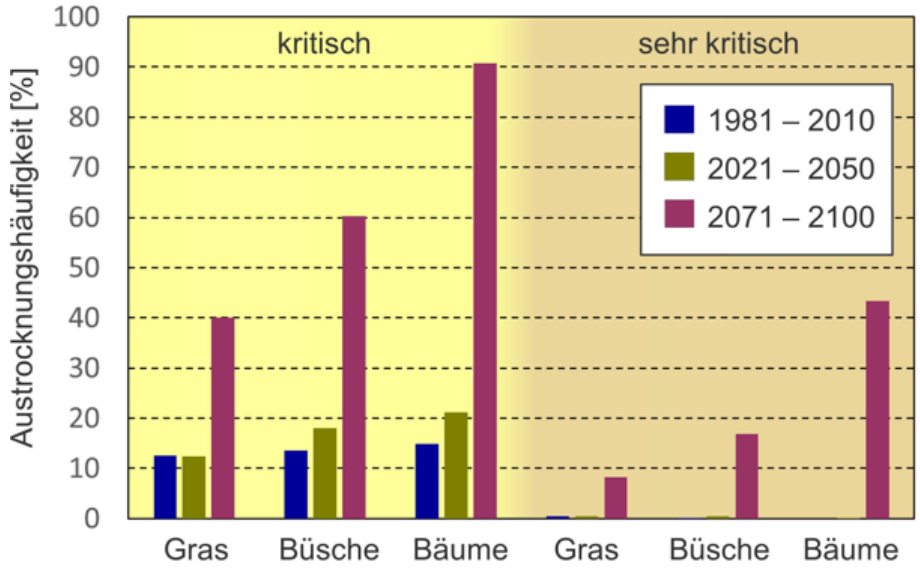


Abbildung 6: Klimabedingte Veränderungen der Austrocknungshäufigkeiten im Wurzelraum für ein mit 5 % nach West geneigtes Plateau mit den Bewuchsarten Gras, Büsche und Nadelbäume am Standort Praha-Ruzyně (Ergebnisse des Modells BOWAHALD).

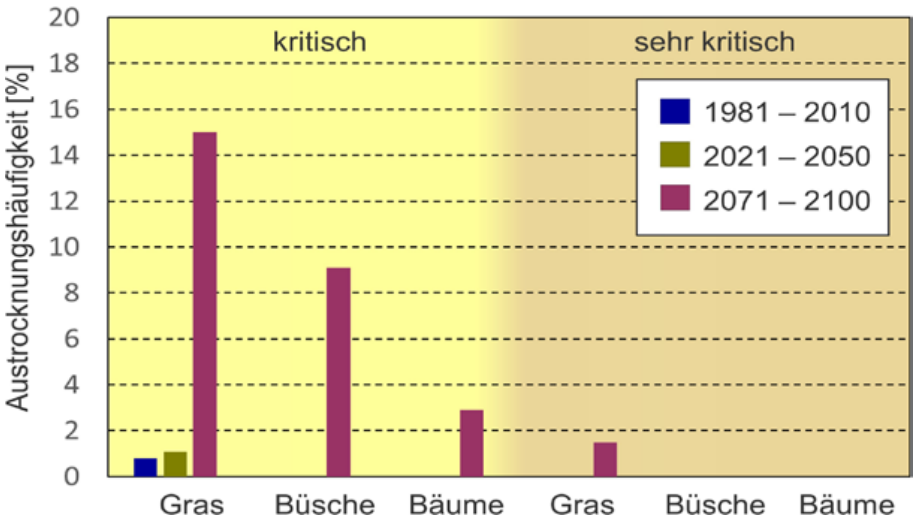


Abbildung 7: Klimabedingte Veränderungen der Austrocknungshäufigkeiten im Wurzelraum für ein mit 5 % nach West geneigtes Plateau mit den Bewuchsarten Gras, Büsche und Nadelbäume am Standort Liberec (Ergebnisse des Modells BOWAHALD).

Folgende generelle Tendenzen sind feststellbar:

- Trockenstress wird in Zukunft überproportional häufiger als gegenwärtig auftreten. Auffällig ist die starke Zunahme kritischer und sehr kritischer Austrocknungszustände gegen Ende des 21. Jahrhunderts.
- Wie sich die Austrocknungsverhältnisse für einzelne Standorte gestalten hängt natürlich von den jeweiligen klimatischen Verhältnissen, vor allem von der klimatischen Wasserbilanz, ab. So wird beim Vergleich der Abbildungen 6 und 7 deutlich, dass kritische bzw. sehr kritische Austrocknungsbeträge wegen der deutlich negativen klimatischen Wasserbilanz für den Standort Praha-Ruzyně spürbar häufiger auftreten als dies am Standort Liberec der Fall ist.
- Beim Vergleich der für die beiden Standorte modellierten Austrocknungshäufigkeiten stellt man fest, dass die Bewuchsarten Gras, Büsche und Bäume offensichtlich gegenläufige Austrocknungsabhängigkeiten erzeugen. Am Standort Liberec gerät der Grasbewuchs am häufigsten in einen trockenstressrelevanten Zustand, der Baumbewuchs dagegen vergleichsweise selten. Für den Standort Praha-Ruzyně gestalten sich die Verhältnisse genau entgegengesetzt.

Wie ist dies erklärbar? Zwei Dinge beeinflussen das Austrocknungsverhalten: die maximale Wurzeltiefe und der Wasservorrat der Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht. Solange sich die klimatische Situation so darstellt, dass zu Beginn der Vegetationsperiode der Wasservorrat der Rekultivierungsschicht bzw. Wasserhaushaltsschicht weitgehend aufgefüllt ist (und dies ist immer dann der Fall, wenn die klimatische Wasserbilanz nicht zu stark ins Minus gerät), ist für das Austrocknungsverhalten entscheidend, wie tief die Pflanzenwurzeln reichen und bis zu welcher Tiefe folglich Bodenwasser entzogen werden kann. Stehen dafür, wie im Fall des Grases nur 80 cm zur Verfügung, so trocknen diese 80 cm logischerweise schneller aus als wenn ein Bodenbereich von 2,5 m wie beim Baumbewuchs ausgeschöpft werden kann. Dies erklärt, warum für den Standort Liberec, dessen klimatische Wasserbilanz erst zum Ende dieses Jahrhunderts leicht in den negativen Bereich rutscht, der Grasbewuchs deutlich häufiger mit Trockenstress zu tun hat als der Busch- oder Baumbewuchs.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse in dem Moment, da die klimatische Wasserbilanz deutlich im negativen Bereich liegt, d. h. einen Wert von etwa - 100 ... - 150 mm/a

unterschreitet, wie dies beim Standort Praha-Ruzyně bereits gegenwärtig der Fall ist (s. Abbildung 2). Unter diesen Bedingungen beginnt das System Oberflächensicherung zu kippen. Ein deutliches Zeichen dieses Kippens ist, dass kaum noch Sickerwasser an der Basis der Rekultivierungsschicht ankommt (vgl. Abbildung 3 – Dränwasser- und Restdurchsickerungsmengen). Was zunächst positiv klingt, ist in Bezug auf die dauerhafte Funktionalität der Oberflächensicherung alles andere als positiv.

Eine der ganz wesentlichen Aufgaben von Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschichten ist es ja bekanntlich, dem Bewuchs optimale Wachstumsbedingungen zu ermöglichen. Jedoch gerade dazu ist ein gekipptes System nicht in der Lage. Das Ausbleiben von Sickerwasser signalisiert es ja bereits: die Wassergehalte in der Rekultivierungsschicht sind dauerhaft so gering, dass praktisch keine Sickerwasserbildung in Gang kommt. In einem solchen System befindet sich der Bewuchs faktisch im Dauerstress. Dies betrifft vor allem höheren Bewuchs, der ja prinzipiell in der Lage ist mehr Wasser als z. B. ein Grasbewuchs zu verdunsten. Büsche und erst recht Bäume schöpfen folglich die ohnehin schon knappen Bodenwasservorräte weiter aus.

Betrachtet man sich die Austrocknungshäufigkeiten für die Bewuchsart Nadelbäume am Standort Praha-Ruzyně vor allem für den zukunftsfernen Zeitraum 2071 – 2100, so muss man konstatieren, dass die Nadelbäume kaum eine Chance hätten, zu überleben. In etwa 90 % aller Tage im Jahr haben die Bäume mit Bodenfeuchtewerten zu kämpfen, die unter 30 % nFK liegen. In über 40 % der Tage ist von akutem Trockenstress, d. h. von Bodenfeuchtewerten unter 10 % nFK, auszugehen. Zu beachten ist, dass sich diese Zahlenwerte auf eine Plateaufläche beziehen. Für eine Südböschung würde sich die Situation noch deutlich verschärfter darstellen.

5 Zusammenfassung

Die Wasserhaushaltsbilanzen, die durch die Modelle HELP bzw. BOWAHALD erzeugt werden, zeigen folgende Tendenzen, die die maßgeblich durch den Klimawandel verursacht werden:

- Für weite Teile von Nordböhmen verändern sich die Bilanzen bis etwa zur Mitte dieses Jahrhunderts nur wenig. Deutliche Veränderungen ergeben sich für den Zeitraum gegen Ende des Jahrhunderts. Verursacht wird dies dadurch, dass die klimatischen Veränderungen zunächst moderat ausfallen und sich erst gegen Ende des Jahrhundert deutlicher verstärken.

- Die Niederschläge sind zunächst gegenüber den heutigen Werten weitgehend unverändert. Zum Ende des Jahrhunderts wird seitens des Klimamodells WETTREG2010 eine spürbare Abnahme der Niederschläge prognostiziert. Diese Abnahme betrifft alle untersuchten Standorte in Nordböhmen. Da andererseits infolge des höheren Energiedargebots die potenziellen Verdunstungswerte in Zukunft zunehmen werden, fallen die klimatischen Wasserbilanzen mit Ausnahme des Standorts Desná (Hochlandklima) in den negativen Bereich.

- Solange die klimatische Wasserbilanz positiv bzw. nur leicht negativ ausfällt, ist davon auszugehen, dass mit zunehmendem Energiedargebot, also zum Ende des Jahrhunderts, im Einklang mit der potenziellen Verdunstung auch die reale Verdunstung zunimmt. Anders gestalten sich die Verhältnisse bei stark negativer klimatischer Wasserbilanz, wie z. B. am Standort Praha-Ruzyně. Unter solchen Bedingungen sinkt die reale Verdunstung infolge des fehlenden Wasserdargebots (Niederschlag) trotz zunehmendem Energiedargebot.

- Im Einklang mit der klimatischen Wasserbilanz verhält sich die Sickerwasserbildung. Für Bedingungen, für die die klimatische Wasserbilanz positiv bzw. nur leicht negativ ist, werden Sickerwässer (Dränwasser- und Restdurchsickerungsmengen) entstehen. Bei

stark positiver klimatischer Wasserbilanz wie am Standort Desná können die Restdurchsickerungsmengen trotz mineralischer Dichtungsschicht in einer Größenordnung von 100 mm/a und darüber liegen. An Standorten mit stark negativer klimatischer Wasserbilanz kommt die Sickerwasserbildung hingegen praktisch zum Erliegen.

- Trockenstress wird in Zukunft überproportional häufiger als gegenwärtig auftreten. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts ist die starke Zunahme kritischer und sehr kritischer Austrocknungszustände zu erwarten.

- Wie sich die Austrocknungsverhältnisse für einzelne Standorte gestalten hängt maßgeblich von den jeweiligen klimatischen Verhältnissen ab. So werden kritische bzw. sehr kritische Austrocknungsbeträge wegen der deutlich negativen klimatischen Wasserbilanz für den Standort Praha-Ruzyně beispielsweise spürbar häufiger auftreten als am Standort Liberec.

- Ein ganz wesentliches Ergebnis der Austrocknungsuntersuchungen ist, dass in dem Moment, da die klimatische Wasserbilanz deutlich im negativen Bereich liegt, d. h. einen Wert von etwa - 100 ... - 150 mm/a unterschreitet, wie dies am Standort Praha-Ruzyně bereits gegenwärtig der Fall ist, das System Oberflächensicherung wasserhaushaltlich gesehen kippt. Die Wassergehalte in der Rekultivierungsschicht sind dauerhaft so gering, dass praktisch keine Sickerwasserbildung in Gang kommt. In einem solchen Zustand befindet sich der Bewuchs faktisch im Dauerstress. Dies betrifft vor allem höheren Bewuchs. Die Büsche und erst recht die Bäume schöpfen folglich die ohnehin schon knappen Bodenwasservorräte weiter aus. Für den Standort Praha-Ruzyně beispielsweise werden für den Baumbesuch im Zeitraum 2071 – 2100 derart geringe Wassergehalte in der Rekultivierungs-/Wasserhaushaltsschicht berechnet, dass davon auszugehen ist, dass die Nadelbäume kaum eine Chance hätten, zu überleben. In etwa 90 % aller Tage im Jahr haben die Bäume mit Trockenstress zu kämpfen. In über 40 % der Tage ist von akutem Trockenstress auszugehen. Da bei den Modellrechnungen bereits von einer Mächtigkeit der Rekultivierungs-/Wasserhaushaltsschicht von 2,5 m ausgegangen worden ist, würden selbst größere Schichtmächtigkeiten kaum zu einem anderen Ergebnis führen.

- Wenn der Klimawandel bis zum Ende dieses Jahrhunderts tatsächlich so stattfindet, wie derzeit von den Klimatologen vorausgesagt, dann wäre dies für die Region Prag eine ökologische Katastrophe. Vor allem Bäume hätten dann kaum noch eine Überlebenschance und dies würde ja nicht „nur“ die Bäume auf Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien betreffen.

Literaturverzeichnis

[1] DUNGER, V.: *Auswirkungen prognostizierter Klimaveränderungen für Sachsen auf den Wasserhaushalt von Deponieoberflächensicherungen*. 2007. – In: Wissenschaftliche Berichte Landfill Workshop Zittau – Liberec, Heft 96/2007, S. 151 – 164

[2] DUNGER, V.: *Konsequenzen des Klimawandels aus Sicht des Wasserhaushaltes von Deponieoberflächensicherungen*. 2008. – In: Proceedings 4. Leipziger Deponiefachtagung

[3] DUNGER, V.: *Austrocknung von Oberflächensicherungen unter dem Aspekt des Klimawandels – In wie weit ist das Deponiewasserhaushaltmodell BOWAHALD hierfür brauchbar?* 2009. – In: Deponieworkshop Zittau-Liberec 2009, Wissenschaftliche Schriften im Rahmen des EU Ziel3/Cil3-Projekts „Erdbau und Rekultivierung“, Heft 1

[4] DUNGER, V.: *Verwendung des Modells BOWAHALD zur Bilanzierung des Deponie- und Haldenwasserhaushalts unter dem Aspekt des Klimawandels*. 2013. – Kapitel 4.2 in: „Auswirkungen des Klimawandels auf Umwelt und Erdbauwerke (Leitfaden)”. Buch im Rahmen des EU Ziel3/Cil3-Projekts „Erdbau und Rekultivierung“

[5] DUNGER, V. ; MÜLLER, M. ; WINTER, C. ; WINTER, J.: *Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen Sachsens im Klimawandel*. 2016. – In: Proceedings 12. Deponieworkshop Liberec-Zittau 2016

[6] SCHMIDT, C.: *Auswirkungen des Klimawandels auf das Verhalten von Deponie-Oberflächensicherungen für ausgewählte Naturräume in Tschechien. Masterarbeit*. 2018. – TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie

[7] BERGER, K. ; SCHROEDER, P. R.: *Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance HELP Modell*. 2013. – Benutzerhandbuch für HELP-D (Version 3.95 D), 6. überarbeitete Auflage. Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg

[8] DUNGER, V.: *Entwicklung und Anwendung des Modells BOWAHALD zur Quantifizierung des Wasserhaushaltes oberflächengesicherter Deponien und Halden*. 2006. – Habilitationsschrift, TU Bergakademie Freiberg, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau

[9] DUNGER, V.: *Dokumentation der Modelle BOWAM und BOWAHALD zur Simulation des Wasserhaushaltes von Böden sowie Oberflächensicherungssystemen von Halden und Deponien*. 2017. – Nutzerhandbuch, Version 06/2017

[10] RULFOVÁ, Z. ; BERANOVÁ, R. ; KYSELÝ, J.: *Climate change scenarios of convective and large-scale precipitation in the Czech Republic based on EURO-CORDEX data*. 2017. – International Journal of Climatology 37: 2451-2465

[11] PROSTŘEDÍ, MŽP – M.: *Fifth National Communication of the Czech Republic on the UN Framework on Climate change including Supplementary Information Pursuant to Article 7.2 of the Kyoto Protocol*. 2009. – 195 pp

[12] HAASE, G. ; BARSCH, H. ; SCHMIDT, R.: *Landschaft, Naturraum und Landnutzung. In: Naturraumerkundung und Landnutzung*. 1991. – Beiträge zur Geographie 34/1

[13] *DepV Deponieverordnung: Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27.04.2009*. 2009. – Erlass der Bundesregierung und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherhei

[14] *Vyhláška č. 294/2005 Sb.Vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady*

[15] a): Rekultivierungsschichten. DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, AK 6.1: Geotechnik der Deponiebauwerke, UG 7: Oberflächenabdichtungssysteme. Im Internet verfügbar unter http://www.gdaonline.de/downloads.htm (Stand: Juni 2010)

[16] LAGA: *Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1 „Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 13.04.2016*. 2016 a). – LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

[17] LAGA: *Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-2 „Wasserhauhaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 13.04.2016*. 2016 a). – LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

[18] DEHNER, U. ; MAIER-HARTH, U.: *Vereinfachte bodenkundliche Beurteilung von Substraten für Deponierekultivierungsschichten*. 2016. – 12. Leipziger Deponiefachtagung, Tagungs-band, S. 105 – 116, Leipzig

[19] Gestaltung des Bewuchses auf Deponien. DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, AK 6.1: Geotechnik der Deponiebauwerke, UG 7: Oberflächenabdichtungssysteme. Im Internet verfügbar unter http://www.gdaonline.de/downloads.htm (Stand: Januar 2010).

[20] KREIENKAMP, F. ; SPEKAT, A. ; ENKE, W.: *Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Modell WETTREG2010*. 2010. – Climate & Environmental Consulting Potsdam GmbH

[21] LANUV NRW – LANDESAMT FÜR NATUR, Hrsg. Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: *Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme – Konkretisierungen und Empfehlungen zur Deponieverordnung*. 2010. – LANUV Arbeitsblatt 13, Eigenverlag, Recklinghausen

Einfluss der Porosität und des Wassergehalts auf die Luft- und Wasserdurchlässigkeit von Böden

Vliv porozity a vodního režimu na propustnost půd

Said Al-Akel; Friedemann Sandig[1]

Kurzfassung

Poröse Medien, wie z.B. Boden, speichern und leiten Wasser und Luft. Allgemein wird für die Modellierung von Transportvorgängen im Boden vereinfacht angenommen, dass die hydraulische Durchlässigkeit ein isotropes Verhalten aufweist. Jedoch hängen die Transportparameter im Boden nicht nur von der Porengrößenverteilung, sondern auch von der Kontinuität der Poren und damit von der Bodenstruktur ab. Die Kontinuität der Poren kann wiederum aus Messungen der Gasdiffusion in Böden abgeleitet werden.

Der Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Boden (Diffusion) ist ein bedeutender Prozess für die Atmung von Pflanzenwurzeln und aeroben Mikroorganismen. Dieser wird gesichert durch die unterschiedlichen Konzentrationen und demzufolge Teildrücken von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid in der Luft und Boden. Kommt der Gasaustausch im Boden zum Erliegen, so können klimaschädliche Reduktgase wie Methan oder Schwefelwasserstoff entstehen. Die Luftdurchlässigkeit als messbarer Parameter kann bei der Schätzung der Atmungsfähigkeit und demzufolge Gasdiffusion des Bodens einbezogen werden. Bei Bodenluftsanierung von kontaminierten Böden ist die realitätsnahe Abschätzung der Luftdurchlässigkeit erforderlich für die Auslegung und den Betrieb von Bodenluftabsauganlagen.

Auf der Grundlage von labortechnischen und theoretischen Untersuchungen wird der Einfluss des Einbauwassergehalts und der Porosität des Bodens auf die Luft- und Wasserdurchlässigkeit vorgestellt. Als weiteres werden erste Ansätze für die Beschreibung der Beziehung zwischen Wasser- und Luftdurchlässigkeit aufgezeigt.

Abstrakt

Porézní média, jako například půda, ukládají a vedou vodu a vzduch. Pro modelování transportních procesů v půdě se zjednodušeně vychází z toho, že hydraulická propustnost vykazuje izotropní vlastnosti. Parametry transportu v půdě však nezávisejí jen na distribuci velikosti pórů, ale i na kontinuitě pórů a tím na struktuře půdy. Kontinuitu pórů lze odvodit z měření difuse plynů v půdě.

Výměna plynů mezi atmosférou a půdou (difuse) představuje významný proces pro dýchání kořenů rostlin a aerobních mikroorganismů. Tento proces je zajišťován pomocí rozdílných koncentrací a v důsledku toho dílčích tlaků kyslíku a oxidu uhličitého ve vzduchu a v půdě. V případě, kdy dojde k zastavení výměny plynů v půdě, mohou vznikat klimaticky škodlivé plyny, jako jsou metan nebo sirovodík. Prodyšnost jako měřitelný parametr může být zahrnuta do vyhodnocení prodyšnosti a tedy plynové difúze půdy. Při sanaci půdního vzduchu kontaminovaných půd je reálný odhad prodyšnosti nutný pro nadimenzování a provoz zařízení pro odsávání půdního vzduchu.

V příspěvku bude na základě laboratorně technických a teoretických průzkumů představen vliv obsahu vody při zpracování materiálu a porozity půdy na prodyšnost a propustnost. Dále budou představeny první metody pro popis vztahu mezi propustností a prodyšností.

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

Reinigung von Deponie-Sickerwasser mittels Umkehrosmose als Beitrag für sichere Deponien während Ablagerung und Nachsorge

Čištění skládkových výluhů pomocí reverzní osmózy jako příspěvek k bezpečnosti skládek v průběhu provozu a následné péče

Thomas Peters[1]

Kurzfassung

Die Einleitung von nicht gereinigtem Deponie-Sickerwasser in Gewässer stellt eine Gefahr für die Umwelt dar. Dabei werden die Zusammensetzung und die Menge des an einer Deponie anfallenden Sickerwassers durch unterschiedlichste Faktoren und Vorgänge im Deponiekörper selbst beeinflusst. Hierzu gehören unter anderem die Art der eingelagerten Abfälle, der Aufbau und die Standzeit des Deponiekörpers, das witterungsbedingte Wasser-Aufkommen und sonstige Wasser-Eintragspfade. Die durch diese Standort-spezifischen und zeitabhängigen Randbedingungen geprägten sehr unterschiedlichen Einflussfaktoren führen zur Entstehung von sehr inhomogenen organischen und anorganischen Stoffgemischen im Deponie-Sickerwasser, dessen Aufbereitung bzw. Behandlung besondere Anforderungen an die zur Reinigung einzusetzenden Verfahren stellt.

Ausgehend von einem Überblick über die zur Aufbereitung bzw. Behandlung von Deponie-Sickerwasser genutzten Verfahren und Verfahrens-Kombinationen, die auf adsorptiven, biologischen, oxidativen und/oder thermischen Prozessen basieren, werden Besonderheiten beim Einsatz der druckgetriebenen Membranverfahren Umkehrosmose und Nanofiltration erläutert. Die Reinigung von Deponie-Sickerwasser mittels dieser Trennverfahren, bei denen die verwendeten Membranen definierte Barrieren darstellen, ermöglicht den Einsatz bei unterschiedlichsten Zusammensetzungen und Belastungen des aufzubereitenden Mediums. Die dabei für einen stabilen Langzeitbetrieb sinnvollerweise einzusetzende Offenkanal-Technik für Membran-Elemente und Membran-Module wird an Fallbeispielen vorgestellt.

Mit dieser sowohl kostenmäßig sinnvollen als auch Umweltschutz-bezogen zielführenden Lösung werden die von der Gesetzgebung verbindlich vorgeschriebenen Grenzwerte im von einer Deponie abzuleitendem gereinigten Wasser zuverlässig und stabil eingehalten. Da auch höchste Anforderungen an die Reinigungs-Effizienz bei Deponie-Sickerwasser erfüllt werden können, wird die notwendige Sicherheit bei der Abwehr von Gefahren für die Umwelt beim Betrieb einer Deponie während der Ablagerung und bei der Nachsorge gewährleistet.

Bei älteren Deponien mit hohem Organik-Anteil kann die auf dieser Verfahrensweise basierende kontrollierte Infiltration des Umkehrosmose-Retentats eingesetzt werden. Die hierdurch erzielbare Beschleunigung des Abbaus der organischen Fraktion und die damit einhergehende Produktion von wirtschaftlich nutzbarem Deponie-Gas tragen letztendlich zur Verkürzung der Nachsorgephase und zur Reduzierung zugehöriger Kosten bei.

[1]Dr.-Ing. Peters Consulting für Membrantechnologie und Umwelttechnik, Neuss; Rheinfährstr. 201, D-41468 Neuss; dr.peters.consulting@t-online.de

Abstrakt

Odvádění nevyčištěných skládkových výluhů do vodních toků představuje nebezpečí pro životní prostředí. Složení a množství skládkových výluhů je ovlivňováno nejrůznějšími faktory a procesy, probíhajícími ve vlastním tělese skládky. Patří mezi ně mimo jiné druh ukládaných odpadů, konstrukce a doba existence tělesa skládky, objem vody, závisející na klimatických podmínkách a další přístupové cesty vody. Tyto vlivové veličiny, ovlivňované specifickou situací dané lokality a na čase závislými okrajovými podmínkami, vedou ke vzniku velmi nehomogenních a anorganických látkových směsí ve skládkovém výluhu, jehož úprava klade specifické požadavky, na procesy, které jsou k čištění výluhů používány.

Na základě přehledu možností úpravy skládkových výluhů a k těmto účelům používaných postupů a kombinací, spočívající na adsorptivních, biologických, oxidačních a / nebo termických procesech, budou vysvětlena specifika tlakových membránových technologií, kterými jsou reversní osmóza a nanofiltrace. Čištění skládkových výluhů pomocí těchto separačních procesů, během kterých představují membrány definované bariéry, umožňuje využití těchto procesů při nejrůznějším složení a zátěži zpracovávaného média. Na příkladech bude představena technika otevřeného kanálu pro membránové prvky a membránové moduly, jejíž využití se pro stabilní dlouhodobý provoz jeví být nejsmysluplnější.

Tímto cenově smysluplným, ale i ekologickým řešením jsou spolehlivě a stabilně dodržovány zákonem závazně stanovené limitní hodnoty vyčištěných vod, odváděných ze skládek. Jelikož je možno splnit i nejpřísnější požadavky na efektivitu čištění skládkových výluhů je zajištěna i potřebná jistota při odvracení ohrožení životního prostředí, vyplývajícího z provozu skládky během fáze ukládání odpadů i během následné péče.

V případě starších skládek s vysokým podílem organických hmot lze využít na bázi této technologie pracující kontrolovanou infiltraci retentátu reversní osmózy. Zrychlení odbourávání organické frakce, kterého lze takto docílit, a s tím související produkce ekonomicky využitelného skládkového plynu přispívá ke zkrácení fáze následné péče a k redukci příslušných nákladů.

1 Verfahren zur Reinigung von Abwasser

Die Anstrengungen zum Schutz der zur Trinkwasser-Gewinnung genutzten Ressourcen wie Grundwasser und Oberflächengewässer vor weiterer Verunreinigung sind mit die Basis für den steigenden Bedarf an Verfahren, die eine hohe Effizienz bei der Reinigung von Abwasser und Prozessflüssigkeiten erzielen lassen und nachhaltige Lösungen zur Aufbereitung oder Behandlung der dabei anfallenden Rückstände ermöglichen [1].

Dieser steigende Bedarf an Verfahren zur Aufbereitung oder Behandlung von hoch belasteten Abwässern und Prozessflüssigkeiten, die bezüglich ökonomischer, ökologischer und verfahrenstechnischer Aspekte belastbar sein müssen und einen zuverlässigen Langzeit-Betrieb ermöglichen, schließt die Reinigung von Deponie-Sickerwasser ein. Auch hier kann und muss ein Beitrag zur Verringerung des Umweltbelastungs-Potenzials geleistet werden, wobei aber die Aufbereitungs-spezifischen Kosten gleichzeitig global-strategisch ausgerichteten und über die Reinigungs-Effizienz bestimmten Nachhaltigkeits-orientierten techno-ökonomischen Betrachtungen standhalten müssen.

2 Zusammensetzung von Deponie-Sickerwasser

Die in einer Deponie entstehende Sickerwasser-Menge und die Inhaltsstoffe dieses Sickerwassers werden durch diverse Faktoren und Vorgänge in einem Deponiekörper beeinflusst. Hierzu gehören unter anderem die Art der eingelagerten Abfälle, die Verteilung der Einlagerung von Abfall-Fraktionen im Deponiekörper, die Eigenfeuchte des Abfalls, der Aufbau des Deponie-Körpers, die Verdichtung des Deponie-Körpers, die Standzeit des Deponie-Körpers, die biologischen Prozesse im Deponie-Körper, die Standort-spezifische Witterung bzw. das Einsickern

von Regenwasser und z. B. der Eintrag von Grund- und Fremdwasser bei unzureichend abgedichteter Deponie.

Veränderungen bei der Konzentration der Sickerwasser-Inhaltsstoffe ergeben sich zudem während der Standzeit einer konventionellen Hausmüll-Deponie beim mehrere Jahre in Anspruch nehmendem Wechsel von der anfänglichen „sauren Phase“ über eine Übergangsphase in die „Methan-Phase“. Dabei steigt üblicherweise mit fortschreitender Deponiestandzeit der Anteil biologisch schwer abbaubarer organischer Verbindungen. Die durch diese sehr unterschiedlichen ortsspezifischen und zeitabhängigen Randbedingungen geprägten verschiedenen Einflussfaktoren führen zur Entstehung von teilweise sehr inhomogenen organischen und anorganischen Stoffgemischen im Deponie-Sickerwasser. Zu diesen Inhaltsstoffen gehören sauerstoff-zehrende bis fischtoxische Substanzen und, je nach abgelagerten Industrieabfällen, bis hin zu Halogenverbindungen mit krebserzeugender, fruchtschädigender oder erbgutverändernder Wirkung, Salzbildner und Schwermetalle, wobei letztgenannte aber üblicherweise eher eine untergeordnete Rolle spielen. Bei Schlacke- und Reststoff-Deponien kann der Anteil fester Inhaltstoffe bei bis zu 100 g/L liegen.

Wegen der aus dieser Vielfalt resultierenden meist komplexen verfahrenstechnischen Aufgabenstellungen für die Aufbereitung bzw. Behandlung von Deponie-Sickerwasser müssen deshalb für die notwendige weitgehende Reinigung von dieser Art von üblicherweise hochbelastetem Industrie-Abwasser Kombinations-Verfahren bzw. Hybrid-Verfahren eingesetzt werden. Unter „Aufbereitung“ werden dabei Verfahren verstanden, deren Wirkmechanismus rein physikalisch oder mechanisch ist, z. B. Aufkonzentrierung oder Abtrennung von Wasserinhaltsstoffen, unter „Behandlung“ wiederum Verfahren, bei denen durch biologische oder oxidative Prozesse Wasserinhaltsstoffe umgewandelt oder zerstört werden, wie z. B. Bakterien-basierter biologischer Abbau oder oxidative Zerstörung von Kontaminanten.

Wie in kaum einem anderen Bereich der Abwasser-Aufbereitung bzw. -Behandlung ist wegen der Vielfalt möglicher Einflussfaktoren und der großen Bandbreite des sich unter Umständen auch örtlich und zeitlich verändernden Kontaminations-Potenzials bei der Reinigung von Deponie-Sickerwasser nachhaltig der Leitsatz „jeder Fall ist anders“ zu berücksichtigen.

3 Verfahren zur Aufbereitung bzw. Behandlung von Deponie-Sickerwasser

Zur Aufbereitung bzw. Behandlung von Deponie-Sickerwasser werden unterschiedlichste Verfahren und Verfahrens-Kombinationen genutzt, die auf adsorptiven, biologischen, oxidativen, thermischen und/oder membrantechnischen Prozessen basieren können.

Wichtige Details zu den üblicherweise eingesetzten Verfahren sind nachstehender beispielhafter Tabelle 1 zu entnehmen, in der die Interdependenzen zwischen einzelnen Verfahren, den damit umwandelbaren bzw. abtrennbaren Wasserinhaltstoffen und den anfallenden Reststoffen dargestellt sind.

Die Auswertung dieser Zusammenhänge lässt den Schluss zu, dass bei den meisten Verfahren die Reinigungs-Effizienz für Deponie-Sickerwasser relativ beschränkt ist bzw. auf sehr spezielle Anforderungsprofile limitiert wird. Hintergründe hierzu sind anderweitig beschrieben [2].

Ausnahmen bilden die Membran-Verfahren Umkehrosmose (RO) und Nanofiltration (NF), bei denen die verfahrenstechnische Grundlage auf der Funktion der entsprechenden Membranen als definierter Barriere basiert.

Tabelle 1: Interdependenzen zwischen Verfahren zur Behandlung bzw. Aufbereitung von Abwasser, abtrennbaren Inhaltsstoffen und verbleibenden Reststoffen (Quelle: Peters).

Verfahren \ Inhaltstoffe	abfiltrierbare Feststoffe	CSB	Ammonium	AOX	Schwermetalle	Eisen, Mangan	Salze	PAK	LHKW	Bakterien	Viren	bleibende Reststoffe
1.1 Biologischer Abbau	o	o	+	o	-	o	-	-	o	-	-	Schlamm
1.2 Chemische Oxidation	-	+	o	+	-	o	-	+	+	+	+	Abluft
2.1 Adsorption	o	o	-	+	o	-	-	+	+	-	-	Beladene A-Kohle
2.2 Eindampfung	+	+	+(1)	o	+	+	+	o	-	-	-	Reststoffe, Abluft
2.3 Elektrodialyse	-	-	o	-	+	+	+	-	-	-	-	Restwasser
2.4 Flockung/ Fällung	o	o	+(3)	o	+	+	-(4)	-	-	-	-	Schlamm
2.5 Flotation (MBF)	+	o	-	+	+(5)	+	-	+	-	o	o	Schlamm
2.6 Ionen-Austausch	-	-	o	o	+	+	+	-	-	-	-	Konzentrat
2.7 Strippung	-	-	+(2)	o	-	-	-	o	+	-	-	Abluft
2.8 Filtration	+	-	-	-	o	+	-	-	-	-	-	Schlamm
2.9 Mikrofiltration	+	-	-	-	o	+	-	-	-	+	o	Restwasser
2.10 Ultrafiltration	+	o	-	-	o	+	-	-	-	+	+	Restwasser
2.11 Nanofiltration	+	+	o	o	+	+	o	o	-	+	+	Restwasser
2.12 Umkehrosmose	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Restwasser

+ = geeignet − = ungeeignet o = teilweise geeignet

1.1 - 1.2 = Zerstörung der Inhaltstoffe 2.1 - 2.11 = Konzentration oder selektive Trennung von Inhaltstoffen

(1) bei alkalischer Fahrweise
(2) bei saurer Fahrweise
(3) MAP-Fällung, sonst "-"
(4) für Sulfat "+"
(5) nach Fällung/Flockung

4 Umkehrosmose zur Reinigung von Deponie-Sickerwasser

Das ursprünglich für die Produktion von Trinkwasser aus Meerwasser entwickelte und inzwischen hierfür weltweit sehr erfolgreich und zunehmend genutzte Verfahren Umkehrosmose ermöglicht beim Einsatz entsprechender Membranen in Abhängigkeit von der Konzentration der Inhaltsstoffe bei einer einstufigen Ausführung in der Regel eine Reduzierung des Volumens des in einer Deponie anfallenden Sickerwassers um 70 bis 75 %. Voraussetzung für einen erfolgreichen und problemlosen Langzeitbetrieb ist dabei der Einsatz von Membran-Elementen bzw. Membran-Modulen mit rohwasserseitiger Offenkanal-Konstruktion, die der Konzentrations-Polarisation in der Grenzschicht an der Membran entgegenwirkt und insbesondere eine sehr effiziente zyklische Reinigung der Membranen ermöglicht.

Umkehrosmose zählt zu den physikalischen Trennverfahren und ist ein druckgetriebener Prozess an einer semipermeablen Membran. Die Trennung erfolgt dadurch, dass das Wasser die Membran ungehindert passieren kann, während die im Wasser gelösten Komponenten weitestgehend zurückgehalten werden. Je nach Moleküldurchmesser und eingesetztem Membrantyp liegen die Salz- bzw. Schadstoff-Rückhalteraten dabei im Bereich von ca. 98,0 bis 99,5 %.

Im Bereich der Reinigung von Deponie-Sickerwasser kann das Membranverfahren Umkehrosmose als führende Technologie betrachtet werden, da bei diesem Prozess wegen der Barrieren-Funktion der Membranen die hohe Reinigungswirkung erzielt wird, die zur Reduzierung der negativen Auswirkungen von Deponie-Sickerwasser auf die Umwelt notwendig ist [2].

Mit dieser sowohl kostenmäßig sinnvollen als auch umweltschutzbezogen zielführenden Lösung werden die von der Gesetzgebung verbindlich vorgeschriebenen Grenzwerte im von einer Deponie abzuleitendem gereinigten Wasser zuverlässig und stabil eingehalten. Auch ho-

he Anforderungen an die Reinigungs-Effizienz bei Deponie-Sickerwasser werden erfüllt.

In unzähligen Anlagen weltweit hat sich hier der vom Hamburger Unternehmen ROCHEM [3] entwickelte Scheiben-Rohr-Modul (DT - Disc-Tube Module und ab 2013 auch der PFG – Plate and Frame Module) bewährt, in dem der zur effizienten Aufbereitung von kontaminiertem Abwasser benötigte rohwasserseitig offene Kanal zwischen den Hydraulikplatten und den Membrankissen gebildet wird (Abbildung 1 links und Mitte).

Gleich gute Ergebnisse bezüglich Permeat-Flux und Salzrückhalterate ermöglicht der ebenfalls vom o. g. Unternehmen entwickelte Selective Substances Separation Module (Triple S/TS-Module), bei dem die für eine erfolgreiche Reinigung von hoch kontaminiertem Abwasser wie Deponie-Sickerwasser rohwasserseitig notwendige Offenkanal-Konstruktion durch entsprechende Abstandshalter (Feed Spacer) realisiert wird (Abbildung 1 rechts).

Wie die Umkehrosmose gehört die Nanofiltration, für deren Anwendungen auch die vorgenannten Module mit Offenkanal-Technik eingesetzt werden, zu den druckgetriebenen Membran-Verfahren, wobei auch die für die NF verwendeten Membranen nach dem Lösungs-Diffusionsprinzip arbeiten. Eine Besonderheit ist, dass einwertige Anionen in hohem Maße durch die Membran diffundieren können, während mehrwertige Anionen weitgehend zurückgehalten werden.

Die Nanofiltration eignet sich u. a. für die Entfernung von Härte oder Sulfat aus einem Wasserzufluss. In Kombination mit Umkehrosmose, Hochdruck-Umkehrosmose und Hydrozyklon-Klassierung ist es möglich, bei hochkonzentriertem Deponiesickerwasser eine Permeat-Ausbeute von bis zu 95 % zu erzielen [2].

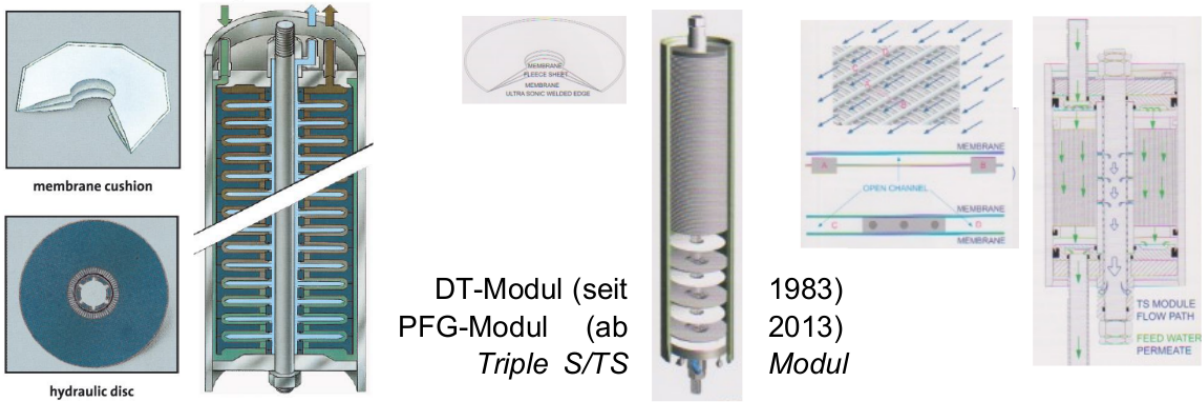


Abbildung 1: Umkehrosmose-Module mit Offenkanal-Konstruktion von ROCHEM. Quelle: [3]

5 RO-Anlagen zur Reinigung von Deponie-Sickerwasser

Die bei der Reinigung von Deponie-Sickerwasser mit einer einstufigen Umkehrosmose-Anlage erzielbare Permeat-Ausbeute von 70 bis 75 % entspricht der Menge an gereinigtem Wasser (Permeat), das problemlos in den nächsten Vorfluter abgeleitet werden kann. Das Prozessbedingt verbleibende, anderweitig auch als Konzentrat oder Rest-Sickerwasser bezeichnete Retentat, kann zur weiteren Volumenreduzierung oder Schadstoff-Entfrachtung bzw. Schadstoff-Elimination unterschiedlichen Verfahrensschritten zugeführt werden. Hierzu gehören beispielsweise die Einbindung des Rest-Sickerwassers mit verschiedenen Materialien mit anschließender Ablagerung der inerten, trockenen und sich je nach Zuschlagsstoff gemäß der puzzolanischen Reaktion langfristig verfestigenden Reststoffe, Verbrennung des Restsickerwassers in entsprechend für die Entsorgung hochbelasteter flüssiger Reststoffe aus der Industrie ausgerüsteten und zertifizierten Anlagen, oder beispielsweise die kontrollierte Infiltration in den Deponiekörper, bei der das Rest-Sickerwasser zur Beschleunigung des Abbaus der organischen Fraktionen und von Inertisierungsprozessen gezielt in Feuchtigkeits-Bedarfszonen im

örtlich oft trockenen Deponiekörper zurückgeführt wird. Dies trägt zur endgültigen Inertisierung der auf konventionellen Hausmülldeponien (z. B. auch sog. „Bürgermeisterkippen“) abgelagerten Abfälle und dadurch Verkürzung der Stilllegungs- und Nachsorgephase bei und dadurch zu signifikanten Kostenreduzierungen [2]. Möglich ist auch die Aufkonzentrierung des Rest-Sickerwassers mit einer Kombination aus Nanofiltration, Hochdruck-Umkehrosmose, kontrollierter Kristallisation und/oder Verdampfung zur Erzielung eines minimalen Volumens für einen als Sonderabfall zu entsorgenden Feststoff.

Mit der Umkehrosmose, die vorteilhaft und erfolgreich auch im Rahmen von Betreibermodellen eingesetzt wird, ist eine fast vollständige Schadstoff-Entfrachtung auch unter wirtschaftlich günstigen Bedingungen möglich. Sowohl der „Inert-CSB“ und Schwermetalle, aber auch Salzfrachten und Giftstoffe sind durch Umkehrosmose-Membranen zu über 99% sicher abtrennbar. Durch den modularen Aufbau können Umkehrosmose-Anlagen an jeden Bedarf angepasst werden und sind entsprechend für unterschiedlichste Kapazitäten realisierbar.

Basierend auf adaptierten Membranen und problemspezifisch ausgewählten Membranelementen mit den erwähnten rohwasserseitig offenen Kanälen sind druckgestufte Umkehrosmose-Anlagen für diese Anwendung seit vielen Jahren erfolgreich im Einsatz. Abhängig von der Qualität des Rohsickerwassers ist damit eine Permeat-Ausbeute um 75 bis 85% erzielbar, und somit eine Reduzierung des Volumens des Rest-Sickerwassers auf 25 bis 15 % des eingespeisten Roh-Sickerwassers möglich.
Dabei bestehen die mehrgestuften Einheiten in der Regel aus der Kombination von:

a) einer „Sickerwasser-Stufe“, betrieben mit 6.000 bis 7.000 kPa (60-70 bar),

b) einer „Retentat-Stufe“ (= Konzentrat-Stufe), betrieben mit bis zu 1.200 kPa (120 bar),

c) einer „Permeat-Stufe“, üblicherweise betrieben im Bereich bis 4.000 kPa (40 bar).

Ein Bespiel für diese Art von Anlagen zeigt Abbildung 2, die im Dezember 1993 in Betrieb genommene und inzwischen auf TS-Module umgerüstete Anlage auf der Deponie Ihlenberg (ehemals Deponie Schönberg) mit einer Aufbereitungskapazität von bis zu 1.200 m^3/Tag. In 2018 wurden hier 25 Jahre erfolgreicher Dauerbetrieb erreicht.

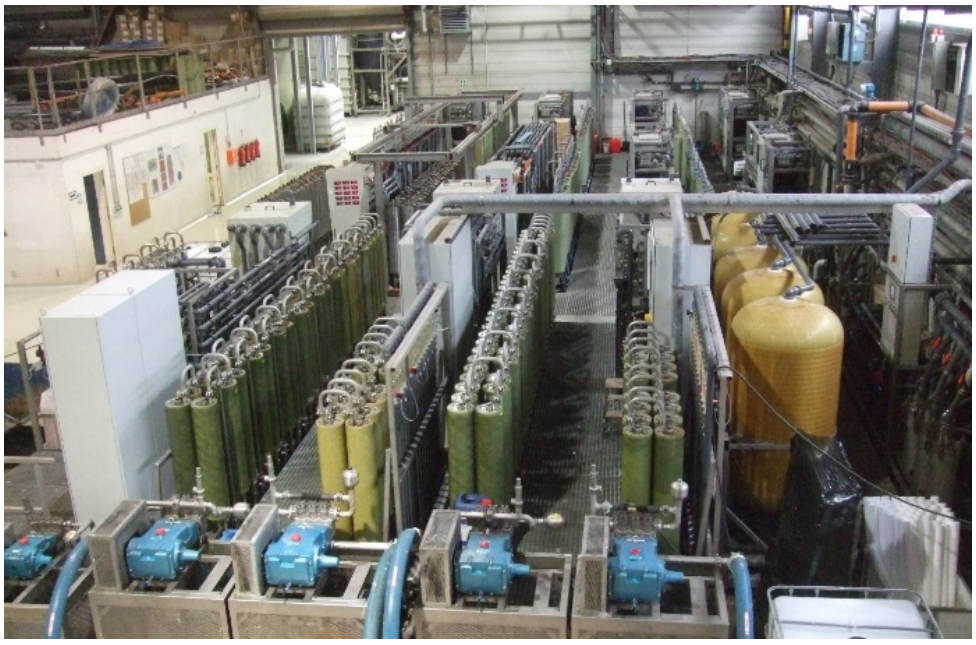


Abbildung 2: Druckgestufte Umkehrosmose-Anlage zur Reinigung von Sickerwasser auf der Deponie Ihlenberg (ehemals Deponie Schönberg), (Quelle: R.T.S., Peters).

Zur weitergehenden Aufbereitung wird das hier entstehende Retentat seit 1.01.2017 im Dauerbetrieb einer nachgeschalteten Kombination aus Nanofiltrations-Einheiten mit unterschiedlichen Druckstufen und einer Hochdruck-Umkehrosmose zugeführt. Die hierdurch insgesamt erzielbare noch deutlichere Volumenreduzierung des einer weiteren Behandlung zuzuführenden Rest-Sickerwassers auf bis zu 5 % des eingespeistem Roh-Sickerwassers ermöglicht eine deutliche Senkung der Kosten für das Handling und die weitere Aufbereitung.

6 Fazit

Betriebserfahrungen aus über inzwischen mehr als 3 Jahrzehnten mit großtechnischen Membrananlagen in unterschiedlichsten Bereichen führen zum Fazit, dass Membranverfahren eine hohe Reinigungs-Effizienz erzielen lassen und als techno-ökonomisch effiziente Lösung für viele Aufgabenstellungen in der Produktion, in der Wasserwirtschaft und in der Umwelttechnik eingesetzt werden können.

Ein Beispiel ist der inzwischen weltweite erfolgreiche Einsatz der Umkehrosmose zur Reinigung von Deponie-Sickerwasser, der einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung von Deponie-bezogenen Umweltaspekten und der Absicherung der Nachhaltigkeit zu leisten vermag. Dabei kann der zusätzliche Einsatz der Nanofiltration und der Hochdruck-Umkehrosmose noch weitere Optimierungspotenziale erschließen helfen.

Literaturverzeichnis

[1] PETERS, Th.: *Vermeidung von Engpässen in der Trinkwasserversorgung durch den Einsatz von druckgetriebenen Membran-Verfahren*. 06 2019. – gwf Wasser + Abwasser

[2] PETERS, Th.: *Reinigungs-Effizienz von Verfahren zur Reinigung von Deponie-Sickerwasser*. – HTWK Leipzig, Tagungsband, 14. Leipziger Deponiefachtagung, Leipzig, 6./7.03.2018

[3] Firmenbroschüre, ROCHEM Technical Services, Hamburg, 2017

Kontrollsysteme, Standsicherheit

Monitorovací systémy, stabilita svahů

Elektronische Monitoringsysteme zur Feststellung von Undichtheiten in Dichtungsbahnen der Abfalldeponien

Elektrické monitorovacie systémy na detekciu a lokalizáciu netesností v izolačných fóliách skládok odpadov

Vladimir Nosko[1]

Kurzfassung

Die Tatsache, dass die Dichtungsbahnen nach ihrem Einbau auf ihre 100%-ige Dichtheit nicht überprüft werden, folglich möglicherweise eine Stelle eine Kontaminierung ermöglicht, stellt einen Paradoxon dar. Um Undichtheiten in eingebauten Dichtungsbahnen feststellen zu können, werden elektronische Monitoringsysteme eingesetzt, die auf Basis von unterschiedlichen Prinzipien und Konfigurationen arbeiten. In diesem Beitrag werden diese Systeme aus der Sicht ihres Prinzips, der Etappen ihrer Anwendung, ihrer Sensibilität und ihres Gesamtnutzens dargestellt. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, wie der Erfolg des Einsatzes elektronischer Systeme im weltweitem Maßstab die Entwicklung von speziellen Normen und Empfehlungen für ihre Spezifizierung und Anwendung hervorgerufen hat. Als ein Beispiel werden die weltweit eingeforderten Normen ASTM erwähnt. Angesprochen wird auch die BAM-Zulassung der permanenten elektronischen Monitoringsysteme aus der Sicht ihrer Funktionsfähigkeit und insbesondere ihrer 30-jährigen Lebensdauer in Deutschland. Zum Abschluss wir an einigen praktischen Beispielen die Anwendung elektronischer Monitoringsysteme in unterschiedlichen Ländern der Welt dargestellt (Deutschland, Japan, Korea, USA, Portugal, Tschechien und die Slowakei). Somit kann die Bedeutung dieser System herausgestellt werden. Gleichzeitig wird auch dargestellt, wie die weltweite Anforderung eines SZero Leakïn den Dichtungsbahnen erreicht werden kann.

Abstrakt

Paradoxom je, že práve tesniaca fólia, ak nie je po jej inštalácii z dôvodu jej 100% tesnosti skontrolovaná, je miestom, ktoré umožňuje kontamináciu. Pre účely detekcie a lokalizácie netesností v inštalovaných fóliách sú používané elektrické monitorovacie systémy rôznych princípov a konfigurácií. V tomto príspevku ich popisujeme z pohľadu ich princípu, etapy použitia, citlivosti a celkového prínosu. Rovnako poukazujeme ako úspešnosť aplikovania elektrických systémov v celosvetovom merítku vyprovokovala kreovanie špeciálnych noriem a doporučení pre ich špecifikáciu a aplikáciu. Ako príklad uvádzame celosvetovo vyžadované normy ASTM a rovnako sa zmieňujeme aj o vyžadovanej BAM certifikácii pre permanentné elektrické monitorovacie systémy z pohľadu ich funkčnosti a najmä 30 ročnej životnosti v Nemecku. Na záver uvádzame niekoľko vybraných príkladov aplikácie elektrických monitorovacích systémov z rôznych krajín sveta (Nemecko, Japonsko, Korea, USA, Portugalsko, Cechy a Slovensko) k porovnaniu tak, aby bolo možné dokumentovať ich jednoznačný prínos. Rovnako popisujeme ako dosiahnuť celosvetovú požiadavku „Zero Leak“ čiže tzv. nulovú toleranciu pre výskyt netesností v izolačných fóliách

[1]SENSOR, spol. sr.o., Obchodná 8., SK-90201, Pezinok, SR, nosko@sensorgroup.com

1 Úvod

V súčasnosti sme svedkami vysokého tlaku na ochranu životného prostredia a to hlavne minimalizácie, a v prípadoch kedy je to možné až eliminácie jeho kontaminácie. V prípade skládok odpadov sa väčšinou jedná o emisie skládkových plynov do ovzdušia resp. kontaminácie podložia skládok skládkovými vodami, odborne nazývanými priesakovými kvapalinami. Tvorba priesakových kvapalín a jej množstvo je priamoúmerné množstvu kvapalín do skládky prichádzajúcich a to buď spolu s odpadmi pri ich deponovaní, alebo dažďovou vodou. Takto akumulované priesakové kvapaliny reprezentujú, v prípade neexistencie nepriepustného izolačného prostredia, priamu kontamináciu podložia skládky. K tomu, aby boli tieto možné zdroje kontaminujúcich kvapalín eliminované, musia byť preukázateľne tesné a neporušené izolačné vrstvy, oddeľujúce obsah skládky od jej podložia. Rovnako a v rovnakom zložení musia byť preukázateľne tesné aj izolačné vrstvy v prípade prekrytia skládky. Súčasťou takýchto izolačných vrstiev sú vo väčšine prípadov izolačné fólie (geomembrány) alebo v niektorých prípadoch aj asfaltové pásy. Práve neporušenosť týchto izolačných fólií je zárukou zabránenia kontaminácie podložia skládky. Pre uvedený účel preukazovania neporušenosti izolačných fólií sú ideálnym riešením elektrické monitorovacie systémy (EMS) tesnosti, ktoré predstavujú práve aktívnu časť monitoringu skládok po celú dobu ich života. Čiže ako počas výstavby izolačných vrstiev, tak aj počas prevádzky skládka ako aj po jej uzatvorení, čo zo zákona znamená viac ako 30 rokov. Pre úplnosť treba uviesť, že zo zákona sú skládky a ich vplyv na podzemné vody, hlavne monitorované sieťou monitorovacích vrtov. Uvedený typ preukazovania existencie kontaminujúcich látok v podloží je práve tou pasívnou časťou monitorovania, ktoré ovšem vôbec nemusí kontamináciu ihneď zachytiť (prípady skládok postavených na priepustných vrstvách s hladinou spodných vôd vo veľkých hĺbkach). V každom prípade ak sa kontaminácia v monitorovacích vrtoch preukáže, tak je spravidla už neskoro. Elektrické monitorovacie systémy (ďalej uvádzané iba v skratke EMS), hlavne s permanentne zabudovanými senzormi v podloží geomembrán, poskytujú možnosti okamžitej informácie o stave izolačného podložia systémom včasného varovania a tým aj možnosti okamžitého riešenia, kým sa kontaminujúce látky nerozšíria do podložia a nespôsobia masívnu kontamináciu.

2 Elektrické monitorovacie systémy pre skládky odpadov

2.1 Stručná história

Absolútne prvá aplikácia EMS v Európe bola vykonaná spoločnosťou Sensor sro na skládke chemického nebezpečného odpadu pri Bratislave v roku 1991 [1, 2]. V tomto prípade išlo o aplikáciu permanentného EMS s názvom SENSOR DDS®, ktorý dal základ všetkým ostatným ďalším aplikáciám. Princípom detekcie a lokalizácie netesnosti bolo a aj je sledovanie relatívnej zmeny elektrického potenciálu spôsobenej vodivou netesnosťou v nevodivej fólii. Práve podmienka elektricky nevodivej fólie je hlavným faktorom umožňujúcim detekciu netesností v nich. V roku 1994 v Belgicku bol aplikovaný systém detekcie netesnosti pomocou zmeny elektrického odporu geotextílie umiestnenej medzi dvomi geomembránami [3]. V tom istom roku bol v Japonsku aplikovaný systém detekcie zmeny elektrickej kapacity a odporu v prípade inštalovaných medených vodičov nad a pod fóliou vplyvom prieniku kvapaliny cez netesnosť vo fólii [4]. V roku 1996 v Nemecku bol aplikovaný systém detekčných elektricky vodivých pásov umiestnených nad a pod fóliou, ktorý detekoval a analyzoval zmeny elektrického odporu vzájomne medzi dvoma detekčnými pásmi [5]. Po týchto začiatkoch sa EMS začali častejšie aplikovať a vznikali rôzne iné variácie umiestnenia snímacích prvkov vo vzťahu k analyzovanému objektu. Treba však konštatovať, že v súčasnosti sa zjednotil spôsob detekcie na princíp sledovania zmeny elektrického potenciálu podobne ako to vo svojej prvej aplikácii realizovala spoločnosť Sensor už v roku 1991.

2.2 Základný princíp funkcie elektrických monitorovacích systémov a ich klasifikácia

Základnou filozofiou je nahradenie toku kontaminantu tokom elektrického prúdu cez netesnosť vo fólii. Vytvorením kladného pólu na jednej strane fólie a záporného na strane druhej vytvoríme predpoklad toku elektrického prúdu cez fóliu iba v prípade existencie netesnosti v tejto fólii. Uvedená netesnosť ovšem musí byť elektricky vodivejšia ako je samotná kontrolovaná fólia a iba v tomto prípade dôjde k toku elektrického náboja cez uvedenú netesnosť.

2.2.1 Klasifikácia elektrických monitorovacích systémov

EMS môžeme v deliť podľa rôznych kritérií:

A) Podľa princípu ich funkcie:

   a. Metódy využívajúce veľmi vysoké napätia (6KV – 35KV) a veľmi nízke prúdy (max. do 0,1 mA). V tomto prípade hovoríme o dvoch metódach:
      i. iskrová skúška (pre kontrolu fólii z jednej strany opatrených el.vodivou vrstvou) – vzniká elektrický výboj cez netesnosť vo fólii, ktorá musí byť suchá, čistá a nezakrytá iným materiálom (v zahraničnej literatúre je metóda označovaná ako „spark testing“), fólia je z jednej strany el.vodivá a z druhej strany el.nevodivá. Vodivá časť fólie je v styku s podložnou vrstvou a zabezpečuje tok elektrického náboja.
      ii. skúška oblúkom (pre všetky štandardné nevodivé fólie, vrátane bituménových pásov) – vzniká el. výboj až elektrický oblúk cez netesnosť vo fólii, ktorá musí byť suchá, ale môže byť aj zakrytá iným materiálom, ktorý ovšem musí byť elektricky nevodivý, (v zahraničnej literatúre je metóda označovaná ako „arc testing“).
   b. Potenciálové metódy využívajúce k detekcii mapovanie rozloženia elektrického potenciálu v pokryvnej ochrannej a drenážnej vrstve umiestnenej na povrchu kontrolovanej fólie.
   c. Metódy využívajúce elektrický jednosmerný prúd k detekcii vzniku netesnosti v monitorovanej fólii.

B) Podľa typu aplikácie:

   a. Permanentné alebo fixné monitorovacie systémy využívajúce
      i. fixné a trvalé umiestnenie senzorov, väčšinovo v pravidelnej sieti, pod alebo nad fóliou, alebo niekedy aj na oboch stranách fólie súčasne, s dvomi možnosťami monitorovania:
         1. Off-line monitorovanie – meranie sa vykonáva na pokyn užívateľa skládky, alebo podľa rozhodnutia IPKZ, spravidla 1-4x ročne.
         2. On-line 24/7 monitorovanie – spojité a nepretržité monitorovanie tesnosti s okamžitým grafickým výstupom na monitore alebo obrazovkách v dohľadovom centre, kedy prítomnosť netesnosti je okamžite v čase vzniku signalizovaná alarmom svetelným aj zvukovým, zároveň aj presne lokalizovaná a súradnice netesnosti sú okamžite k dispozícii.
      ii. fixné ale dočasné umiestnenie senzorov iba po dobu monitorovania záujmovej plochy alebo jej časti.
   b. Portabilné alebo mobilné systémy, tiež niekedy označované ako dipólové systémy využívajúce pohyblivé senzory.

C) Podľa etapy ich aplikácie vo vzťahu k monitorovanému dielu:

   a. Monitorovanie tesnosti izolačných fólií počas výstavby skládky. Sem sa zaraďuje aj etapa zakrývania skládky.

b. Monitorovanie tesnosti počas využívania skládky. V tomto prípade sa jedná hlavne o dve etapy:
   i. Etapa navážania odpadu do mocnosti odpadu 2m.
   ii. Etapa navážania odpadu od mocnosti 2m až do celkovej projektovanej mocnosti.
c. Monitorovanie tesnosti po uzavretí skládky.

3 Legislatíva a elektrické monitorovacie systémy

Napriek veľkému úsiliu zainteresovaných subjektov dostať EMS na požadovanú úroveň vo vzťahu k legislatíve, nie je ich postavenie špecifikované tak, ako im vo vzťahu prínosu k životnému prostrediu prináleží. Ako príklad je možné uviesť, že postavenie a špecifikácie pre tesniace systémy pre skládky vrátane fóliových tesnení sú veľmi presne definované. Rovnako požiadavky na kvalitu materiálu, ich podrobná špecifikácia vrátane detailných popisov a predpisov pre ich inštaláciu, kontrolu kvality inštalácie a následné dokladovanie certifikátov sú už na požadovanej úrovni takmer všade vo svete. V porovnaní s týmto, sú EMS len popoluškou i napriek ich výraznému prínosu k ochrane životného prostredia pred jeho kontamináciou.V situácii, kedy neexistuje lepšia alternatíva je postoj kompetentných inštitúcií nepochopiteľný. Na druhej strane ani to málo, čo je legislatívne ošetrené nie je dostatočne vyžadované zodpovednými organizáciami.

Najďalej sú v tomto úsilí inštitúcia ASTM v USA, ktorá už vydala a pravidelne aj aktualizuje, medzinárodné normy, požiadavky a doporučenia pre vykonávanie EMS [6, 7, 8, 9, 10]. Ekvivalentom v tomto by mali byť EU inštitúcie, ktoré však bohužiaľ zatiaľ nič neurobili a ponechávajú to na inštitúcie na národných úrovniach. Ak sa pozrieme na tieto národné úrovne, tak môžeme konštatovať, že zatiaľ najprísnejšou reguláciou pre aplikáciu EMS pre skládky je BAM nariadenie v Nemecku. Uvedené nariadenie predpisuje veľmi prísne testy pre materiály používané v elektrických monitorovacích systémoch tak, aby bola zaručená ich garantovaná funkčnosť na 30 a viac rokov. Rovnako predpisuje spôsob testovania funkčnosti systémov a rovnako aj ich citlivosť na detekciu a lokalizáciu netesností vo fóliách. V Nemecku je to vyžadované iba pri prekrytí skládok nebezpečných odpadov a v ostatných prípadoch je to na rozhodnutí klienta. V Čechách a na Slovensku sú požiadavky na EMS veľmi všeobecné a bez akejkoľvek špecifikácie či požiadaviek na ich kvalitu, životnosť, citlivosť či celkový prínos.Treba však pozitívne oceniť aspoň tie kroky, že EMS sú vyžadované ku kontrole tesnosti fóliového tesnenia pred pokládkou odpadu, či po dosiahnutí jeho určitej mocnosti. Bohužiaľ je použitie takýchto systémov stále iba na báze dobrovoľnosti a nie povinnosti. Jedine v prípade skládok nebezpečných odpadov je to povinnosťou na Slovensku. Ale i v tomto prípade chýba popis minimálnych požiadaviek na jeho kvalitu, funkčnosť a garantovanú životnosť. Preto treba vysoko vyzdvihnúť význam BAM aktivity na tomto poli elektrických monitorovacích systémov.

4 Príklady použitia elektrických monitorovacích systémov skládok odpadov vo svete

Použitie EMS pre skládky odpadov bolo realizované v mnohých krajinách sveta. Najvyšší štandard monitorovania majú v Japonsku (viď obr.1) a tiež v Kórei, kde sú dominantne aplikované hlavne permanentné systémy s on-line monitorovaním 24/7. V ostatných krajinách, vrátane Európy, sú to prevažne off-line aplikácie permanentných systémov monitorovania alebo jednorazové portabilné systémy v dipólovom usporiadaní merania. Je veľmi dôležité uviesť, že v Nemecku sú dominantne používané permanentné systémy monitorovania hlavne pre kontrolu tesnosti fóliových tesnení pri uzatváraní skládok odpadov. Na Slovensku a v Čechách je to kombinácia oboch systémov ale permanentné systémy majú určite dominantnejšie postavenie pred mobilnými systémami. Celkovo podľa dostupných informácii boli EMS aplikované vo viac ako 45 krajinách sveta zahŕňajúce štyri kontinenty.



Obrázok 1: Aplikácia Permanentného systému SENSOR DDS® vo verzii on-line 24/7 pre skládku nebezpečného odpadu v Japonsku.

5 Ako dosiahnuť celosvetovú požiadavku „Zero Leak“ čiže tzv. nulovú toleranciu pre výskyt netesností v izolačných fóliách

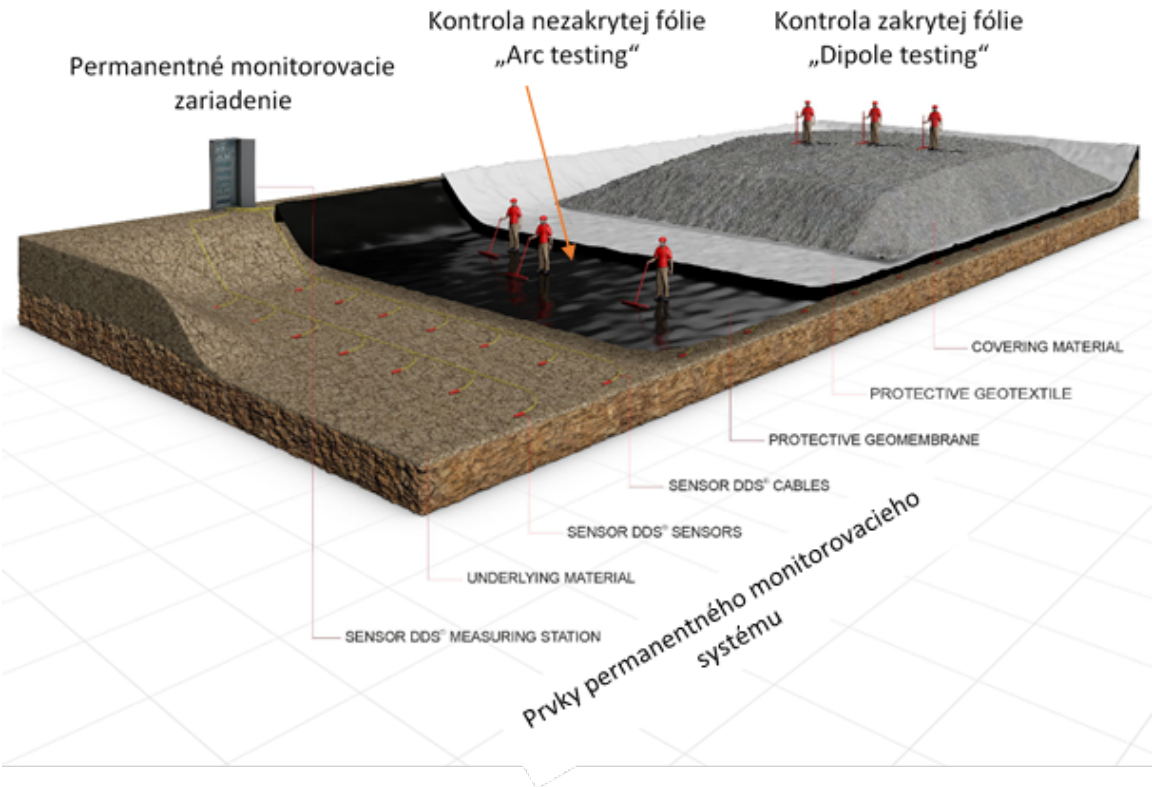
Je možné konštatovať, že použitie EMS a hlavne výber metódy je dominantne podmienené ekonomickými faktormi, ktoré sú uprednostňované pred faktorom ochrany prostredia pred kontamináciou. Všeobecne platné vedecké konštatovanie, že „jedna metóda rovná sa žiadna metóda“, je v tomto prípade namieste. Na túto tému bolo publikovaných viacero príspevkov [11, 12, 13].

Všetky publikované príspevky sa zhodujú v tom, že vždy musí byť monitorovaná a skontrolovaná fólia na prítomnosť netesností pred jej zakrytím a zavezením ochrannými a drenážnymi vrstvami. Podľa štatistiky získanej analýzou 4761 netesností (kontrolované plochy spolu takmer 7 mil. m2) s pohľadu ich veľkosti, je takmer 95% netesnosti vo veľkosti v intervale 1mm až 5 cm [12]. Totiž v čase, keď je fólia ešte nezakrytá sa dajú detekovať a lokalizovať aj tie najmenšie a až neviditeľné netesnosti spôsobené či už počas pokládky a inštalácie fólie ale aj jej výrobné vady, ktoré bohužiaľ nie sú ničím výnimočným. Početnosť týchto netesností v porovnaní s netesnosťami spôsobenými navážaním pokryvných ochranných vrstiev je niekoľko násobne vyššia [12]. Ich detekovateľnosť klesá s mocnosťou pokryvných vrstiev a samozrejme hlavne ich elektrickým, t.j. vodivým prepojením cez samotnú netesnosť. Z uvedeného dôvodu, k dosiahnutiu podmienky „Zero Leak“, čiže nulovej tolerancie, doporučujeme vždy používať nasledovné tri metódy spoločne:

- Trvalé zabudovanie senzorov a ich spojenie s monitorovacím boxom, čiže vybudovanie tzv. permanentného (fixného) monitorovacieho systému k dlhodobému sledovaniu tesnosti izolačných vrstiev pod skládkou a tiež k monitorovaniu tesnosti takýchto vrstiev pri uzatváraní skládky. Dôvodom nutnosti mať pod skládkou permanentne zabudovaný kontrolný elektrický systém je, že počas deponovania odpadu veľmi často dochádza k prierazom tesniacej fólie samotným odpadom. Rovnako veľmi častou príčinou porušenia ce-

listvosti fólií je horenie odpadu v skládke a to aj niekedy skryte vo vnútri odpadu. Niekedy tiež býva príčinou porúch v tesniacich fóliách zosuv svahov, sadanie skládky, dlhodobé pnutie vo fólii z dôvodu existencie technických prvkov, prestupov vo fólii a podobne.

- Kontrola ešte nezakrytej fólie po jej inštalácii a po vykonaní štandardných testov zvarov, čiže aplikácia metódy kontroly elektrickým oblúkom v prípade nevodivých fólií alebo iskrová skúška v prípade aplikácie fólií s vodivou vrstvou. Dôvodom sú drobné netesnosti milimetrových rozmerov, prepichnutia, pretlačenia, ludský faktor pri inštalácii fólie, či neodborne vykonané zvary. Tieto svojou podstatou takmer neidentifikovateľné netesnosti môžu z dlhodobého hľadiska pri ich kumulácii spôsobiť ruptúry väčších rozmerov vo fólii, alebo sú dlhodobým zdrojom kontaminácie pri postupnom ukladaní odpadu a prítomnosti priesakovej kvapaliny [14]. Z pohľadu štatistiky výskyt netesností v tejto etape výstavby skládky reprezentuje takmer 93% všetkých netesnosti, ktoré môžu vzniknúť počas celej doby výstavby.
- Kontrola zakrytej fólie po navezení ochranných a drenážnych vrstiev portabilným alebo mobilným systémom, tiež niekedy označovaným ako dipólové systémy využívajúce pohyblivé senzory. V tomto prípade ide hlavne o detekciu a lokalizáciu netesností spôsobených mechanizmami pri navážaní a rozhŕňaní ochranných a drenážnych vrstiev. Typickými takýmito poruchami sú rôzne roztrhnutia fólie, prerazenia a pretlačenia. Väčšinou sa jedná o poruchy väčších či aj veľmi veľkých rozmerov ale niekedy sa jedna iba o rozmerovo malé pretlačenia kameňmi.



Obrázok 2: EMS Metódy k dosiahnutiu „Zero Leak“ nulovej tolerancie výskytu netesností.

6 Záver

Týmto príspevkom sa snažíme dokumentovať absolútnu potrebu akceptovania EMS počas výstavby, prevádzky a aj po uzavretí skládok odpadov. Sú to aktívne metódy monitorovania a kontroly, či takáto ekologicky citlivá stavba nekontaminuje svoje okolie. Relevantná požiadavka na stanovenie podmienok ich aplikácie s ohľadom na kvalitu použitých materiálov, ktoré sú dlhodobo zabudované pre účely monitorovania tesniacich fólií vyplýva s potreby získavať dlhodobo a počas celej životnosti tesniacej fólie informácie o jej tesnosti a neporušení. Preto by preukazovanie certifikátov takto zabudovaných komponentov by malo byť podmienkou a súčasťou pri kolaudačných rozhodnutiach a hlavne súčasťou IPKZ. V neposlednom rade by ku kontrole celistvosti, či tesnosti izolačných fólií používaných k izolácii skládok odpadov mali byť vždy použité skupiny metód tak, aby sa dosiahla podmienka „Zero Leak“ čiže tzv. nulová tolerancia pre výskyt netesností v izolačných fóliách tak, ako je to popísané v kapitole 5. tohoto príspevku. Takáto kombinácia metód nepopierateľne poskytuje spôsob, kedy skládka ako potenciálne nebezpečné dielo z pohľadu kontaminácie prostredia, sa môže stať absolútne bezpečnou a ekologicky priateľskou k životnému prostrediu.

S pohľadu majiteľa či prevádzkovateľa skládky sme mnohokrát svedkami antagonizmu, kedy síce investujú veľké finančné prostriedky za fóliu, ktorá má byť nepriepustnou bariérou a takou aj je pred jej inštaláciou, a nakoniec musia akceptovať situáciu, kedy nedokážu preukázať že uvedená nainštalovaná fólia je naozaj neporušená pretože sa bránili investovať o trochu viac prostriedkov aj do elektrických monitorovacích metód.

Na strane druhej je samozrejme potrebné uviesť aj fakt, že mnohokrát kvalita poskytovaných EMS a služieb s tým spojených môže byť nízka a nie všetky netesnosti sú potom lokalizované a opravené. Preto je potrebné mať vytvorené prísne legislatívne podmienky a požiadavky pre aplikáciu takýchto monitorovacích systémov, vytvorené normy a doporučenia, vyžadovať certifikáty vystavené renomovanými inštitúciami ako sú napr. BAM. Ak sa to napríklad vyžaduje pre zabudované fólie, geotextílie, potrubia či ílové vrstvy, tak prečo nie aj pre EMS, ktoré v konečnom dôsledku sú tou jedinou cestou ako preukázať, že celá skládka ako stavba nebude zdrojom kontaminácie životného prostredia a môže byť prevádzkovaná.

Literatúra

[1] Sensor, manuskript. 1991.

[2] NOSKO, V.; ANDREZAL, T.: Electrical damage detection system in industrial and municipal landfills. 1993, geoconfine 93. Montpellier, France. Geology and Confinement of Toxic Wastes, Rotterdam, Balkema, Vol. 2, 691 – 695.

[3] DE MEERLEER, F.: De, Accurate detection and location of effluent leaks beneath lined waste disposal sites. 1994, fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Vol. 3, Singapore, September 5 – 9, 913-918.

[4] ARAI; aj.: 1994.

[5] RODEL, A.: GEOLOGGER – A new type of monitoring system for total area monitoring of seals on landfill sites. 1996, geosynthetics: Applications, Design and Construction Conference, Eurogeo 1, Maastricht, Netherlands, 30 September – 2 October 1996, 625-626. Rotterdam: Balkema.

[6] ASTM D6747. Standard Guide for Selection of Techniques for Electrical Leak Location of Leaks in Geomembranes. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[7] ASTM D8265. Standard Practice for Electrical Methods for Mapping Leaks in Installed Geomembranes. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[8] ASTM D7240. Standard Practice for Leak Location using Geomembranes with an Insulating Layer in Intimate Contact with a Conductive Layer via Electrical Capacitance Technique (Conductive Geomembrane Spark Test). American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[9] ASTM7953. New Practice for Electrical Leak Location on Exposed Geomembranes Using the Arc Testing Method. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[10] ASTM D7007. Standard Practices for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earthen Materials. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[11] FORGET, B.; ROLLIN, A.; JACQUELIN, T.: Lessons learned from 10 years of leak detection surveys on geomembranes. 2005, proc. Sardinia 2005, Sardinia, Italy.

[12] NOSKO, V.; CROWTHER, J.: Can the Holly Grail of the Geosynthetics Industry „Zero Leakage“ be Achieved by Arc Testing? 2015, geosynthetics 2015 Conf. IFAI, Portland, Oregon.

[13] BECK, A.: Achieving zero leaks on a budget 2017: Balancing cost and new technologies. 2017, geosynthetics, June/July 2017, Volume 35, Number 3.

[14] NOSKO, V.; TOUZE-FOLTZ, N.: Geomembrane Liner Failure: Modelling of its Influence on Contaminants Transfer. 2017, conf. Eurogeo 2, At Bologna, Italy.

Langfristige Kontrollen von Deponieabdichtungen mit Dichtungskontrollsystemen

Dlouhodobé kontroly izolace skládek systémy pro testování těsnosti

Silke Schwöbken[1]

Kurzfassung

In Oberflächenabdichtungen von Deponien werden in Deutschland seit mehr als zwanzig Jahren regelmäßig Dichtungskontrollsysteme eingesetzt. In dieser Zeit wurden mit dem SENSOR-System etwa 1,5 Mio. Quadratmeter ausgestattet. Und bereits seit den Anfängen werden einige Deponieoberflächenabdichtungen Jahr für Jahr auf ihre Funktion und Dichtheit geprüft.

Auch auf der Industrieabfalldeponie (IAD) Wetro wurde von 2013 bis 2015 auf einer Fläche von etwa 82.000 m^2 ein Dichtungskontrollsystem in der Oberflächenabdichtung zur Kontrolle der Kunststoffdichtungsbahnen eingebaut. Seit 2016 finden im Rahmen eines Betriebsmess- und Wartungsvertrags jährliche Kontrollen der Kunststoffdichtungsbahnen statt.

Der Einbau des Dichtungskontrollsystems ging seinerzeit arbeitstäglich parallel zur Verlegung der Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) vonstatten und mit dem Verleger dieser KDB wurde eng zusammengearbeitet.

Auf der Deponie Leipzig-Seehausen wird seit dem Jahr 2004 ein Sickerwasserbecken mit einer Doppelten Abdichtung aus Kunststoffdichtungsbahnen kontinuierlich mit dem SENSOR-System überwacht und es gab auch schon einen Alarm, als die äußere Kunststoffdichtungsbahn großflächig zerstört worden war. Nach der damaligen Sanierung der KDB lief die kontinuierliche Kontrolle reibungslos bis heute. In diesem Fall können beide Kunststoffdichtungsbahnen unabhängig voneinander dauerhaft kontrolliert werden.

Diese beiden Beispiele zeigen Möglichkeiten der langfristigen Kontrolle von Kunststoffabdichtungssystemen und sie zeigen weiterhin, dass eine langfristige Kontrolle durchaus sinnvoll ist.

Bei lange kontrollierten Abdichtungen aus Kunststoffdichtungsbahnen traten selten Beschädigungen in den Kunststoffdichtungsbahnen auf, die nicht bereits beim Einbau der Überdeckung oder zur Funktionsprüfung vorhanden gewesen waren.

Ein Vorteil der langfristigen Kontrolle ist es, dass die Kunststoffdichtungsbahnen z.B. nach dem Einbau von Solarmodulen explizit geprüft werden können.

Ob Deponien aus der Nachsorge entlassen werden können, wenn die Abdichtung auch nach 30 Jahren nachgewiesenermaßen dicht ist, kann derzeit noch nicht abschließend beantwortet werden. Jedoch sind mit dem Einbau eines Dichtungskontrollsystems die Instrumente für einen Nachweis der Dichtigkeit auch nach 30 Jahren und mehr vorhanden.

[1]SENSOR Dichtungskontrollsysteme GmbH, Oldenburger Str. 36, D-23730 Neustadt in Holstein; schwoebken@sensor-dks.com

Abstrakt

V izolacích povrchů skládek jsou v Německu již více než 20 let pravidelně používány systému pro kontrolu těsnosti. V této době bylo systémem SENSOR-System vybaveno cca 1,5 mil. metrů čtverečních. A již od počátku jsou každoročně u některých izolací povrchů skládek ověřovány jejich funkčnost a těsnost.

Rovněž na skládce průmyslových odpadů Wetro byl v období 2013 až 2015 na ploše zhruba 82.000 m^2 instalován v izolaci povrchu systém kontroly těsnosti umělohmotných těsnících fólií. V rámci smlouvy o provozu a údržbě probíhají od roku 2016 každoroční kontroly umělohmotných izolačních fólií.

Instalace systému kontroly těsnosti probíhala paralelně s pokládáním izolačních fólií a v úzké spolupráci se zhotovitelem těchto prací.

Na skládce Leipzig-Seehausen je od roku 2004 tímto systémem průběžně monitorována nádrž skládkových výluhů, těsněná umělohmotnou těsnící fólií. Zde již také došlo k vyhlášení poplachu v okamžiku, kdy došlo k plošnému zničení fólie. Po sanaci umělohmotné fólie pak průběžná kontrola probíhala bez problémů dále. V tomto případě bylo možno obě těsnící fólie trvale kontrolovat nezávisle na sobě. Oba tyto příklady ukazují možnosti dlouhodobé kontroly izolačních systémů. Ale jsou i dokladem toho, že dlouhodobý monitoring je smysluplný.

V případě dlouho kontrolovaných izolací z umělohmotných izolačních fólií se poškození fólie, které by neexistovalo již při pokládání nad nimi ležících vrstev nebo pro účely ověřování funkčnosti, vyskytovalo zřídka.

Předností dlouhodobé kontroly je možnost sledování umělohmotných izolačních fólií například ihned po instalaci solárních modulů.

Otázku, zda pro danou skládku bude možno fázi následné péče ukončit, pokud bude možno i po 30 letech doložit, že izolace těsní, nelze zatím definitivně zodpovědět. Instalací systému pro kontrolu těsnosti však jsou k dispozici nástroje pro ověření těsnosti i po 30 a více letech.

1 Einleitung

Seit mehr als 20 Jahren werden Dichtungskontrollsysteme zur langfristigen Kontrolle von Kunststoffdichtungsbahnen in den verschiedensten Anwendungen eingesetzt. Seit im Jahr 2001 die vom Arbeitskreis Dichtungskontrollsysteme (AK DKS) unter Federführung der BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) aufgestellte Richtlinie eingeführt und damit den Systemen eine bessere Grundlage für die Genehmigung und Planung in Oberflächenabdichtungen gegeben worden war, wurden diese Systeme vermehrt in Verbindung mit einer Kunststoffdichtungsbahn anstelle der mineralischen Dichtung oder zusätzlich zur Kombinationsabdichtung eingesetzt. Seitdem konnten einige Verbesserungen für die Funktionsfähigkeit solcher Produkte und vor allem für die Funktionsprüfungen in Testfeldern durchgesetzt werden. Über einige Maßnahmen zur Verbesserung der Anwendung solcher Systeme soll hier informiert werden.

2 Funktionsweise elektroresistiver Dichtungskontrollsysteme

Das Messprinzip elektroresistiver Dichtungskontrollsysteme beruht auf der Messung von Potentialdifferenzen unterhalb der Kunststoffdichtungsbahnen. Dazu werden unterhalb der Kunststoffdichtungsbahnen in einem auf die Baumaßnahme abgestimmten Raster Sensoren verlegt, die mit den Kontrollboxen verbunden sind. Oberhalb der Kunststoffdichtungsbahnen werden Spannungsgeber installiert, über die ein homogenes elektrisches Feld oberhalb der Kunststoffdichtungsbahnen angelegt werden kann.



Abbildung 1: Sensor.



Abbildung 2: Spannungsgeber.

Es wird beim Einsatz der Systeme die Tatsache ausgenutzt, dass ein elektrischer Strom dem Weg des Wassers durch eine Leckage folgt. Es ist im Normalfall jedoch kein Wasserfluss durch eine Leckage notwendig, vielmehr reicht die natürliche Erdfeuchte aus, um einen Strom durch eine Leckage fließen zu lassen. Bei einem Stromfluss durch eine Leckage verändert sich um die Leckage herum das elektrische Potential, das durch die Sensoren erfasst wird.

Die Ortungsgenauigkeit von Dichtungskontrollsystemen erreicht $< 1\mathrm{m}^2$. Für die Komponenten ist in der Empfehlung des AK DKS die Anforderung aufgestellt, dass die Komponenten von Dichtungskontrollsystemen, die unterhalb der Kunststoffdichtungsbahnen installiert werden, eine Lebensdauer von 30 Jahren und mehr aufweisen müssen. Außerdem sind die Komponenten so zu wählen, dass ihr Einbau unter normalen Bedingungen möglichst einfach ist und die anderen Gewerke beim Bau einer Oberflächenabdichtung nicht behindern oder beeinflussen darf. Außerdem darf durch das installierte Dichtungskontrollsystem nicht die Standsicherheit des Gesamtabdichtungssystems beeinträchtigt werden.

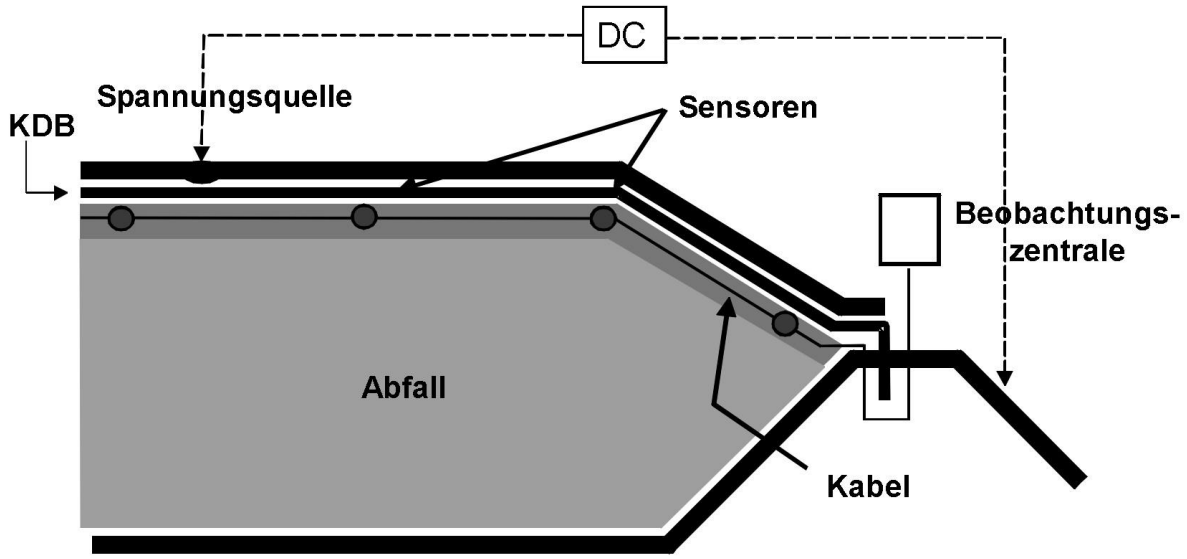


Abbildung 3: Das Prinzip.

3 Die Installation

Die Installation der Komponenten kann problemlos in den Bauablauf eingepasst werden. Dabei ist es möglich, dass die Installation durch den Hersteller des Dichtungskontrollsystems selbst, durch den Dichtungsbahnverleger oder durch den Bauunternehmer erfolgt. Alle am Bau Beteiligten haben das gleiche Interesse an einer reibungslosen Ausführung und Abnahme. Um nun möglichst reibungslos diese Ziele zu erreichen, sind die Verlegungsarten und -wege der Komponenten einfach an die unterschiedlichen Bedingungen auf den Baustellen anzupassen.

Wie auf den Bildern zu erkennen ist, ist der Einbau des Systems an die unterschiedlichsten Bedingungen anzupassen. Im ersten Fall wurden die Sensoren ca. 10cm tief in einem 16/32 Rundkorn fixiert und die Kabel oberhalb des Kieses strahlenförmig zur Beobachtungs-zentrale geführt (Abbildung 4).



Abbildung 4: Die Kabel verlaufen strahlenförmig.



Abbildung 5: Die Kabel verlaufen in Strängen.



Abbildung 6: Die Kabel sind strangförmig im Auflager eingegraben.



Abbildung 7: Die Kabel werden in Rillen eingelegt.

Auf dem zweiten Bild (Abbildung 5) ist zu erkennen, dass die Kabel strangweise oberhalb des Auflagers für die Kunststoffdichtungsbahnen verlaufen. Der Vorteil bei dieser Art des Kabelverlaufs besteht darin, dass nach einem möglichen Starkregenereignis das Auflager zwischen den Kabelsträngen befahrbar ist und somit einfacher nachbearbeitet werden kann, als wenn die Kabel strahlenförmig überall auf der Oberfläche des Auflagers verlaufen.

Auf dem dritten Bild (Abbildung 6) ist zu erkennen, dass die Kabel in einem weichen, rolligen Kies etwa 10cm in das Auflager strangweise eingegraben worden sind. Die Sensoren werden seitlich in diesem Graben in dem Auflager installiert und die Kabel verlaufen in den Gräben, die in Böschungsfalllinie verlaufen. Dann wird das Material wieder in den Graben gefüllt und die Oberfläche des Grabens wird der Oberfläche des Auflagers angepasst.

Auf dem Bild 7 ist eine ca. 4cm tiefe Rille in einer mineralischen Dichtung zu erkennen, die mit einer Walze hergestellt worden ist. Wieder werden die Sensoren seitlich in der Rille installiert, wozu mit einem Akkubohrer ein entsprechendes Loch hergestellt wird. In dieser Rille werden die Böschung hinunter eingelegt. Anschließend wird die Rille mit dem gleichen Material aufgefüllt, aus dem auch die mineralische Dichtung besteht und mit nur einem Walzgang mit einer kleinen Walze wird die Oberfläche der Rille der Oberfläche der mineralischen Dichtung angepasst.

Die beiden letztbeschriebenen Arten der Verlegung ermöglichen eine einfache Nachbearbeitung des Auflagers für die Kunststoffdichtungsbahnen und Erfahrungen zeigen, dass die Materialien eines Dichtungskontrollsystems diesen Belastungen ohne Probleme standhalten.

Bei der Installation eines Dichtungskontrollsystems kann eine Verlegeleistung von 2.000 – 3.000 m^2 von zwei Technikern pro Tag problemlos erreicht werden.

So wird der gesamte Bauablauf bei der Herstellung eines Oberflächenabdichtungssystems durch den Einsatz eines Dichtungskontrollsystems in keinster Weise behindert, und alle Beteiligten können bei entsprechender Witterung von einer guten Tagesleistung ausgehen.

4 Einbau auf der IAD Wetro

Auf der Industrieabfalldeponie (IAD) Wetro wurde von 2013 bis 2015 auf einer Fläche von etwa 82.000 m^2 ein Dichtungskontrollsystem in der Oberflächenabdichtung zur Kontrolle der Kunststoffdichtungsbahnen eingebaut und seit 2016 finden im Rahmen eines Betriebsmess- und Wartungsvertrags jährliche Kontrollen der Kunststoffdichtungsbahnen statt.

Der Einbau des Dichtungskontrollsystems ging seinerzeit arbeitstäglich parallel zur Verlegung der Kunststoffdichtungsbahnen vonstatten und mit dem KDB-Verleger wurde eng zusam-

mengearbeitet.



Abbildung 8: Die Kabel verlaufen in Fallinie die Böschung.



Abbildung 9: Die Boxen werden an zugänglichen Positionen installiert.

5 Das Sickerwasserspeicherbecken auf der Deponie Leipzig-Seehausen

Auf der Deponie Leipzig-Seehausen wird seit dem Jahr 2004 ein Sickerwasserbecken mit einer doppelten Abdichtung aus Kunststoffdichtungsbahnen kontinuierlich mit dem SENSOR-System überwacht. Das System ist in diesem Fall zwischen den beiden Kunststoffdihctungsbahnen angeordnet und durch die Installation von Spannungsgebern sowohl außerhalb des Beckens als auch im Becken können die beiden Abdichtungslagen unabhängig vneinander kontrolliert werden.

6 Kontrollzyklen

Aus den Erfahrungen der bisher mit Dichtungskontrollsystemen ausgeführten Deponieoberflächenabdichtungen, ob anstelle einer mineralischen Dichtung oder zusätzlich dazu, haben sich Kontrollzyklen von einer jährlichen Messung als sinnvoll herauskristallisiert. Selbst häufigere Messungen in den ersten Jahren nach Fertigstellung des Oberflächenabdichtungssystems erscheinen aus dieser Sicht nicht notwendig, da Aufgrabungen in den meisten Fällen zeigten, dass die Dränschicht oberhalb der Kunststoffdichtungsbahnen nicht nass sondern maximal feucht war, so dass selbst im Falle einer Leckage kein Durchfluss von erheblichen Mengen Flüssigkeit durch eine Leckage zu erwarten wäre.

Auf lange Sicht ist es daher sinnvoll, zunächst eine jährliche Kontrolle der Abdichtung durchzuführen, nach einem längeren Zeitraum kann die Pause zwischen zwei Kontrollmessungen jedoch durchaus verlängert werden.

7 Grenzen

Bei der Installation eines Dichtungskontrollsystems sind bisher kaum Einschränkungen bekannt. Solange die Witterungs- und Einbaubedingungen die Installation von Kunststoffdichtungsbahnen zulassen, solange kann auch ein Dichtungskontrollsystem eingebaut werden.

Auf die Standsicherheit des Gesamtabdichtungssystems haben Dichtungskontrollsysteme keine bisher bekannten Auswirkungen.

Bei der Installation der Sensoren ist die Einmessung der Sensoren für eine ausreichende Ortungsgenauigkeit maßgebend. Daher sind an die Einmessung der Sensoren ausreichende Anforderungen zu stellen.

Bei den Messungen ist zu beachten, dass Dichtungskontrollsysteme keine „Loch-Such-Maschinen“ sind, sondern Leckageortungssysteme. Ein Loch, durch das kein elektrischer Schluss zustande kommt, kann nicht geortet werden. Darauf ist besonders bei der Herstellung von Testleckagen zur Funktionsprüfung des Dichtungskontrollsystems zu achten.

Es kann vorkommen, dass die Schichten, in denen sich die Sensoren bzw. die Spannungsgeber befinden, während des Einbaus bzw. zum Zeitpunkt der Messungen durch eine lange Trockenperiode nahezu ausgetrocknet sind. Während der Bauphase ist dies bei Messungen und Funktionsprüfungen zu berücksichtigen. Es kann in diesem Fall notwendig sein, die Flächen abschnittsweise zu bewässern oder ein Regenereignis abzuwarten.

Bei späteren Messungen werden sich unter- und oberhalb der Kunststoffdichtungsbahnen relativ homogene Feuchtigkeitsverhältnisse eingestellt haben, so dass die Dichtungskontrollsysteme für die Messungen ausreichende Feuchteverhältnisse haben dürften.

An ihre Grenzen stoßen Dichtungskontrollsysteme in Randbereichen, die Randumläufigkeiten verursachen und in Bereichen mit elektrisch leitfähigen Bauwerken oder Bauteilen. In diesen Bereichen ist die Leckageortung sehr schwierig, da diese Randumläufigkeiten oder elektrisch leitfähigen Bauteile per se einen elektrischen Schluss durch die Kunststoffdichtungsbahnen oder am Rand der Abdichtungsfläche herstellen. Jedoch können diese Probleme mit technischen Hilfsmitteln heutzutage relativ gut bewältigt werden.

8 Zusammenfassung

Wie die vorgenannten Ausführungen zeigen, werden Dichtungskontrollsysteme heutzutage regelmäßig in Oberflächenabdichtungen genutzt. Ihre Rolle ist für die langfristige Kontrolle von Kunststoffdichtungsbahnen besonders in Oberflächenabdichtungen von Deponien von wichtiger Bedeutung, da es Betreibern und Behörden nur durch den Einsatz von Dichtungskontrollsystemen auf diesem Wege möglich ist, die Abdichtung langfristig auf Dichtheit zu kontrollieren.

Außerdem werden die meisten Schäden bereits nach Einbau der Überdeckung der Kunststoffdichtungsbahnen erkannt, so dass die Umwelt wirksam geschützt wird.

Dabei ist es nicht die Rolle von Dichtungskontrollsystemen, die Fremdüberwachung beim Einbau der Kunststoffdichtungsbahnen zu ersetzen, sondern vielmehr sollen Dichtungskontrollsysteme die klassische Qualitätskontrolle unterstützen, die bei der Überdeckung der Kunststoffdichtungsbahnen an ihre Grenzen stößt.

In einigen Fällen ist der Einsatz eines Dichtungskontrollsystems als Alternative zur mineralischen Dichtung denkbar und auch bereits ausgeführt, jedoch ist für jeden Deponiestandort und für sämtliche vorherrschenden Bedingungen eine Einzelfallbetrachtung heranzuziehen.

In bezug auf die Lebensdauer der erdgebundenen Komponenten lässt sich heute sagen, dass die eingesetzten Materialen eine ausreichende Lebensdauer unter den zu erwartenden Umständen erreichen können.

Fast 20 Jahre Erfahrung im Umgang mit Dichtungskontrollsystemen zeigen, dass sich ihr Einsatz mehr und mehr bewährt. Die Unversehrtheit von Kunststoffdichtungsbahnen kann über lange Zeiträume gesichert werden.

Technische Verwirklichung und Schwierigkeiten beim Einschätzen der Böschungsstabilität abhängig von Bodentyp, Neigung, Böschungslänge und Grundwasserstand

Technická realizace a úskalí vyhodnocování stability svahů v závislosti na typu zeminy, sklonu svahu, délce svahu a hloubce hladiny podzemní vody

Lukáš Zedek[1], Jan Kurka[2], Jan Šembera[3]

Kurzfassung

In dem Beitrag werden Verfahren, technische Lösungen und Ergebnisse von modellhaften Berechnungen der Standsicherheit von Böschungen mit unterschiedlicher Neigung, Länge, Gesteinsaufbau und Tiefe des Grundwasserspiegels dargestellt. Die angewendete Berechnungsmethode wird aus der Sicht ihrer Einsetzbarkeit in Abhängigkeit vom Charakter der Eingangsdaten betrachtet. Das Ergebnis des Modells ist eine Klassifizierung der Standsicherheit von Böschungen, die richtungsweisend sein kann, aber eine detaillierte geotechnische Erkundung nicht ersetzten kann.

Die entwickelte Anwendung diente zu einer richtungsweisenden Auswertung einer hypothetischen Entwicklung der Standsicherheit eines engen, hochgehobenen Gelände zwischen zwei Abbaugruben eines Tagebaurestloches in Westböhmen während seiner Flutung seit 2011 unter der Prämise, dass die Hänge des Restloches nicht mit einer Aufschüttung oder einer Bank befestigt wurden.

Abstrakt

Příspěvek představuje postupy, technická řešení a výsledky modelových výpočtů stupně stability svahů různého sklonu, délky, horninového složení a s rozdílnou hloubkou hladiny podzemní vody. Implementovaná metoda výpočtu je posouzena z hlediska využitelnosti v závislosti na charakteru vstupních dat. Výstupem modelu je orientační klasifikace svahů, která může předcházet, ale nedokáže nahradit detailní geotechnický průzkum.

Připravená aplikace posloužila k orientačnímu hodnocení hypotetického vývoje stupně stability úzkého, vyvýšeného pruhu terénu mezi dvěma těžebními jámami uhelného lomu v západních Čechách v průběhu jeho zatápění od roku 2011 za předpokladu, že by svahy oprámů nebyly zpevněny stabilizačními přísypy a lavicemi.

[1]Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 46117 Liberec, lukas.zedek@tul.cz
[2]AZ Consult, spol. s r.o., Klíšská 12, 40001 Ústí nad Labem
[3]Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 46117 Liberec

1 Úvod

Níže představená originální metoda výpočtu stability svahů byla navržena, implementována a ověřena v rámci projektu „Expertní systém pro monitoring, hodnocení rizik a podporu rozhodování v oblasti využití krajiny“. Postup posloužil k vyhodnocení jednoho z dílčích kritérií zahrnutých do uvedeného expertního systému. Metoda byla testována výpočty rizika sesuvu svahů na několika vybraných lokalitách v severních a západních Čechách, kde dříve probíhala povrchová, případně i hlubinná těžba hnědého uhlí. Jednotlivé lokality vybrané k testovacím výpočtům se vzájemně lišily rozlohou, členitostí terénu, homogenitou / nehomogenitou horninového prostředí a hloubkou podzemní, popřípadě i zohledněním přítomnosti povrchové vody ve zkoumaném území.

Modelové výpočty pracují se vstupy a výstupy ve formě rastrových vrstev zpracovatelných prostřednictvím Geografických Informačních Systémů. Uvedené rastry a s nimi prováděné operace dávají možnost zohlednit prostorově nehomogenní rozložení typů zemin, proměnnou hloubku hladiny podzemní vody nebo výšku povrchové vody nad terénem v hodnocené oblasti.

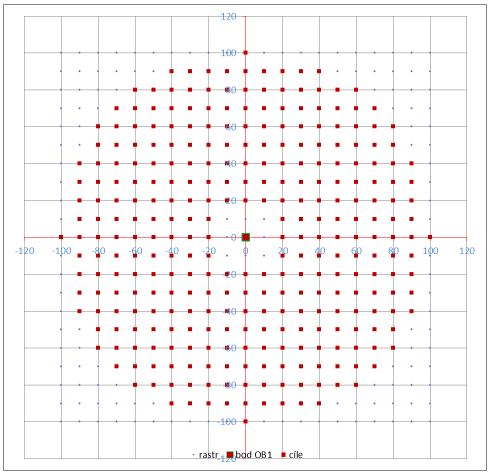
Jádro výpočtů je založené na multidimenzionální lineární interpolaci vstupů za pomoci předpočítaných tabelovaných hodnot.

Validita výstupů implementovaných algoritmů byla potvrzena porovnáním s výsledky staršího modelu stability svahu u Jezera Milada, který vznikl jako výstup projektu „Informační systém pro podporu rozhodování o využití krajiny po rekultivaci“ [1].

V tomto článku je pozornost soustředěna na nejkomplexnější z připravených modelů a sice hodnocení stability svahu v okolí někdejšího lomu v západních Čechách.

2 Geometrická a geotechnická koncepce modelu

Model vyhodnocuje stabilitu terénu posuzované lokality v takzvaných „testovacích bodech“ (TB), které jsou uzly čtvercové diskretizační sítě nejčastěji s krokem 10 m. Touto sítí je diskretizován digitální model reliéfu (DMR), hloubka hladiny podzemní vody (HPV) a klasifikace typu zemin. Testovaný bod může být buď „okrajovým bodem“ (OB) smykové plochy nebo může ležet na lomené čáře spojující dva okrajové body (OB1, OB2) smykové plochy. Pro spojnici přípustných OB smykové plochy je stanovena minimální a maximální přípustná délka v rozsahu $\langle 20; 100 \rangle$ m. Úhel lomu spojnice okrajových bodů v TB musí být větší než 90°. Výše uvedenými podmínkami je určena množina uzlů sítě ze kterých je možné tvořit dvouprvkové kombinace představující potenciální okrajové body smykové plochy jež přísluší zvolenému testovanému bodu (viz Obr. 1).



Obrázek 1: Přípustné okrajové body smykové plochy (celý „červený kruh“) pro případ OB1 = $[0; 0]$.

Každé z kombinací dvojic okrajových bodů smykové plochy přísluší nadmořská výška a pozice (souřadnice) v prostoru. Z těchto informací lze určit sklon a délku svahu na spojnici OB. Na stejné linii je možno zjistit druh a relativní zastoupení typů zemin, stejně jako charakteristickou hloubku (např. dolní kvartil) hladiny podzemní vody. Z tímto způsobem získaných informací jsou následně vypočítány variantní stupně stability svahu v testovaném bodě. Mezi vypočítanými hodnotami je vybrána a uložena nejméně příznivá varianta.

K výpočtu je využito vícerozměrné lineární interpolace na základě dat předpočítaných v programu GEO5 [2].

Pro podrobnější informace o koncepci modelu prosím viz [3].

3 Testovací výpočty

Nejkomplexnějším modelem byl výpočet stability tělesa drážního pilíře mezi oprámy lomu v západních Čechách. V minulosti, po ukončení těžby, byly na svahu drážního pilíře vybudovány stabilizační lavice a přísypy aby se snížilo riziko sesuvu svahu do prostoru lomu.

Účelem testovacích výpočtů bylo posoudit technickou proveditelnost simulace vlivu stoupající hladiny vody v oprámech na stabilitu tělesa drážního pilíře za situace, kdyby technická stabilizační opatření nebyla realizována.

3.1 Datové vstupy a výstupy

Jako vstupní data pro výpočet stupně stability posloužily georeferencované rastrové soubory ve formátu GeoTiff.

3.1.1 Digitální model reliéfu

Digitální model reliéfu byl připraven kombinací zakoupených mapových listů popisujících DMR [4] s daty z režimní mapy lomu po ukončení dobývací činnosti. Tuto kombinaci bylo třeba provést kvůli tomu aby nedošlo ke ztrátě informace o reliéfu pod vodní hladinou, která je v DMR 5G (5. generace) reprezentována rovnou plochou.

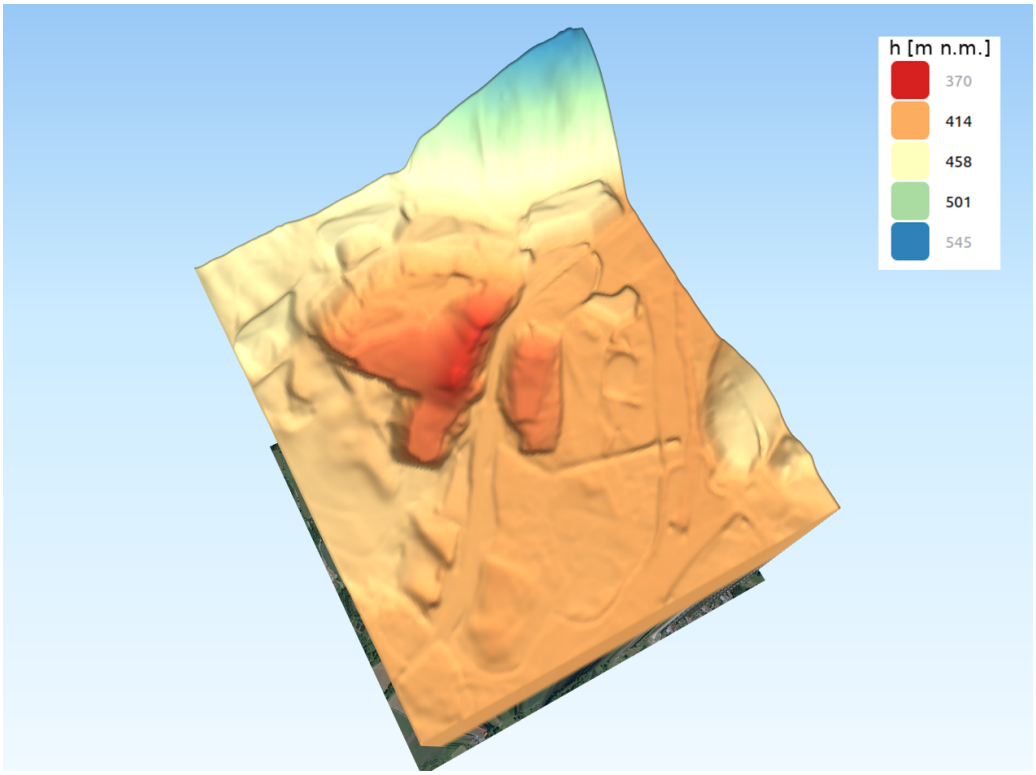
Režimní výkres ve formátu DXF byl před vlastním použitím transformován do shapefilu. Liniovým prvkům (vrstevnicím) byly přiřazeny nadmořské výšky. Upravené linie byly rozčleněny na body a bodové prvky byly interpolovány metodou TIN. Výstupem byla rastrová vrstva s buňkami o hraně 10 m. Pomocí rastrové kalkulačky v programu QGIS [5] byl výkres sloučen s podrobným DMR 5G (viz Obr. 2).

3.1.2 Hladina podzemní vody

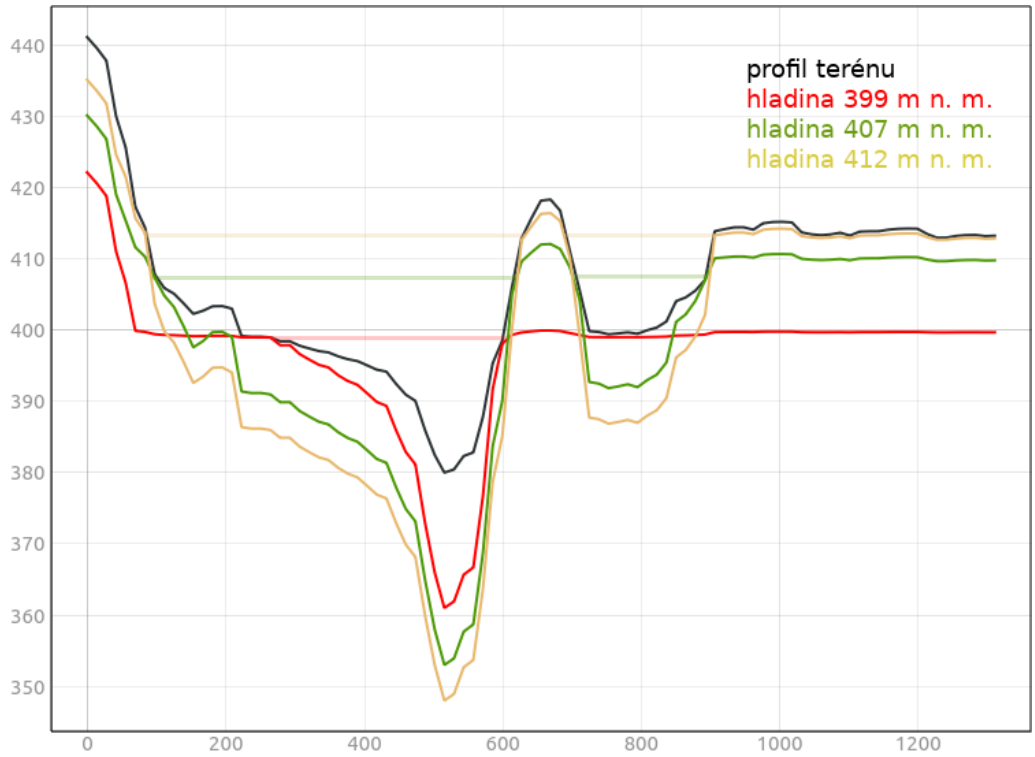
Vrstvy s informací o hladině podzemní vody byly z důvodu nedostatku dostupných informací vytvářeny uměle. Pro dosažení stanoveného cíle, tj. zjištění vlivu výšky hladiny v oprámech na stabilitu drážního pilíře, byly uvažováno několik úrovní hladiny a sice 399, 407, a 412 m n.m. Výšky hladiny v obou oprámech byly pro model nastavovány na shodné hodnoty.

Mimo zatopené oblasti lomů byl pomocí rastrového kalkulátoru zajištěn „plynulý přechod“ hladiny podzemní vody mezi úrovní hladin v oprámech a zvolenými hloubkami (19, 11 a 6 m) pod terénem.

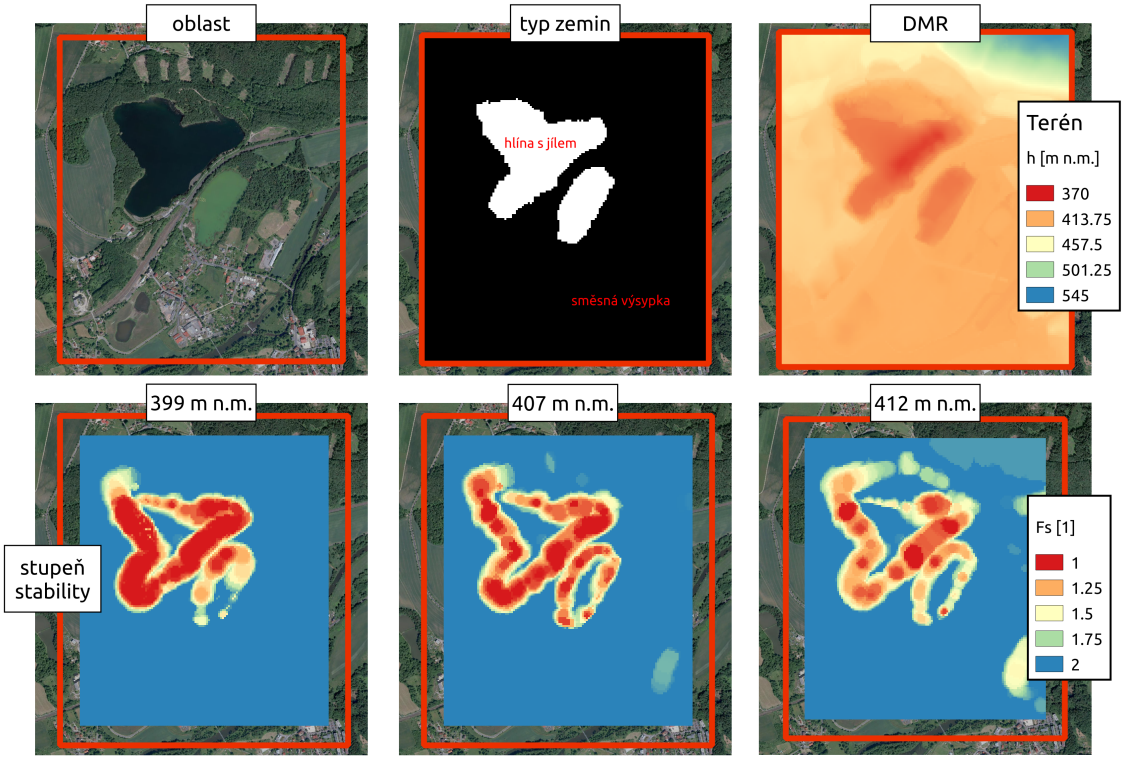
Data předpočítaná pro vyhodnocování stupně stability svahu pomocí interpolace neumožňují zahrnout do výpočtu výšku hladiny vody nad terénem. Z tohoto důvodu byl vytvořen náhradní postup (bez geotechnického podkladu), který transformuje výšku hladiny nad terénem na hloubku hladiny pod terénem (otočení znaméka, „zrcadlení“). Řez profilem terénu zachycující popsanou aproximaci ukazuje obrázek Obr. 3. Tento postup se osvědčil.



Obrázek 2: Kombinace DMR 5G a režimní mapy.



Obrázek 3: Nahrazení výšky hladiny nad terénem hloubkou HPV pod terénem (ilustrativní řez).



Obrázek 4: Vývoj stupně stability svahů v závislosti na výšce hladiny vody v oprámech.

3.1.3 Typy zemin

Koncepce popisovaného modelu nedává možnost upravovat informaci o vertikální struktuře geologické stavby zájmové oblasti. Přes tento nedostatek, nesou vstupní data zjednodušenou informaci o heterogenním horninovém složení zkoumaných svahů. Uvažovány jsou dva typy zemin: směs hlíny s jílem (v jamách pod úrovní 410 m n.m.) a směsná výsypka (nad úrovní 410 m n.m.). Jedná se o značné zjednodušení, které neposkytuje přesný popis situace v celé zájmové oblasti.

3.1.4 Výsledky modelu

Připravené vstupní soubory s informacemi o nadmořské výšce terénu, hloubce HPV a typu zemin byly skriptem v jazyce Python 3 [6] transformovány do podoby výstupních, georeferencovaných, rasterových vrstev obsahujících prostorově distribuovaná data o stupni stability svahů v oblasti. Výpočet vrací hodnoty z intervalu $\langle 1; 2 \rangle$, kde hodnota 1 značí vysoce nestabilní svah a hodnota 2 svah zcela stabilní.

Z mapové kompozice na Obr. 4 Je patrné, že nejkritičtější situace z hlediska stability drážního pilíře by při nerealizovaných, stabilizačních opatřeních panovala při hladině vody v oprámech ve výšce 399 m n.m. Za tohoto stavu existovalo vysoké riziko sesuvu pilíře do velkého oprámu a lokální riziko sesuvu pilíře do oprámu malého.

Po nárůstu výšky hladiny v oprámech na 407 m n.m. by riziko sesuvu pilíře do velkého oprámu pokleslo. Naproti tomu, výrazně by vzrostlo riziko sesuvu do malého oprámu.

Nárůst hladiny v oprámech do výšky 412 m n.m. by vedl k další stabilizaci svahu pilíře ve velkém oprámu. U malého oprámu by došlo rovněž ke změně (k poklesu) rizika.

Dosažené výstupy modelu jsou v souladu s předpoklady a s očekávanými výsledky.

Časová náročnost výpočtů vyžaduje optimalizaci. Výpočet modelu pro jednu zvolenou výšku hladiny vody v oprámech trval 15 minut.

Závěr

V předloženém článku byla představena originální metoda orientačního zjišťování stupně stability svahu v antropogenní krajině s členitým reliéfem vzniklým těžbou hnědého uhlí. Dále byl zohledněn a vyhodnocen hypotetický vliv vody zaplavující těžební jámy na stabilitu jejich svahů. Potvrdila se technická proveditelnost a použitelnost výstupů modelu za předpokladu dostupnosti podrobných informací o modelované lokalitě. Modelové výstupy jsou v případě drážního pilíře v souladu s odhady expertů na geotechniku.

Prostor ke zlepšení připraveného softwarového nástroje tkví v optimalizaci programového kódu za účelem snížení výpočetního času simulace. Dalšími výhledovými úkoly jsou prověření postupu zahrnutí výšky hladiny nad terénem do výpočtu a zobecnění kódu pro použití diskretizace dat sítěmi s libovolným krokem. Námětem pro diskuzi je rovněž volba ve výpočtu použité úrovně hladiny podzemní vody.

Poděkování

Popsaných výsledků bylo dosaženo za podpory Technologické agentury České republiky v rámci projektu „Expertní systém pro monitoring, hodnocení rizik a podporu rozhodování v oblasti využití krajiny“, č.p. TH02030069.

Literatura

[1] ŘÍHA, J.: Implementace kritéria terén multikriteriální analýzyz pohledu geotechniky a jeho výpočet na testovací ploše v lokalitě Chabařovice. Technická zpráva TUL, 2014.

[2] FINE - CIVIL ENGINEERING SOFTWARE: GEO5 - Uživatelská příručka - Edice 2019.
URL `https://www.fine.cz/manualy/`

[3] ZEDEK, L.; ŠEMBERA, J.; KURKA, J.: Orientační hodnocení stability svahů pro větší plochy. 2018, sborník semináře Polní geotechnické metody 2018 - 34. ročník mezinárodního semináře, ISSN 1213-1237.

[4] ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘIČSKÝ A KATASTRÁLNÍ: Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G), mapové listy AS08, AS09. 2016, EPSG:5514 – S-JTSK (Greenwich) / Krovak East North.
URL `https://geoportal.cuzk.cz`

[5] QGIS DEVELOPMENT TEAM: QGIS Geographic Information System. 2019, source Geospatial Foundation Project.
URL `http://qgis.osgeo.org/`

[6] PYTHON CORE TEAM: Python: A dynamic, open source programming language. 2019, python Software Foundation.
URL `https://www.python.org/`

Bürgermeisterkippen

Decentralizované obecní skládky a vyplňování terénních nerovností odpadem

„Bürgermeisterkippen“ - vom ersten deutschen Abfallgesetz zur Altlastenbearbeitung von heute (deutsche Fassung)

„Burgermeisterkippen“ - od prvního německého zákona o odpadech po řešení reliktních zátěží dnes (německá verze)

Thomas Egloffstein[1]

Kurzfassung

In einer kurzen Übersicht wird der lange Weg vom einfach „in die Grube kippen“ zur ordentlichen Deponie der Gegenwart dargestellt. Abgesehen von Einzelmaßnahmen besonders in Ballungszentren wurden flächengreifende Regelungen (Ordnungen, Genehmigungen) etwa ab 1970 in beiden deutschen Staaten angestrebt, deren Umsetzung jedoch verschieden war. Eine Verbesserung des Umweltstandards der geordneten Deponien wurde vollzogen. Die Betreibung ging auf Basis des westdeutschen Abfallrechts von Gemeinden an kreisfreie Städte, Landkreise und Zweckverbände über. Die offensichtlichen Defizite und Umweltgefährdungen in Ostdeutschland wurden nach der Wiedervereinigung größtenteils beseitigt. In der Gegenwart werden das Abfallrecht und das technische Regelwerk, das beträchtlich weiter entwickelt worden ist, relativ einheitlich angewandt.

1 Abfallablagerung in der Anfangsphase

Wie Gottfried Hösel [1] in „Unser Abfall aller Zeiten“ darstellt, begleitet Abfall die ganze Menschheitsgeschichte. Im Mittelalter schütteten die Menschen ihren Müll einfach auf die Straße oder sie benutzten einen Misthaufen auf dem eigenen Grundstück. Dadurch stanken die Gassen zwar erbärmlich – da der Unrat aber größtenteils aus organischen Stoffen bestand, verrottete er langsam von selbst [2]. Erst im 19. Jahrhundert wurde Abfall in Deutschland als ein gesellschaftliches Problem aufgefasst. Die Verstädterung und die Industrialisierung der zweiten Jahrhunderthälfte ließ neben den Abwässern auch die schnell anwachsenden Abfallmengen - Hausmüll und Fäkalien - zu einem Problem werden. Bis dahin war nur wenig Abfall angefallen, da die verbleibenden Überreste insbesondere der Haushalte weitgehend genutzt werden konnten [3]. Bis Ende des 19. Jahrhunderts meldeten größere Städte schon erhebliche Schwierigkeiten bei der Suche nach geeigneten Ablagerungsplätzen für Müll, da sich die Nachbargemeinden dagegen zur Wehr setzten.

Dies führte 1896 nach der großen Pest-Epedemie in Hamburg zum Bau der ersten deutschen Müllverbrennungsanlage. In einzelnen Städten ging man dazu über Kehrichthügel oder sogenannte Scherbelberge anzulegen.

2 Genereller Übergang zu geordneten Deponien

In Westdeutschland gab es zu Beginn der 1960er Jahre über 50.000 sogenannte ungeordnete oder „wilde“ Deponien, die sogenannten „Bürgermeisterkippen“, da praktisch jede Gemeinde eine solche Müllkippe hatte. Das Markenzeichen waren stinkende und qualmende Brände, da der brennbare Müll regelmäßig angezündet wurde.

Man hatte Ende der 1960er Jahre erkannt [4], dass diese Kippen mit Ungeziefer, Ratten, Gerüchen, Bränden, stinkenden Wassergräben und verseuchtem Grundwasser geschlossen

[1] ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH, Auf der Breit 11, 76227 Karlsruhe, Tel.: 0721 94477-0, icp@icp-ing.de

werden mussten. Die Schließung der ungeordneten und Überführung in geordnete Deponien war eines der Hauptziele des ersten deutschen Abfallgesetzes „Gesetz über die Beseitigung von Abfällen (Abfallbeseitigungsgesetz – AbfG) von 1972 [5].

Es folgte in den 1970-er Jahren die Schließung zahlreicher „Bürgermeisterkippen“ in der Regel durch Abdeckung mit Boden und die Umwandlung meist zentral gelegener ungeordneter Deponien zu „geordneten“ Deponien. Eine Verbesserung des Umweltstandards dieser geordneten Deponien in Form von Basisabdichtungen, Dünnschichteinbau und Verdichtung mit Kompaktoren, Sickerwasserfassung und -reinigung, Deponiegaserfassung und -behandlung wurde oftmals nur langsam umgesetzt. Erste Hinweise zur Standortauswahl, Planung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung gab das LAGA-Merkblatt „Die Geordnete Ablagerung von Abfällen“ von 1979 [6], welches das ZfA-Merkblatt M3 von 1969 [4] ersetzte.

3 Deponierung von Abfall in Ostdeutschland

Zur gleichen Zeit wie in der alten BRD kamen auch in der DDR (Ostdeutschland) gesetzliche Regelungen auf. Verordnungen des Landeskulturgesetzes [7, 8] befassten sich mit Abfall und dessen Deponierung. Obwohl die administrativen Verfahren und die Konsequenz des Handelns sich vom Westen Deutschlands unterschieden, kann man nicht davon ausgehen, dass fast alle Abfallablagerungen ungeregelt und ungeordnet waren. Dabei ist nicht zu vergessen, dass einige große Deponien auch Abfall aus dem Westen und von Westberlin aufgenommen haben. 1989 fielen ca. 3,5 Mio. t feste Siedlungsabfälle an, 2,9 Mio. t davon waren Hausmüll. 1989 existierte keine vollständige Übersicht über die Anzahl und den Zustand der genutzten Deponien und Ablagerungsflächen für industrielle Abprodukte und Siedlungsabfälle. Laut einer Erhebung von 1988 bestanden mindestens 13.000 Ablagerungsflächen, davon ca. 2.000 Deponien für industrielle Abprodukte und ca. 11.000 Ablagerungsflächen für Siedlungsmüll [9]. Viele wurden nach 1990 in einem relativ kurzen Zeitraum geschlossen bzw. in den jeweils geltenden bundesdeutschen Standard überführt.

4 Umgang mit Altdeponien und Altablagerungen

Ungeordnete Deponien in den alten Bundesländern die vor dem 1. dt. Abfallgesetz 1972 bzw. in den neuen Bundesländern vor dem Umweltrahmengesetz 1990 abgeschlossen waren sind sogenannte „Altablagerungen“ die unter das Altlasten- und Bodenschutzrecht fallen. Zu diesem Zeitpunkt nicht ordnungsgemäß stillgelegte Deponien (Stilllegungsanzeige erforderlich!) fallen als sog. “Altdeponien“ weiterhin unter das Abfall- und Deponierecht in dem das Vorsorgeprinzip gilt, während im Altlasten- und Bodenschutzrecht das Gefahrenabwehrprinzip gilt.

Auch wenn sich in der Praxis zuweilen diese Grundsätze verwischen, ist es bei korrekter Auslegung der Vorschriften zum Abschuss einer Deponie nach Abfallrecht in der Regel deutlich aufwändiger als nach Altlasten- und Bodenschutzrecht. Die Altablagerungen wurden in den alten Bundesländern im Rahmen der Altlastenerhebung in den 1980/90-er Jahren in Altlastenkatastern erfasst und in den Folgejahren durch die verschiedenen Altlastenerkundungsstufen von der Erfassung über die historische Erkundung, orientierende Untersuchung, Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung weiter untersucht sowie die vergleichsweise seltenen, schwerer wiegenden Fälle meist mit einer Oberflächenabdichtung gesichert.

In den neuen Bundesländern fand dieser Prozess im Wesentlichen in den 1990-er und 2000-er Jahren statt [10]. Viele Altablagerungen unterliegen einem Monitoring, meistens wird aber nur eingegriffen, wenn sich z.B. Auswirkungen auf sensible Grundwasserfassungen etc. abzeichnen. Ansonsten wird die Schadstofffahne im Grundwasser i.d.R. überwacht und allenfalls werden Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen eingeleitet, wenn das Grundstück, auf dem sich eine Altablagerung befindet, einer Nachnutzung, z.B. für Bebauung etc., zugeführt werden soll.

Literaturverzeichnis

[1] HÖSEL, G.: *Unser Abfall aller Zeiten. Eine Kulturgeschichte der Städtereinigung*. 1990. – Jehle Verlag, München

[2] WDR WESTDEUTSCHER RUNDFUNK: *Planet Wissen. Müllentsorgung*. 2019. – https://www.planet-wissen.de/gesellschaft/muell/muellentsorgung/index.html

[3] PARK, M. A. J.: *Von der Müllkippe zur Abfallwirtschaft - Die Entwicklung der Hausmüllentsorgung in Berlin (West) von 1945 bis 1990*. 2004. – Diss. TU Berlin

[4] BUNDESGESUNDHEITSAMT ZENTRALSTELLE FÜR ABFALLBESEITIGUNG: *Merkblatt 3 Die geordnete Ablagerung (Deponie) fester und schlammiger Abfälle aus Siedlung und Industrie*. 1969. – Bundesgesundheitsblatt"12. Jahrg., 1969, Nr. 22, S. 362–370

[5] DER DEUTSCHE BUNDESTAG: *Gesetz über die Beseitigung von Abfällen (Abfallbeseitigungsgesetz – AbfG)*. 1972. – Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 49 vom 10.06.1972. Bonn

[6] LAGA LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL: *Die Geordnete Ablagerung von Abfällen (Deponie-Merkblatt)*. 1979. – Stand 1. September 1979

[7] *Gesetz über die planmäßige Gestaltung der sozialistischen Landeskultur in der Deutschen Demokratischen Republik – Landeskulturgesetz –*. – Beschluss der Volkskammer der DDR vom 14.05.1970; GBl. der DDR, Teil I Nr. 12, 28.10.1970, Berlin

[8] Dritte Durchführungsverordnung zu [7]: „Sauberhaltung der Städte und Gemeinden und Verwertung von Siedlungsabfällen“ vom 14.05.1970; Sechste Durchführungsverordnung zu [7]: „Nutzbarmachung und schadlose Beseitigung von Abprodukten“ vom 11.09.1975

[9] PETSCHOW, U. ; MERYERHOFF, J. ; THOMASBERGER, C.: *Umweltreport DDR. Bilanz der Zerstörung, Kosten der Sanierung, Strategien für den ökologischen Umbau*. 1990. – Eine Studie des Instituts für Ökologische Wirtschaftsforschung. Verlag S. Fischer, Frankfurt a. M.

[10] https://www.boden.sachsen.de/sachsisches-altlastenkataster-salka-17032.html

„Bürgermeisterkippen“ - vom ersten deutschen Abfallgesetz zur Altlastenbearbeitung von heute (tschechische Fassung)

„Burgermeisterkippen“ - od prvního německého zákona o odpadech po řešení reliktních zátěží dnes (česká verze)

Thomas Egloffstein[1]

Abstrakt

V krátkém přehledu bude popsána dlouhá cesta od jednoduchého „sypání odpadu do jámy“ k řádným skládkám současnosti. Odhlédnuto od jednotlivých opatření, realizovaných především v aglomeracích, byla v obou německých státech zhruba od roku 1970 vyvíjena snaha o plošná řešení (řády, povolení), která však byla realizována různě. Došlo ke zlepšení ekologických standardů řádných skládek. Na základě západoněmecké legislativy z oblasti odpadového hospodářství přešel provoz skládek z obcí na města na úrovni okresu, okresy a účelové svazy. Jasně patrné deficity a rizika pro životní prostředí ve východním Německu byla po sjednocení Německa z větší části odstraněna. Odpadová legislativa a technické normy, které byly výrazným způsobem rozvinuty, jsou v současné době aplikovány relativně jednotně.

1 Počáteční fáze ukádání odpadů

Jak uvádí Gottfried Hösel [1] v článku „Unser Abfall aller Zeiten“ (Naše odpady za všech časů), doprovází odpad celou historii lidstva. Ve středověku sypali lidé svůj odpad jednoduše na ulici nebo používali hromadu hnoje na svém pozemku. Uličky středověkých měst sice žalostně zapáchaly, ale protože nečistoty byly většinou z organických látek, tak se sami jednoho dne rozložily [2]. Teprve v 19. století byl odpad v Německu vnímán jako společenský problém. Růst města a industrializace ve druhé polovině století vedla k tomu, že kromě odpadních vod se problémem začal stávat narůstající objem odpadů - domovního odpadu a fekálií. Do té doby se odpadu vyskytovalo málo, protože zbytky bylo možno z velké části využívat především v domácnostech [3]. Do konce 19. století již větší města hlásila významné problémy při hledání vhodných úložišť odpadů, protože sousední obce se tomu bránily.

Výsledkem byla v roce 1896 po velké morové epidemii v Hamburku výstavba první německé spalovny odpadů. V jednotlivých městech byla zakládána smetiště.

2 Všeobecný přechod k řízeným skládkám

Na počátku šedesátých let 20. století existovalo v Západním Německu více než 50 000 „divokých“ skládek, zvaných „starostenské skládky“, protože prakticky každá obec takovouto skládku měla. Protože hořlavý odpad byl pravidelně zapalován, byly jejich příznakem smradlavé a kouřící požáry.

Ke konci šedesátých let 20. století se dospělo k poznání [4], že tyto skládky s různým hmyzem, krysami, zápachy, požáry, zapáchajícími vodními příkopy a zamořenou podzemní vodou je nutno uzavřít. Uzavření těchto neřízených skládek a jejich převedení do řádného režimu

[1]ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH, Auf der Breit 11, 76227 Karlsruhe, Tel.: 0721 94477-0, icp@icp-ing.de

bylo jedním z hlavních cílů prvního německého zákona o odpadech - „Zákona o odstraňování odpadů“ (Abfällen (Abfallbeseitigungsgesetz – AbfG) z roku 1972 [5].

V sedmdesátých letech 20. století následovalo uzavření četných „starostenských skládek“ zpravidla zakrytím půdou a přeměnou většinou centrálně položených neřízených skládek na „řízené“ skládky. Zlepšení ekologických standardů těchto řízených skládek formou izolace základové spáry, ukládání v tenčích vrstvách a zhutňováním pomocí kompaktorů, jímáním skládkových výluhů a jejich čištěním, jímáním skládkových plynů a jejich zpracováním bylo často realizováno jen pomalu.

První pokyny ohledně umístění, projektování, zřizování, provozu a uzavírání skládek byly shrnuty v směrnici pracovní skupiny LAGA „Řádné ukládání odpadů“ (Die Geordnete Ablagerung von Abfällen) z roku 1978 [6], která nahradila směrnici M3 z roku 1969 [4].

3 Skládkování odpadu ve východním Německu

V bývalé NDR existovalo zhruba 15 - 20 000 neřízených skládek [7], které byly po sjednocení Německa během relativně krátké doby uzavřeny, případně převedeny na řízené skládky.

4 Nakládání se starými skládkami a úložišti

Neřízené skládky ve starých spolkových zemích, které byly uzavřeny před platností prvního německého zákona o odpadech z roku 1972, případně v nových spolkových zemích před vydáním Rámcového zákona o životním prostředí (Umweltrahmengesetz) v roce 1990 byly považovány za tak zvané „reliktní zátěže“ a spadaly pod legislativu, upravující oblast reliktních zátěží a ochrany půdy. Skládky, které k tomuto datu nebyly řádně uzavřeny (oznámení o uzavření skládky nutné!), spadají jako tak zvané „staré skládky“ (Altdeponien) i nadále pod legislativu, upravující oblast odpadů a skládkování odpadů. Na rozdíl od oblasti reliktních zátěží a půdy, kde platí princip odvracení ohrožení, platí v odpadové legislativě princip prevence.

I když se tyto zásady v praxi často stírají, jsou nároky v případně správné interpretace předpisů pro uzavírání skládek podle odpadové legislativy významně náročnější, nežli podle legislativy z oblasti reliktních zátěží a ochrany půd. Stará úložiště byla ve starých spolkových zemích v letech 1980/90 mapována v rámci zjišťování reliktních zátěží a evidována v katastrech reliktních zátěží. Během následujících let byla tato úložiště poté pomocí různých stupňů evidence dále zkoumána. Vzácně se vyskytující, závažné případy byly řešeny většinou izolací povrchu.

V nových spolkových zemích probíhal tento proces v letech 1990 až 2000 [8]. Řada reliktních úložišť podléhá monitoringu, k zásahu však dojde pouze tehdy, kdy jsou patrné například vlivy na citlivé jímání podzemní vody, v ostatních případech je obsah škodlivých látek v podzemní vodě zpravidla monitorován. V případě potřeby jsou realizována sanační nebo zpravidla zajišťovací opatření v případech, kde má být plocha s reliktním úložištěm využita novým způsobem, například zastavěna.

Literatura

[1] HÖSEL, G.: Unser Abfall aller Zeiten. Eine Kulturgeschichte der Städtereinigung. 1990, jehle Verlag, München.

[2] WDR WESTDEUTSCHER RUNDFUNK: Planet Wissen. Müllentsorgung. 2019, https://www.planet-wissen.de/gesellschaft/muell/muellentsorgung/index.html.

[3] PARK, M.: Von der Müllkippe zur Abfallwirtschaft - Die Entwicklung der Hausmüllentsorgung in Berlin (West) von 1945 bis 1990. 2004, diss. TU Berlin.

[4] BUNDESGESUNDHEITSAMT ZENTRALSTELLE FÜR ABFALLBESEITIGUNG: Merkblatt 3 Die geordnete Ablagerung (Deponie) fester und schlammiger Abfälle aus Siedlung und Industrie. 1969, bundesgesundheitsblatt”12. Jahrg., 1969, Nr. 22, S. 362–370.

[5] DER DEUTSCHE BUNDESTAG: Gesetz über die Beseitigung von Abfällen (Abfallbeseitigungsgesetz – AbfG). 1972, bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 49 vom 10.06.1972. Bonn.

[6] LAGA LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL: Die Geordnete Ablagerung von Abfällen (Deponie-Merkblatt). 1979, stand 1. September 1979.

[7] PETSCHOW, U.; MERYERHOFF, J.; THOMASBERGER, C.: Umweltreport DDR. Bilanz der Zerstörung, Kosten der Sanierung, Strategien für den ökologischen Umbau. 1990, eine Studie des Instituts für Ökologische Wirtschaftsforschung. Verlag S. Fischer, Frankfurt a. M.

[8] SÄCHSISCHES ALTLASTENKATASTER (SALKA): Https://www.boden.sachsen.de/sachsisches-altlastenkataster-salka-17032.html.

[9] Gesetz über die planmäßige Gestaltung der sozialistischen Landeskultur in der Deutschen Demokratischen Republik – Landeskulturgesetz –. Beschluss der Volkskammer der DDR vom 14.05.1970; GBl. der DDR, Teil I Nr. 12, 28.10.1970, Berlin.

Zum Werdegang der „Bürgermeisterkippen“ in Ostsachsen

O vývoji decentralizovaných obecních skládek ve východním Sasku

Uwe Barholomäus[1]; Jürgen I. Schoenherr[2]

Kurzfassung

Landläufig kursiert der Begriff der „Bürgermeister-Kippen“. Darunter sind Abfalldeponien zu verstehen, die in Ostdeutschland bis nach 1990 in Verantwortung der Städte und Gemeinden betrieben worden sind. Tatsächlich liegt der begriffliche Ursprung im Westen Deutschlands. Dort ergab sich eine vergleichbare Situation wie in Ostdeutschland bereits in den 1970er Jahren mit der Umsetzung des ersten Abfallgesetzes der Bundesrepublik Deutschland. Etwa zeitgleich begann die DDR formale Regelungen zur Abfallwirtschaft und zu Deponien zu finden. Anders als in der Bundesrepublik verblieb aber ein Großteil der Verantwortung bei den Städten und Gemeinden.

Die Entwicklung in Ostsachsen nach 1990 wird am Beispiel des ehemaligen Landkreises Löbau-Zittau dargestellt. Die Deponien wurden nach Gefährdungspotenzial und Handlungsbedarf eingeteilt. Daraus ergaben sich umfangreiche, differenzierte Maßnahmen zur Sicherung und gegebenenfalls Oberflächenabdichtung vieler alter Deponien.

Es wird erörtert, ob aus heutiger Sicht von gesicherten und ungesicherten Deponien noch Umweltgefährdungen ausgehen können und ob sich Erfahrungen für den Umgang mit beendeten Deponien im Ausland anbieten.

Abstrakt

Pojem „Bürgermeister-Kippen“ se (v Německu) běžně užívá. Tímto pojmem jsou míněny staré skládky, které byly ve východním Německu provozovány do doby po roce 1990 v kompetenci měst a obcí. Ve skutečnosti toto označení pochází původně ze Západního Německa, kde vznikla podobná situace, jako ve Východním Německu již sedmdesátých letech 20. století realizací prvního zákona o odpadech Německé spolkové republiky. Zhruba ve stejnou dobu začala i NDR vytvářet formální pravidla odpadového hospodářství a skládkování. Na rozdíl od Německé spolkové republiky však velká část zodpovědnosti zůstala na městech a obcích.

Vývoj ve východním Sasku po roce 1990 bude v příspěvku představen na příkladu bývalého okresu Löbau-Zittau. Skládky byly rozděleny podle jejich rizikového potenciálu a nutnosti řešení. Z tohoto rozdělení vyplynula řada komplexních, diferencovaných opatření pro zajištění a v daném případě izolaci povrchu celé řady starých skládek.

V příspěvku bude řešena otázka, zda zajištěné a nezajištěné skládky mohou z dnešního pohledu ještě představovat zdroj ohrožení a zda existují nějaké zkušenosti s nakládáním s uzavřenými skládkami v zahraničí.

[1]Hochschule Zittau-Görlitz, Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN); Theodor-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; u.bartholomaeus@hszg.de

[2]Hochschule Zittau-Görlitz, Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN); Theodor-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; j.schoenherr@hszg.de

1 Was versteht man unter „Bürgermeister-Kippen“?

Unter Fachleuten kursiert der Begriff der „Bürgermeister-Kippen“. Darunter sind Abfalldeponien zu verstehen, die in Ostdeutschland um 1990 in Verantwortung der Städte und Gemeinden betrieben worden sind. Anfangs war der Autor der Auffassung, dass dieser Begriff aus dieser historischen Situation heraus entstanden ist.

Tatsächlich liegt der begriffliche Ursprung im Westen Deutschlands. Dort ergab sich eine vergleichbare Situation bereits in den 1970er Jahren mit der Umsetzung des ersten Abfallgesetzes der Bundesrepublik Deutschland. Bis zu diesem Zeitraum betrieben die Städte und Gemeinden auch dort Abfall- und Müllablagerungsplätze nach mehr oder weniger eigenem Ermessen, kurz gesagt in Verantwortung der Bürgermeister. Entsprechend entstanden einige geordnete Deponien, aber auch viele Plätze und Kippen zur Ablagerung. Als besonders geeignet erschienen Stätten eines ehemaligen Rohstoffabbaus (Sand- und Kiesgruben, Tongruben, Lehmgruben, Steinbrüche) sowie auch natürlich vorhandene Senken.

Es wäre falsch solche Kippen als illegal, sprich „schwarze“ oder „wilde“ Kippen zu bezeichnen. Entweder waren die konsequenten Rechtsverhältnisse für eine Genehmigung noch gar nicht gegeben oder andere Stätten hatten bereits einen förmlichen Beschluss für Ablagerungen.

Bis 1972 war die Abfallentsorgung in der alten Bundesrepublik in der Regel kommunale Aufgabe der Gemeinden. In jenem Jahr trat das erste Abfallgesetz in Kraft [Abfallbeseitigungsgesetz der BRD 1972]. Die Zuständigkeit ging an Landkreise und kreisfreie Städte über. Diese konnten auch kommunale Zweckverbände für die Abfallwirtschaft gründen. Die Anzahl der Ablagerungsplätze wurde durch Zentralisation erheblich reduziert.

Die Historie hat vielfältige Facetten, denn es ist eine falsche Annahme, dass im Osten Deutschlands bis zur politischen Wende keine Regelungen zum Umgang mit Abfällen bestanden hätten.

Bereits im Mai 1970 wurde von der Volkskammer das Gesetz über die Landeskultur beschlossen. Es umfasste die Grundlagen fast aller Sachgebiete, die heute das Umweltrecht ausmachen, wie u. a. Landschafts- und Naturschutz, Bodenschutz, Gewässerschutz, Reinhaltung der Luft, Nutzbarmachung und schadlose Beseitigung von Abprodukten. Dieser Artikel kann nicht die rechtlichen Aspekte beleuchten. Selbstverständlich waren die administrativen Verfahren und die Widerspruchsmöglichkeiten ganz andersartig als in der Bundesrepublik. So bestanden keine Verwaltungsverfahren und Planfeststellungsverfahren im bundesdeutschen Sinn.

§ 32
Zielsetzung

(1) Die weitere Entwicklung der Volkswirtschaft und die Gestaltung der sozialistischen Landeskultur erfordern die volkswirtschaftlich effektive Nutzbarmachung und die schadlose Beseitigung der Abprodukte, die als feste, flüssige oder gasförmige Reststoffe des Produktionsprozesses sowie als Siedlungsabfälle oder als flüssige oder gasförmige Schadstoffe in den Städten und Gemeinden anfallen.

(2) Die zuständigen Staats- und Wirtschaftsorgane sowie die Betriebe haben im Zusammenwirken mit der Nationalen Front, den gesellschaftlichen Organisationen und den Bürgern dafür zu sorgen, daß die Lebensbedingungen der Bürger, die Landschaft und die Volkswirtschaft nicht durch Abprodukte, ihre Aussonderung und ungeordnete Ablagerung beeinträchtigt werden. Die Ablagerung von Abprodukten außerhalb der festgelegten Ablagerungsplätze ist nicht gestattet.

Abbildung 1: Auszug aus dem Landeskulturgesetz der DDR bezüglich Abfallwirtschaft [1].

Dieses allgemeine Gesetz wurde präzisiert für die Abfallwirtschaft durch die Dritte Durchführungsverordnung „Sauberhaltung der Städte und Gemeinden und Verwertung von Siedlungsabfällen“ (14.05.1970) und Sechste Durchführungsverordnung „Nutzbarmachung und schadlose Beseitigung von Abprodukten“ (11.09.1975).

In Umsetzung dieser gesetzlichen Bestimmungen liegen für viele Deponien der DDR Genehmigungen aus den 1970er oder 1980er Jahren vor, in der Regel von den Räten der Kreise, zum Beispiel für Deponie „Grüne Fichte“ oder „Philippine“ bei Weißwasser, Kreismülldeponien

Hartau und Hirschfelde bei Zittau. Bereits zu dieser Zeit erfolgte auch im Osten eine teilweise Zentralisierung der Deponien. Jedoch blieben Altstandorte ungesichert in der Landschaft liegen.

Zwanzig Jahre später mit der Wiedervereinigung wurde der Sicherungsaspekt konsequenter in den Mittelpunkt gerückt. Die inzwischen weiter entwickelten Gesetzlichkeiten und technischen Regeln der BRD wurden übernommen.

2 Die Entwicklung in Sachsen nach 1990

In Sachsen trat das erste Abfallgesetz in Kraft [2]. In diesem Gesetz wurde der Übergang von kommunalen, gemeindlichen Deponien und Ablagerungsplätzen in die Verantwortung der Landkreise mit drei Festlegungen fixiert.

- „Die Landkreise und kreisfreien Städte haben als zuständige Körperschaften im Sinne des damals geltenden Abfallgesetzes (Bemerkung: bundesweites Rahmengesetz; Gesetz zur Vermeidung und Entsorgung von Abfällen von 1986.) die in ihrem Gebiet angefallenen Abfälle zu entsorgen“ (EGAB §3 Abs. 1). Damit wurden sie zu entsorgungspflichtigen Körperschaften.
- „Die entsorgungspflichtigen Körperschaften können verlangen, dass ihnen Eigentum und sonstige Rechte an ortsfesten Abfallentsorgungsanlagen und an beweglichen Einrichtungen zur Abfallentsorgung von den Gemeinden übertragen werden. Die entsorgungspflichtige Körperschaft tritt in die Rechte und Pflichten der Gemeinden in ihrem Gebiet ein, soweit sie dies zur Erfüllung ihrer Aufgaben benötigt. Die Beteiligten regeln die mit dem Rechtsübergang erforderliche Abwicklung durch Vereinbarung; Vorleistungen sind angemessen auszugleichen“ (EGAB § 3 Abs. 5).
- Die entsorgungspflichtigen Körperschaften werden Inhaber der bestehenden und stillgelegten ortsfesten Abfallentsorgungsanlagen, bei denen kommunale Gebietskörper-schaften Verpflichtete sind. Absatz 5 letzter Satz gilt entsprechend (EGAB §3 Abs. 6).

Damit verschwanden begrifflich die „Bürgermeisterkippen“, weil sie prinzipiell nicht mehr in Verantwortung der Gemeinden waren. Das administrative Problem ging von den Bürgermeistern an die Landkreise und entsprechend an die Landräte über. Eine Ausnahme blieben einige kreisfreien Städte, wie auch Görlitz für mehrere Jahre, weil sie selbst einen eigenen Kreis darstellten. Weiterhin konnten Landkreise Zweckverbände für die Belange der Abfallwirtschaft bilden.

3 Altdeponien und Altablagerungen in Sachsen

Ungeordnete Deponien in den neuen Bundesländern, die vor dem Inkrafttreten des Umweltrahmengesetzes beendet worden waren, sind sogenannte „Altablagerungen“ (stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle bis zum 30.06.1990 abgelagert worden sind [3]), Sie fallen unter das Altlasten- und Bodenschutzrecht. Andere Ablagerungsplätze, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht beendet waren, sind in der Regel „Altdeponien“. Obwohl sie nicht den höheren Anforderungen der Technischen Anleitung für Siedlungsabfall entsprachen, die ab Juni 1993 gegolten hat, hatten diese Anlagen Bestandsschutz für einen bestimmten Zeitraum. In diesem Zeitraum wurden speziell im Osten und in Sachsen viele Deponien geschlossen, die vereinfachte technische Bedingungen nutzen konnten, weil sie nicht unter die TA Siedlungsabfall und nicht unter die spätere Deponieverordnung fielen [3]. (Altdeponien in diesem Sinn: In Errichtung oder in Betrieb befindliche Deponie, die am 01.06.1993 zugelassen waren oder nach § 35 des damaligen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes zulässig waren oder das Planfeststellungsverfahren eingeleitet worden war [4].). Der

Begriff „Altdeponie“ ist nicht einheitlich definiert, weil er in der Regel bedeutet, dass es eine Deponie ist, für die Regelungen vor der gerade aktuellen gesetzlichen Regelung noch (eventuell befristet) anwendbar sind.

Kurz darauf übernahmen die Landkreise und Kreisfreien Städte gemäß des zuvor genannten sächsischen Gesetzes per 30.06.1993 die bestehenden und stillgelegten ortsfesten Abfallentsorgungsanlagen, bei denen kommunale Gebietskörperschaften Verursacher, Grundstückseigentümer oder Inhaber der tatsächlichen Gewalt über das Grundstück waren [5].

Auf dieser Basis wurden ab 1993 die Altdeponien erfasst und ihr Gefährdungspotenzial eingeschätzt. Die Gefährdung wurde in drei Kategorien eingeteilt und daraus der Handlungsbedarf abgeleitet. Die nachfolgenden Absätze sind unter Verwendung von Angaben der Internetseite des Landkreises Görlitz [6] und der Empfehlung des LfUG [3] entstanden.

3.1 Altdeponien der Kategorie K I

- Ablagerungsvolumen unter 25.000 Kubikmeter.
- hauptsächlich Ablagerung von Siedlungsabfall und Bauschutt mit geringem Schadstoffgehalt und weitgehender Inertisierung (Erklärt als Umwandlung zu erdähnlichen Stoffen. Besser: Die chemische Reaktion zwischen den Abfallstoffen untereinander sowie mit Wasser und Gasen ist abgeschlossen [U.B.]).
- Hier ist nach der Profilierung des Deponiekörpers (fünf Prozent Gefälle zur Sicherung des Oberflächenwasserabflusses) eine Oberflächenabdeckung mit Erde von ca. einem Meter Mächtigkeit als Sicherungs- und Rekultivierungsmaßnahme vorzusehen. Zur Sicherung gegen Abtrag wird eine flächendeckende Eingrünung vorgenommen.
- Bewertung: „geringes Gefährdungspotenzial“ und entsprechend „geringer Handlungsbedarf“.

3.2 Altdeponien der Kategorie K II

- Ablagerungsvolumen 25.000 bis 150.000 Kubikmeter.
- Hauptsächlich Ablagerung von Siedlungsabfall und Bauschutt sowie Industrie- und Gewerbeabfall mit Schadstoffanreicherung und geringer Inertisierung.
- Für Altdeponien der Klasse II ist ein Oberflächenabdichtungselement (definierte mineralische Bodenschicht oder Foliendichtung und Rekultivierungsschicht) erforderlich.
- Die Profilierung des Deponiekörpers muss nach Abklingen der Setzungen ein Mindestgefälle von fünf Prozent garantieren.
- Bewertung: „mittleres Gefährdungspotenzial“ mit „mittlerer Handlungsbedarf“.

3.3 Altdeponien der Kategorie K III

- Ablagerungsvolumen über 150.000 Kubikmeter.
- Ablagerung: neben Siedlungsabfall und Bauschutt erhebliche Mengen Industrie- und Gewerbeabfall mit hoher Schadstoffanreicherung; Schadstoffbeeinträchtigung im Grundwasser; Deponiegasbildung noch möglich.
- K-III-Deponien erfordern Kombinationsdichtungen in Anlehnung an die Technische Anleitung Siedlungsabfall bzw. die Deponieverordnung. (Hier wird die Anlehnung folglich nicht die vollständige Umsetzung an diese Bestimmungen hervorgehoben.)

- Bewertung: „hohes Gefährdungspotenzial“ mit „umfangreichem Handlungsbedarf“.

4 Regionale Umsetzung

Interessant ist dabei, dass letztlich die Zuständigkeiten für Altdeponien regional in Ostsachsen unterschiedlich gestaltet worden sind.

4.1 Landkreis Görlitz und Landkreis Bautzen (mit Vorgängerkreisen)

Die Altdeponien verblieben bei den Landkreisen, zuständig sind die Landratsämter. Über die umfangreichen Aktivitäten liegt eine Übersichtsbroschüre 2009 des ehemaligen Kreises Zittau-Löbau (selbständig bis 2008) vor. Dort sind 63 Standorte erfasst. [7]

Per 30.06.1993 existierten im heutigen Landkreis Görlitz 170 Altdeponien. Nach dem derzeitigen Stand der fachlichen Beurteilung wurden 25 Altdeponien den Kategorien II und III zugeordnet. Alle weiteren 145 Altdeponien haben nur ein geringes Gefährdungspotenzial (K I). [6]

Der regionale Abfallzweckverband RAVON dieser beiden Landkreise befasst sich nicht mit Altdeponien.

4.2 Zweckverband Abfallwirtschaft Oberes Elbtal (ZAOE)

In der Umgebung von Dresden (außer Stadt Dresden) wurde die Sicherung eines Großteils der Altdeponien anders organisiert.

Im September 2004 haben die vier Landkreise des Verbandsgebietes 118 Altdeponien an den Verband übertragen. Davon hatten die Landkreise bereits in Eigenregie 32 Deponien saniert.

Der ZAOE war somit für die Sanierung der restlichen 86 so genannten 3.6er Deponien (bezeichnet nach §3 Abs. 6 EGAB) verantwortlich.

Die Maßnahmen dazu wurden bis zu 75 Prozent aus den Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Das Förderprogramm lief im August 2007 aus.

5 Kurzbeschreibung von Beispielen

5.1 Allgemeines

Die wesentlichen Informationen entstammen der Dokumentation des ehemaligen Kreises Löbau-Zittau [7].

Dort wird auch eingeschätzt, dass vor 1990 trotz einiger Genehmigungen keine gesicherte Endlagerung für die Deponien vorhanden war, weil die Sicherung des Untergrundes und eine Gefährdungsabschätzung nicht die Grundlage der Entscheidungen waren.

Die Gefährdungsabschätzungen zeigten, dass in der Regel Basisabdichtungen fehlen, wenn sie nicht zufällig natürlich vorhanden sind. Spezielle technische Maßnahmen an der Basis sind nicht ergriffen worden. Im Gegenteil liegen viele Altdeponien in Sand- und Kiesgruben, die nach dem Rohstoffabbau gefüllt worden sind. Sickerwasserfassungen und Entgasungsanlagen hat es nicht gegeben.

Damit umfassen die Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen besonders die Oberflächenabdeckung oder –abdichtung und die Abführung der Niederschläge, aber bei manchen K-II-Deponien (und höher) auch das nachträgliche Einbringen von Entgasungseinrichtungen sowie die Beachtung der Setzungsprozesse.

Dieses Oberflächenabdeckungssystem besteht bei vielen Deponien aus zwei Lagen „Dichtungserdstoff“, bindigen Boden, mit je 25 cm Mächtigkeit. Darüber wurden bis zu 1 m (oder

auch weniger) Kulturboden aufgetragen. Vergleichend sei auf Langzeitversuche mit der Lysimeteranlage Nadelwitz verwiesen, die nachweisen, dass regionaler bindiger Boden erst bei einer Mächtigkeit größer 1 m die Durchsickerung ausreichend reduziert und einen Wirkungsgrad (Wasserzurückhaltung) von mehr als 90 % erreicht [8].



Abbildung 2: Altdeponien im ehemaligen Kreis Löbau-Zittau (im Auftrag des Landkreises geplant, Bauausführung durch Baufirmen) [7].

5.2 Altdeponie Kreismülldeponie Hartau (südlich von Zittau)

5.2.1 Bewertung und Ursprung

- Kreismülldeponie bis 1991. Etwa 1,4 Mio m^3 Abfall abgelagert. Begonnen wurde 1955.
- Restloch einer ehemaligen Braunkohlengrube.
- Bis 1990 Teilabdeckung mit Erdstoff und bepflanzt. Ergibt sich dadurch eine dämmende oder abdichtende Funktion an der Oberfläche?
- Keine Basisabdichtung.
- Bis 1990 gab es keine Sickerwasserfassung und Gasfassungen.
- In der Dokumentation wird keine Aussage zum Grundwasser, das vermutlich bei der Lage und dem Ursprung relevant ist, getroffen.
- Gesamtfläche: 11 ha

5.2.2 Sicherung und Sanierung

- 1994 bis 1997: 77.000 m^3 unbelasteter Bodenaushub eingebaut und Wasserableitung verbessert.
- 1994: Bau eines gedichteten Randgrabens.
- Auf Ausgleichsschicht wurden zwei Lagen a 25 cm Dichtungserdstoff aufgetragen, darauf 1 m Kulturbodenschicht.
- 10 Schotteröffnungen für Entgasungen als Gasschächte bis unterhalb der Dichtschicht, 2 Gaspegel. Keine reguläre Gasfassung und -ableitung.
- Bepflanzung, Wege, Ruheplatz mit Aussicht.
- Maßnahmen betreffen ca. 6 ha.
- Keine Grundwassermessstellen erwähnt (?).
- Gesamtkosten ca. 740 T€, etwa 12 €/m^2.

5.3 AD Berthelsdorf – Kemmnitzer Straße

5.3.1 Geschichte

- Kategorie I. Bachaue seit 1960er Jahre verfüllt. 25.000 bis 30.000 m^3 Abfälle.
- Der ehemalige Graben auf der Deponiesohle wurde verrohrt, dann überschüttet. Die Rohrleitung war eingebrochen.
- Es war einfach eine Senke in der Landschaft, möglicherweise in Verbindung mit landwirtschaftlicher Melioration aufgefüllt wurden.

5.3.2 Sanierung und Sicherung

- Der Abfallkörper wurde ausgebaggert, abtransportiert und auf der Siedlungs-abfalldeponie Radgendorf nördlich von Zittau wieder abgelagert. 28.000 m^3. An diesem Ort ist der Abfall tatsächlich beseitigt wurden.
- Die Deponie Radgendorf war nach 1990 auf Basis des BRD-Abfallrechts und des technischen Regelwerks ertüchtigt worden und bis 2005 in Betrieb.
- Bachaue, Graben und der ehemals vorhandene Teich wurden wieder aufgebaut.
- Kulturbodenschicht mit 30 cm aufgetragen, Bepflanzung, Grasansaat.
- Kosten: 400.000 €. Etwa 45 €/m^2 Deponiefläche.

5.4 Altablagerung / Deponie Zittau – Hartauer Straße

5.4.1 Geschichte

- Alte Lehmgrube. Ziegelei. Typischer Ursprung bei „Bürgermeisterkippen“.
- Kategorie I. Gemischte Abfälle: Hausmüll, Bauschutt, Asche, Schlacke, Erdaushub, Grünabfälle. Typische Zusammensetzung für „Bürgermeisterkippen“. Etwa 26.000 m^3 Abfälle und Erdmassen. 3,35 ha.
- Aber auch Ölsickerbeete im südlichen Teil der Deponie: Altöle, Bohremulsionen.

5.4.2 Sanierung und Sicherung

- Bau in 3 Bauabschnitten. Die Einstufung in K I ist fragwürdig, weil die Baumaßnahmen intensiver waren. Möglicherweise im Zuge der Bearbeitung ergaben sich neue Erkenntnisse.
- Umlagerung des vorhandenen Mülls innerhalb der Deponie zur Gestaltung des Vorprofils.
- Mineralische Dichtungsschicht, 3,35 ha Geotextile Drainagematte.
- 1 m Rekultivierungsschicht.
- 6 Gasbrunnen [passen nicht zu K I, wahrscheinlich wegen Ölsickerbeeten?]
- Kosten: 484.000 €.

5.5 Deponie Großhennersdorf, Endeberg

5.5.1 Geschichte

- Ehemalige Sandgrube.
- Die Abfallverfüllung begann 1975.
- Deponie ist ohne Basisabdichtung, Sickerwasserfassung und Entgasungseinrichtungen.



Abbildung 3: Deponie Großhennersdorf. Links: Deponieoberfläche in jetziger Ausbildung. Rechts: Gasbrunnen als Relikt. (Fotos: Bartholomäus).

5.5.2 Sanierung und Sicherung

- 1994 begannen in Eigenregie des Landratsamtes Zittau Planierungsarbeiten.
- 1996 und 1997 Sanierungsarbeiten durch eine Baufirma, die zu dieser Zeit auch umfangreich in der Braunkohlesanierung in Sachsen tätig war.
- Zweilagige mineralische Dichtschicht aus bindigen Erdstoffen je 25 cm Stärke. Darüber 1 m mächtige Kulturbodenschicht.
- Entwässerungsgraben vor der oberen Böschungskante. Randgraben im Süden.
- 3 Gaspegel, die heute noch existieren. Setzungsmesspunkte.
- Begrünung der Fläche und Bepflanzung mit Strauch- und Baumpflanzungen.
- Kosten: rund 200.000 €, etwa 11,75 €/m^2

6 Abschließende Betrachtungen

In der Dokumentation [7] geht man davon aus, dass die Landkreise nach der Beendigung der Sanierungsarbeiten noch 30 Jahre für diese Flächen zuständig bleiben. „Nach positiver Abschlussbewertung erfolgt die Rückgabe an die Grundstückseigentümer“. Diese 30-Jahre-Frist erinnert an die Nachsorgephase entsprechend der Deponieverordnung. Dort steht letztlich jedoch nicht die Frist im Vordergrund, sondern die Erfüllung bestimmter mehr oder weniger festgelegter fachlicher Kriterien. Etwa ab 2025 wird die Phase „30 Jahre nach Sanierungsende“ schrittweise eintreten. Wie wird man dann verfahren?

Die gelegentlich zu hörende Auffassungen, alle Schädlichkeiten werden nach dieser langen Zeit abgeflossen oder verweht sein, wird sich nicht unbedingt erfüllen. Die Baulichkeiten dieser technischen Bauwerke (Erdbauwerke) bleiben bestehen. Da werfen manche Drainagen, Gräben, Gasbrunnen und Gabionen doch einige Fragen auf. Möglicherweise lohnt es sich doch, sich mit solchen Altdeponien nochmals zu befassen.

Die tschechischen Partner können vom deutschen Ergebnis her überlegen, wie man aktuell manchen Sachverhalt am Beginn angehen kann. Das ist eventuell auch eine spannende Aufgabenstellung.

Literaturverzeichnis

[1] *Gesetz über die planmäßige Gestaltung der sozialistischen Landeskultur in der Deutschen Demokratischen Republik – Landeskulturgesetz*. – Beschluss der Volkskammer der DDR vom 14.05.1970; GBl. der DDR, Teil I Nr. 12, 28.10.1970, Berlin

[2] *Erstes Gesetz zur Abfallwirtschaft und zum Bodenschutz im Freistaat Sachsen EGAB vom 12.08.1991*

[3] SÄCHS. LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE: *Empfehlungen für die Auswahl und Bewertung von Schutz- und Rekultivierungsmaßnahmen bei der Stilllegung von Altdeponien im Freistaat Sachsen*. Dez. 2003. – Dresden

[4] *Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen*. – Bundesgesetzbl. Teil I, Nr. 10 vom 27.02.2001

[5] *Neufassung des Ersten Gesetzes zur Abfallwirtschaft und zum Bodenschutz im Freistaat Sachsen*. – 31. Mai 1999, § 3 Abs. 6

[6] *Angaben der Internetseite des Landkreises Görlitz www.kreis-goelitz.de vom Juli 2019*

[7] *Deponiesanierungen des Landkreises Löbau-Zittau*. – (seit 01.08.2008 Teil des Landkreises Görlitz) im Zeitraum von 1993 bis 2009 (Stand 2009); Dokumentation; Verfasser: Siegfried Heydrich (AIZ Zittau GmbH) und Andreas Schabow (Ing.-Büro Jungmichel GmbH Zittau); Herausgeber: Landkreis Görlitz, SG Hoch- und Tiefbau; Zittau 2009

[8] ARNSTADT, T. ; BARTHOLOMÄUS, U. ; SCHOENHERR, J.: *Ergebnisse der Wirksamkeit verschiedener Abdeckschichten aus den Langzeitversuchen der Lysimeteranlage in Bautzen-Nadelwitz*. – Beiträge zum Karlsruher Deponieseminar am 16. und 17. Okt. 2019, S. 161 ff.; ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt; Karlsruhe Okt. 2019

Die Problematik von „Schwarzen Deponien“ im böhmischen Grenzgebiet.

Problematika „černých skládek“ v českém pohraničí

Danuše Hráská[1]

Kurzfassung

Abfälle stellen historisch eines der am häufigsten und am meisten verfolgten Produkte”der menschlichen Gesellschaft, weil Abfälle durch praktisch alle Einwohner produziert werden.

In der Vergangenheit wurden die Abfälle meisten durch eine dauerhafte Ablagerung an Stellen beseitigt, die aus wasserwirtschaftlicher Sicht abgesichert oder auch nicht abgesichert waren, d.h. die legal und illegal für diese Tätigkeiten sind. Abgesehen von der Gefahr eines direkten Kontaktes mit dem Abfall können Deponien (insbesondere die illegal betrieben Deponien) die Umwelt dann bedrohen, wenn eine Freisetzung von Schadstoffen in die Umgebung stattfindet.

Die Trends und Möglichkeiten der Beherrschung der illegalen Abfalldeponierung werden in der Präsentation vorgestellt.

Abstrakt

Odpady představují historicky jeden z nejčastějších a nejsledovanějších „produktů“ lidské společnosti, jež produkují prakticky všichni obyvatelé.

Nejčastějším způsobem odstranění bylo v minulosti jejich trvalé ukládání na místa, ať již vodohospodářsky zabezpečená či nezabezpečená tj. legální a nelegální pro tuto činnost. Pominouli se rizika přímého kontaktu s odpady, mohou skládky (zejména nelegálně provozované), dochází-li k migraci škodlivin do okolí, ohrožovat životní prostředí.

Trendy a možnosti řešení nelegálního ukládání odpadů popisuje následující prezentace.

1 Úvod – historie skládkování

V minulosti byly v ČR zaznamenány následující možnosti uložení odpadů, o to jak legální tak nelegální:

1. K datu 31.7.1996 bylo možno ještě ukládat odpady mj. na skládky, které byly provozovány na základě zvláštních podmínek. Tyto skládky neměly vyhovující technické zabezpečení, zejména proti průsakům výluhů do podloží. Protože bylo technicky velmi náročné uvádět všechny lokality do souladu s tehdejší platnou legislativou, byla většina starších skládek uzavřena, technicky zajištěna a zrekultivována. (dle zákona č. 238/1991 Sb., o odpadech byl jejich provoz omezen přechodnou lhůtou 5 let od nabytí zákona tj.do 30.6.1996).

2. Současně s těmito skládkami byly provozovány nové skládky, které již byly konstruovány podle technických norem a v souladu s legislativními požadavky.

[1]Česká inspekce životního prostředí, Oblastní inspektorát Liberec, Oddělení odpadového hospodářství, Třída 1. máje 858/26, 460 01 Liberec, danuse.hraska@cizp.cz

3. Vedle těchto skládek se v přírodě velmi často vyskytovaly nelegální tzv. černé skládky (Většinou byly zaváženy odpady do roklí a všeobecně do míst s nerovným terénem či opuštěných průmyslových a zemědělských areálů.).

2 Problematika černých skládek a možnosti řešení

S problematikou tzv. „černých“ (nepovolených) skládek se Česká republika potýká dosud, avšak již v menší míře.

Pojem černá skládka není legislativou odpadového hospodářství nijak definován, jedná se v podstatě o místo:

- které není k ukládání odpadů povoleno či určeno a tedy ani technicky (vodohospodářsky) zabezpečeno,
- ve většině případů není známa osoba, která je odpovědná za uložení odpadů na toto místo a často je velmi obtížné ji dohledat,
- není tedy ani možné stanovit, kdo by takovou nelegální skládku odstranil či uložit za takové jednání případnou sankci.

Současná právní úprava tj. zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech (v platném a účinném znění) tuto problematiku nijak neupravuje a neřeší na rozdíl od předchozího zákona č. 125/1997 Sb., o odpadech, který stanovil zodpovědnost za nelegální ukládání odpadů vlastníku nemovitosti. Pokud však tento prokázal příslušnému okresnímu úřadu, že učinil všechna opatření, aby zamezil vzniku černé skládky a dále prokázal, že skládku nezaložil, byla tato v případech, kdy již ohrožovala životní prostředí nebo dokonce už došlo k jeho prokázanému poškození zlikvidována na náklady okresního úřadu (nedostatek finančních prostředků, realizace z krizových fondů).

Dnes to jsou především obce, které tuto problematiku musí řešit a činit nápravná opatření směřující k odstranění černých skládek. V mnoha případech však nemají ve svém rozpočtu dostatek finančních prostředků pro tento účel.

I když obce nejsou ty, které černé skládky zapříčinily, ale mají pravomoci kontroly občanů, zejména fyzických osob nepodnikajících tj. osob, které se ve většině případů na vzniku těchto skládek podílejí.

Obce mohou k odstranění černých skládek využívat finanční prostředky z účelových fondů rozpočtu obce (např. poplatky dle zákona o odpadech za uložení odpadů na skládku, která se nachází na jejím katastrálním území, poplatky provozovatelů malých zdrojů znečištění ovzduší, odvody za odnětí půdy ze zemědělského půdního fondu (ZPF) a dále z pokut uložených ČIŽP za porušení předpisů k ochraně životního prostředí). Obce mohou také k likvidaci černých skládek využívat dotací ze SFŽP.

V současné době je praxe taková, že:

- Pokud je černá skládka založena podnikajícím subjektem – kontrolní pravomoci má dle zákona o odpadech ČIŽP, KÚ a obec. K uložení sankce má však kompetence v plném rozsahu ČIŽP a omezeně obecní úřad.
- Jestliže skládka byla zapříčiněna činností fyzické nepodnikající osoby nebo neznámou osobou, potom kontrolní pravomoc ČIŽP je vyloučena, neboť ČIŽP nemá ze zákona o odpadech kompetence ke kontrole fyzických osob. V těchto případech může kontrolu provést obec.

Možnost sankcionování původce černé skládky dává obci zákon o obcích respektive vyhláška o čistotě a pořádku v obcích a přestupkový zákon.

Ve většině případů jsou tedy podněty zaslané ČIŽP týkající se černých skládek postoupeny k řešení na obecní úřad.



Obrázek 1: Jablonec nad Nisou - 2011.

Teoreticky existují možnosti k řešení této problematiky také dle ostatních speciálních zákonů k ochraně životního prostředí např.:

- dle zákona o vodách,
- dle zákona o ochraně přírody a krajiny,
- dle zákona o ochraně zemědělského půdního fondu,
- dle zákona o lesích.

2.1 Zákon o vodách

Nelegální uložení odpadů (odpad –závadná látka dle zákona o vodách) může mít za následek ohrožení jakosti či zdravotní nezávadnosti povrchových nebo podzemních vod. Nápravu stavu má za povinnost provést osoba, která tento stav způsobila nebo pozdější nabyvatel pozemku. (většinou však je osoba a příčina ohrožení těžko dohledatelná a prokazatelná).

2.2 Zákon o ochraně přírody a krajiny

Rovněž dle zákona o ochraně přírody a krajiny má ten, kdo poškodil, zničil či nedovoleně změnil část přírody povinnost uvést ji do původního stavu, pokud je to možné a účelné. Ovšem i v těchto případech je velmi obtížné tuto osobu identifikovat.



Obrázek 2: Liberec - 2012.

2.3 Zákon o ochraně zemědělského půdního fondu

Zákon o ochraně zemědělského půdního fondu stanoví, že hospodařit na ZPF musí vlastníci nebo nájemci tak, aby neznečišťovali půdu škodlivými látkami ohrožujícími zdraví nebo život lidí a existenci živých organismů. I v těchto případech však mnohdy původce není vlastník či nájemce.

2.4 Zákon o lesích

Zákon o lesích ukládá vlastníku lesa provádět taková opatření, aby se předcházelo a zabránilo působení škodlivých činitelů na les. Škodlivým činitelem může být teoreticky i nelegálně založená skládka na lesním pozemku jako fyzikální či chemický faktor, způsobující poškození lesa. V těchto případech je však problém jaká opatření stanovit, aby byla realizovatelná (oplocení? , závora aj.).

2.5 Stavební zákon

Často se v praxi setkáváme s černými skládkami, jejichž podstatnou část tvoří stavební odpady (např. nepovolené terénní úpravy). Tyto případy teoreticky mohou řešit také stavební úřady, které mohou za delikty uložit jak pokutu, tak mohou nařídit odstranění nepovolené skládky, neboť dle stavebního zákona je stavební úřad oprávněn nařídit odstranění nelegálně provedených staveb či terénních úprav. Pokud by se jednalo o nepovolené terénní úpravy, náklady na jejich odstranění by nesl vlastník pozemku, s tím, že by se na původci černé skládky mohl následně domáhat úhrady vynaložených nákladů občansko-právní cestou.

3 Závěr

Problematiku černých skládek lze řešit i jinou cestou než jejich likvidací, a to preventivně zamezit jejich vzniku. Vzhledem ke znalosti místních poměrů a potřeb svých občanů má největší vliv a předpoklady nejen pro preventivní činnost právě obec a její stavební úřady.

Jednoznačné a možné řešení této problematiky se bude odvíjet od nové zákonné úpravy nakládání s odpady, tj. zda a jak stanoví řešení tohoto problému zcela nový zákon o odpadech.

Über Langzeitversuche auf der Lysimeteranlage in Bautzen-Nadelwitz und auf Testfeldern der Spülhalde Hammerberg bei Freiberg

K dlouhodobým zkouškám lysimetrů na lokalitě Budyšín-Nadelwitz a na testovacích polích usazovací nádrže Hammerberg u Freibergu

Tobias Arnstadt[1]; Patrick Oettel[2]; Uwe Barholomäus[3]; Sabine Meißner[4]; Jürgen I. Schoenherr[5]

Kurzfassung

Das Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN) an der Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG) betreibt bzw. begleitet zwei Langzeitversuche zur Untersuchung des Durchsickerungsverhalten von Abdeckschichten.

Die erste Anlage wurde im Jahr 2007 am Standort der Deponie Bautzen-Nadelwitz in Betrieb genommen. Mit Hilfe von nichtwägbaren Lysimetern, wurde untersucht wie sich bindige bzw. gemischtkörnige Böden unterschiedlicher Mächtigkeit für eine Wasserhaushaltsschicht im Deponiebau eignen und ob der Sickerwasseranfall den Vorgaben des BQS entspricht. Für die Anlage liegen Sickerwasserdaten und begleitende Wasserhaushaltsparameter von 2007 bis 2019 in unterschiedlicher Qualität vor.

Eine zweite Anlage wurde im Jahr 2018, im Rahmen des Projektes VODAMIN II, in Freiberg etabliert. Es wird geprüft, ob sich Baggergut/Sedimente aus Talsperren und Vorbecken als alternatives Abdeckmaterial in der Altlastensanierung eignen. Die Spülhalde Hammerberg bei Freiberg, eine Altlast und Bergbauhinterlassenschaft mit hohen Schwermetallgehalten, wird durch definiertes Abdecken mit Erdstoffen saniert, um den Eintrag der Schwermetalle in die Freiberger Mulde zu reduzieren. Im Versuch wird geprüft, ob durch das Einarbeiten von Baggergut eine Sickerwasserreduktion erreicht werden kann. Dazu wurden drei Testfelder mit Flachlysimetern angelegt.

Im Vortrag werden die Einschwingphasen beider Standorte miteinander verglichen und das hydrologische Jahr 2019 wird betrachtet.

Abstrakt

Ústav pro vývoj technologií, výzkum rašeliny a přírodních materiálů (Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN)) při Vysoké škole v Žitavě a Zhořelci (Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG)) provozuje, případně sleduje dva dlouhodobé pokusy v oblasti průzkumu infiltrace v zakrývacích vrstvách.

První zařízení bylo zprovozněno v roce 2007 v lokalitě Budyšín - Nadelwitz. Za pomoci lysimetrů bez možnosti vážení byla sledována vhodnost vazných půd, případně půd se smíšenou zrnitostí o nejrůznějších mocnostech pro jejich využití při vytváření hydrologické vrstvy skládek a zda objem výluhů odpovídá hodnotám, předepsaných ve Spolkových standardech kvality(BQS). Pro toto zařízení jsou v různé kvalitě k dispozici data k infiltraci a doprovodné hydrologické parametry z let 2007 až 2019.

[1]Hochschule Zittau/Görlitz, Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN); Theodor-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; E-mail: tobias.arnstadt@hszg.de

[2]SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, Halsbrücker Straße 34, D-09599 Freiberg; E-mail: patrick.oettel@saxonia-freiberg.de

[3]Hochschule Zittau-Görlitz, Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN); Theodor-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; u.bartholomaeus@hszg.de

[4]SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, Halsbrücker Straße 34, D-09599 Freiberg; sabine.meissner@saxonia-freiberg.de

[5]Hochschule Zittau-Görlitz, Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN); Theodor-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; j.schoenherr@hszg.de

Druhé zařízení bylo instalováno v roce 2018 v rámci projektu VODAMIN II ve Freibergu. Zde je ověřována vhodnost vytěžené zeminy / sedimentů z údolních nádrží a předhrázek jako alternativního zakrývacího materiálu při sanaci reliktních zátěží. Usazovací nádrž Hammerberg u Freibergu představuje reliktní zátěž a pozůstatek hornické činnosti s vysokým obsahem těžkých kovů. Tato nádrž je sanována prostřednictvím definovaného zakrytí zemními hmotami s cílem snížení emisí těžkých kovů do vodního toku Freiberská mulda (Freiberger Mulde). V rámci testování bylo ověřováno, zde je možno zapracováním vytěžené zeminy dosáhnout snížení množství průsaku. Pro tyto účely byly založeny testovací plochy s plochými lysimetry.

V přednášce budou navzájem porovnávány přechodové stavy obou lokalit, sledován je hydrologický rok 2019.

1 Einleitung

Seit 1998 befassen sich das Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN) und das MVSR-Forschungslabor an der Hochschule Zittau/Görlitz mit dem Bodenwasserhaushalt im Zusammenhang mit Abdichtungs- und Rekultivierungsschichten auf Deponien.

In Zusammenarbeit mit dem Regionalen Abfallverband Oberlausitz-Niederschlesien (RAVON) wurden anfangs Testfelder auf der Deponie Bautzen-Nadelwitz betrieben. Diese Anlagen mussten 2007 abgebaut werden, weil sie der endgültigen Sicherung der Deponie im Wege waren. Ergebnisse dieser Testfelder wurden unter anderem 2005 auf der (Ersten) Leipziger Deponiefachtagung und weiteren Tagungen vorgestellt. [1, 2].

Ab Februar 2007 wurde in einem neuen Projekt eine Lysimeteranlage an einem anderen Standort auf der gleichen Deponie Bautzen-Nadelwitz aufgebaut. Die ersten Messungen erfolgten ab Mitte Juni 2007. Die komplette Messeinrichtung ging im September 2007 in Betrieb. Das Projekt wurde 2010 beendet. Ergebnis waren ein Abschlussbericht [3] und eine Dissertation [4]. In den darauffolgenden Jahren wurde die Anlage weiter betrieben und die Daten weiterhin erfasst. Es bestehen jedoch größere Datenlücken, da die zunehmend ausgefallenen Messgeräte nicht immer zeitnah ersetzt werden konnten.

Im Jahr 2018 wurde in Zusammenarbeit mit der SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH ein weiterer Versuch aufgebaut. Mithilfe von Flachlysimetern wird geprüft, ob sich durch die Verwendung von Baggergut/Sedimenten in der Altlastensanierung, der Sickerwasseranfall unter der Abdeckschicht reduzieren lässt [5, 6].

Nach dem ersten Jahr des Betriebs wird eine Bilanz gezogen und der Wasserhaushalt näher beurteilt. Zur Einschätzung der Ergebnisse wird ein Vergleich zum ersten Betriebsjahr der Lysimeteranlage in Bautzen-Nadelwitz und zum hydrologischen Jahr 2019 angestellt.

2 Beschreibungen der Versuchsanlagen

2.1 Lysimeteranlage am Standort Bautzen-Nadelwitz

Die Lysimeteranlage am Standort Bautzen-Nadelwitz wurde im Rahmen eines BMBF geförderten Projektes im Jahr 2007 errichtet. Ziel war es, ein einfaches praktikables Instrument zur Bodenauswahl und Dimensionierung einer Wasserhaushaltsschicht für eine Deponieabdichtung zu entwickeln [3, 4]. Nach der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV 2009 [7]) besteht die Möglichkeit, die Rekultivierungsschicht einer Deponieabdeckung als Wasserhaushaltsschicht auszuführen. Genügt diese Schicht den Vorgaben der DepV, kann dadurch für eine Deponie der Klasse I die Abdichtungskomponente und für eine Deponie der Klasse II die zweite Abdichtungskomponente ersetzt werden. Entscheidend für eine funktionierende Wasserhaushaltsschicht ist, dass die Durchsickerung spätestens 5 Jahre nach Errichtung höchstens 10 % des langjährigen Mittels des Niederschlags beträgt und 60 mm pro Jahr nicht überschreitet.

Um den Einfluss verschiedener Bodenarten und unterschiedlicher Mächtigkeiten einer Wasserhaushaltsschicht näher zu untersuchen, wurde eine Lysimeteranlage errichtet. Die gesamte Anlage befindet sich am Rande einer Hausmüll- / Siedlungsabfalldeponie in Bautzen-Nadelwitz,

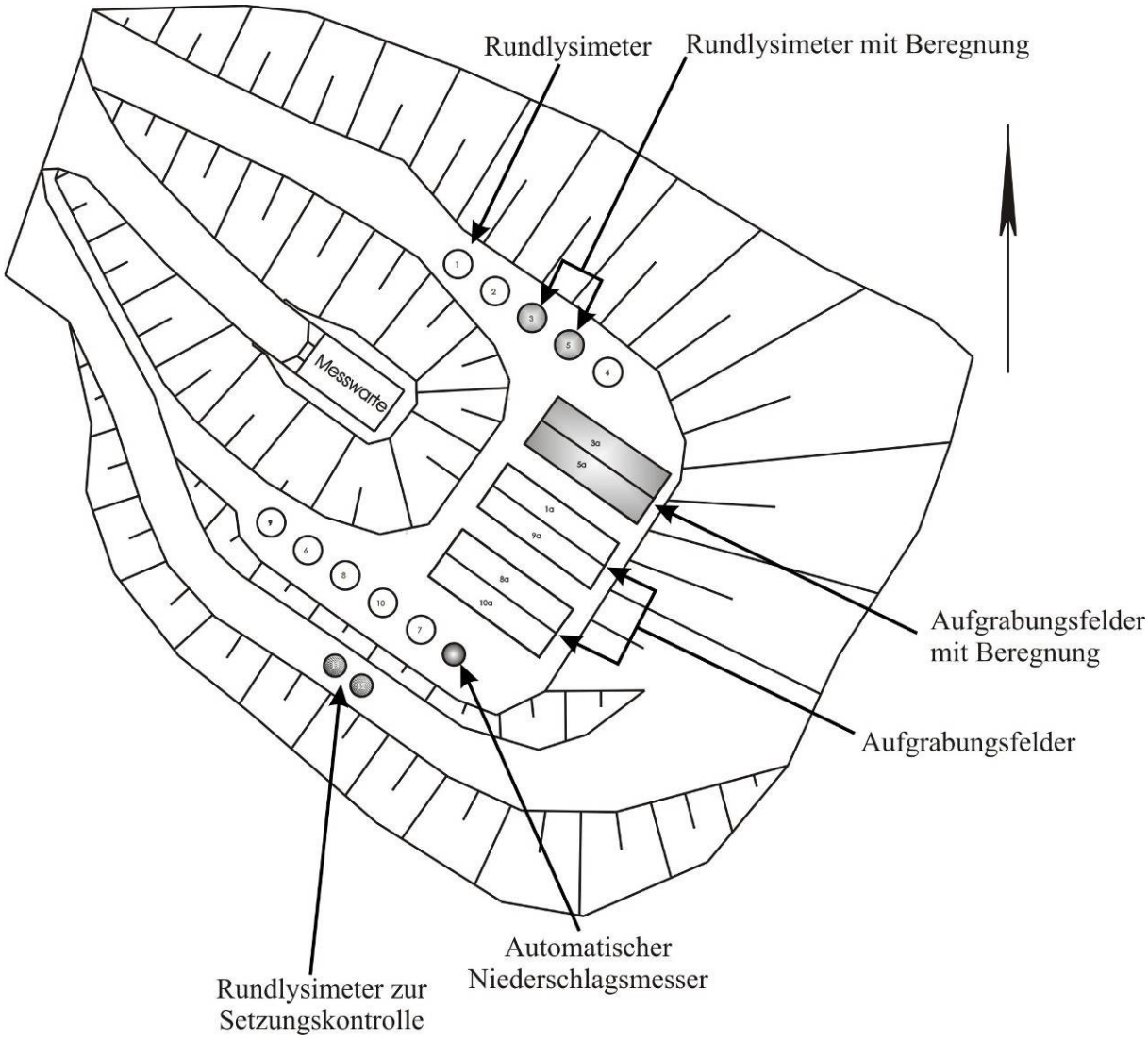


Abbildung 1: Schema der Lysimeteranlage.

die vom Regionalen Abfallverband Oberlausitz-Niederschlesien (RAVON) betrieben wird. Es besteht jedoch kein funktionaler Zusammenhang zwischen Deponie und Lysimeteranlage. Die 10 nichtwägbaren Rundlysimeter und 6 Ausgrabungsfeldern sind hufeisenförmig um eine Messwarte angeordnet (Abbildung 1). Auf eine Betrachtung der Ausgrabungsfelder wird im Weiteren verzichtet.

Grundlegend werden in der Lysimeteranlage zwei Bodenarten als Unterboden miteinander verglichen. Als bindiger Boden wurde Lößlehm verwendet, der nach DIN 18196 als leicht plastischer Ton einzuordnen ist und je nach Verdichtungsgrad k_f-Werte von $2 \cdot 10^{-8}$ bzw. $3 \cdot 10^{-8}$ aufweist. Seine nutzbare Feldkapazität liegt bei 23 % und die Luftkapazität zwischen 7 – 8 % (Tabelle 1). Der eingesetzte gemischtkörnige Boden ist nach DIN 18196 ein fein kiesiger, leicht schluffiger Sand mit k_f-Werten von $6 \cdot 10^{-7}$ bzw. $9 \cdot 10^{-6}$ $m \cdot s^{-1}$, einer nutzbaren Feldkapazität von 18 -20 % und einer Luftkapazität von 12 %.

Jeweils fünf Lysimeter sind mit einer dieser Bodenarten befüllt und es wird deren Einbaumächtigkeit und der Verdichtungsgrad variiert (Abbildung 2). Der prinzipielle Aufbau eines Lysimeters von oben nach unten ist wie folgt:

- 20 cm Oberboden (ein stark schluffiger Sand)
- 40 – 240 cm Unterboden mit einem Verdichtungsgrad von 92 %,

- 40 cm Unterboden mit einem Verdichtungsgrad von 100 %; mit Ausnahme der Lysimeter 8 und 10, bei denen diese Schicht fehlt
- 50 cm Drainagematerial

Tabelle 1: Kennwerte der Böden der Lysimeteranlage Bautzen-Nadelwitz.

Boden	Bodenklasse nach DIN 18196	D_{Pr} [%]	ρ [g·cm^{-3}]	W [%]	k_f-Wert [m s^{-1}]	FK [%]	nFK [%]	pWP [%]	LK [%]
Oberboden	TL, leicht plastischer Ton	62	1,225	<= 8,5	$9{,}4 \cdot 10^{-6}$	30	23	7	8
Gemischtkörniger Boden	fein kiesiger, leicht schluffiger Sand	92	1,826	~ 5	$9 \cdot 10^{-6}$	18	13	5	12
		100	1,985	~ 5	$6 \cdot 10^{-7}$	20	14	6	12
Bindiger Boden	TL, leicht plastischer Ton	92	1,653	<=12	$3 \cdot 10^{-8}$	38	23	15	8
		100	1,797	<=12	$2 \cdot 10^{-8}$	39	23	16	7

D_{Pr}...Verdichtungsgrad, ρ ... Trockendichte, w...Einbauwassergehalt, FK... Feldkapazität, nFK... nutzbare Feldkapazität, pWP... permanenter Welkepunkt, LK...Luftkapazität

Die konkrete Befüllung der einzelnen Lysimeter kann der Abbildung 2 entnommen werden, wobei auf die Darstellung der unteren 50 cm Drainageschicht verzichtet wurde. Die zwei Meter mächtigen Lysimeter wurden je Bodenart jeweils doppelt ausgeführt. Mittels einer Beregnungsanlage wurde auf dem Lysimeter 3 und 4 ein erhöhtes Niederschlagsaufkommen in den ersten Jahren simuliert. Ende des Jahres 2011 wurde die zusätzliche Beregnung eingestellt. Detailliert sind die Bodenauswahl und der Einbau im Abschlussbericht [3] sowie in der Dissertation [4] beschrieben.

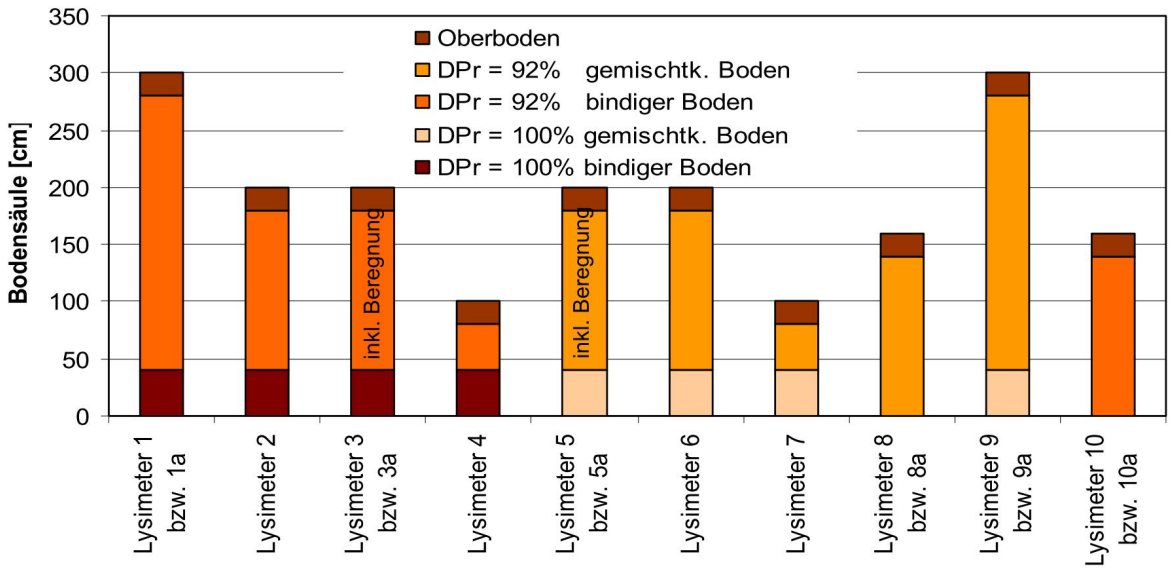


Abbildung 2: Aufbau der Bodensäulen in den Lysimetern (ohne untere Drainageschicht).

Die Lysimeter sind aus Stahlbetonschachtringen (DIN 4035, wasserundurchlässig, verformungsstabil) mit einer lichten Weite von 1,5 m aufgebaut und variieren in der lichten Tie-

fe zwischen 1,5 m und 3,5 m. Die Querschnittsfläche umfasst somit ca. 1,77 m^2. Der untere Abschluss der Rundlysimeter ist mit einem GU-Schachtboden (mit einbetonierter GFK-Schachtschale und einem 10 % geneigtem Gerinne zu einem Tiefpunkt am Rand) realisiert. An diesem Tiefpunkt wird das anfallende Sickerwasser über ein Kunststoffrohrstück aus dem Lysimeter herausgeführt und über Sickerwasserleitungen in die Messwarte abgeleitet und dort mittels Kippzählern mit Magnetschaltern erfasst. Die Magnetschalter wurden im Herbst des Jahres 2016 erneuert. Außerdem wurden ausgewählte Lysimeter im Jahr 2007 mit einer automatischen Erfassung der Bodenfeuchte, der Saugspannung sowie der Bodentemperatur ausgerüstet. Durch ein Ermüden der Sensoren fehlen nach und nach Daten. Seit dem Jahr 2016 werden schrittweise die Bodenfeuchtesensoren ausgetauscht, sodass wieder vollständigere Aufzeichnungen vorliegen.

Für eine vollständige wasserhaushaltliche Charakterisierung des Standortes wird der Niederschlag registriert. Zunächst erfolgte die Niederschlagserfassung mit einem ebenerdig installierten beheizbaren Niederschlagsaufnehmer mit integrierter Kippwaage. Im Jahr 2017 wurde dieser durch einen Niederschlagsaufnehmer in ein Meter Höhe ersetzt. Die Niederschlagsaufzeichnung ist jedoch generell sehr lückenhaft, sodass für die Betrachtung längerer Zeiträume auf die Niederschlagsdaten der 3 km entfernten DWD-Wetterstation Kubschütz zurückgegriffen werden muss.

2.2 Testfelder Spülhalde Hammerberg

Im Rahmen des Projektes VODAMIN II errichtete die SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, Freiberg, in Zusammenarbeit mit dem iTN im Jahr 2018 einen Versuchsstand mit Testfeldern auf der Spülhalde Hammerberg. Das Ziel des Vorhabens ist die Untersuchung, ob im Rahmen einer Altlastensanierung Baggergut in der Abdeckung eingesetzt werden kann, um die Sickerwassermenge zu reduzieren [5, 6]. Baggergut fällt u.a. bei der Beräumung von Talsperren und deren Vorbecken an [8] und stellt die Betreiber vor ernstzunehmende Probleme, da häufig Verwertungsmöglichkeiten fehlen [9]. Hiermit könnte ein neuer Verwertungsweg aufgezeigt werden.

Am Standort des Hammerberges betreibt SAXONIA eine Erdstoffannahme, über die die Sanierung der Altlast realisiert wird. Die Spülhalde Hammerberg gehört zu einem größeren Komplex an Bergbauhinterlassenschaften, dem Davidschachtkomplex. Von 1964 bis 1969 wurden auf ca. 5 ha insgesamt 330.000 m^3 Spülgut aus der Erzaufbereitung abgelagert, was u.a. die sulfidischen Minerale Galenit (PbS), Sphalerit (ZnS) und Pyrit (FeS_2) in konzentrierter Form sowie Flotationsreagenzien enthält [10, 11]. Im Rahmen der Sanierung soll die Durchsickerung durch das Aufbringen einer Abdeckung um mindestens 50 % reduziert werden. Dadurch soll letztlich auch der Schwermetalleintrag in die Freiberger Mulde verringert werden.

In der Ausführungsplanung [12] ist das Vorgehen festgeschrieben und wurde ebenfalls für die Testfelder angewendet. Nach der Profilierung des Geländes ist eine Dämmschicht von 1 m Mächtigkeit aufzubringen (Abbildung 3). Diese sogenannte Dämmschicht muss einen k_f-Wert $< 10^{-6} m \cdot s^{-1}$ aufweisen. Über der Dämmschicht wird eine ein Meter mächtige Abdeckschicht aufgebaut. Sie besteht aus einer 0,8 m mächtigen Speicherschicht (Abdeckschicht II) und dem 0,2 m mächtigen Oberboden (Abdeckschicht I).

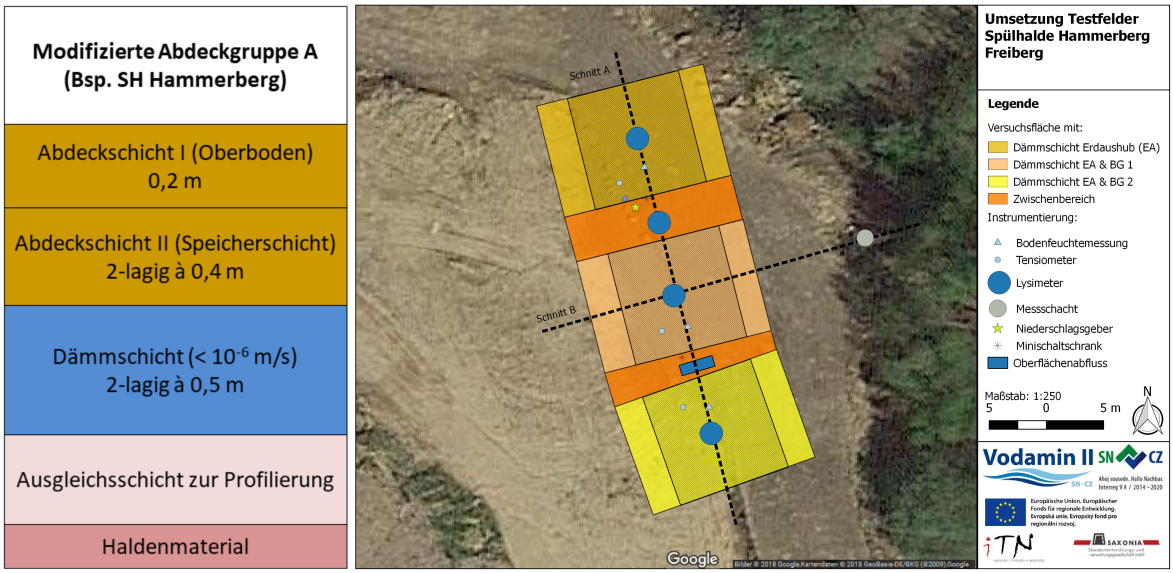


Abbildung 3: Links: vorgeschriebene Schichtfolge für die Abdeckung. Rechts: Anordnung der Testfelder.

Im dargestellten Versuch wurde das Material für die Dämmschicht variiert, um durch den Einsatz von Baggergut eine Reduzierung der Durchlässigkeit zu erzielen. Konkret wurden drei Testfelder aufgebaut. Ein Feld enthält als Referenz eine Dämmschicht, die aus dem reinen Freiberger Erdaushub besteht. Die Dämmschichten der beiden anderen Felder enthalten ein Materialgemisch aus je einem Volumenanteil Erdaushub und Baggergut (Abbildung 3). Das Baggergut entstammt zwei Vorbecken von Talsperren im Erzgebirge und wurde von der Landestalsperrenverwaltung Sachsen bereitgestellt. Da sich in Vorversuchen gezeigt hatte, dass reines Baggergut ungünstige Verdichtungs- und Einbaueigenschaften aufweist, wurde auf die Kombination mit dem Freiberger Erdhaushub gesetzt [5, 6]. Die Mischungen wurden im großtechnischen Maßstab durch das mehrmalige Umsetzen von Haufwerken hergestellt. Der Einbau erfolgte mittels einer Raupe in mehreren Lagen, die anschließend durch mehrmaliges Überfahren mit dieser verdichtet wurden.

Für die aufgebauten Dämmschichten sind beim Einbau mittlere Verdichtungsgrade zwischen 93 und 96 % der Proctordichte erzielt worden (Tabelle 2). Nach DIN 18196 ist der reine Freiberger Erdaushub als Kies-Schluff-Gemisch und in Kombination mit Baggergut als Sand-Schluff-Gemisch einzuordnen. Es zeigt sich, dass der reine Erdaushub aufgrund seines geringeren Feinkornanteils eine im Vergleich zu den Gemischen höhere Durchlässigkeit aufweist. Die k_f-Werte der Gemische sind mit $2,7 \cdot 10^{-8}$ und $8 \cdot 10^{-8}$ $m \cdot s^{-1}$ eine Größenordnung kleiner (Tabelle 2). Die ermittelten k_f-Werte erfüllen die für die Sanierung der Spülhalde Hammerberg vorgegebenen Anforderungen der Dämmschicht von einem k_f-Wert $< 10^{-6}$ $m \cdot s^{-1}$. Ebenfalls ist erkennbar, dass in der nur auf 84 % Proctordichte verdichteten Abdeckschicht die Wasserleitfähigkeit ansteigt.

Tabelle 2: Kennwerte der Böden auf den Testfeldern der Spülhalde Hammerberg.

Bezeichnung	Bodenklasse nach DIN 18196	D_{Pr} [%]	ρ [$g \cdot cm^{-3}$]	W [%]	k_f-Wert [$m \cdot s^{-1}$]	FK [%]	nFK [%]	pWP [%]	LK [%]
Abdeckzone	GU, Kies-Schluff-Gemische	84	1,620	4,7	$3{,}6 \cdot 10^{-7}$				
Dämmschicht Testfeld 1 Freiberger Erdaushub mit Baggergut 1	SU*, Sand-Schluff-Gemisch	93	1,709	10,8	$8{,}0 \cdot 10^{-8}$	29	20	9	9
Dämmschicht Testfeld 2 Freiberger Erdaushub mit Baggergut 2	SU*, Sand-Schluff-Gemisch	94	1,657	19,1	$2{,}7 \cdot 10^{-8}$	29	19	10	11
Dämmschicht Testfeld 3 Freiberger Erdaushub	GU, Kies-Schluff-Gemische	96	1,875	8,6	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$	27	19	8	7

D_{Pr}...Verdichtungsgrad, ρ ... Trockendichte, w...Einbauwassergehalt, FK... Feldkapazität, nFK... nutzbare Feldkapazität, pWP... permanenter Welkepunkt, LK...Luftkapazität

Die Größe der Testflächen beträgt 10 m x 10 m, wobei sich in Längsrichtung davor und danach jeweils 2,5 Meter des gleichen Aufbaus anschließen, um Randerscheinungen zu vermeiden. Zwischen den Testfeldern sind Zwischenbereiche von 4 bzw. 2 m Breite angelegt, die Raum für zusätzliche Messungen bieten, die sich nicht auf die Dämmschicht beziehen. Die Testfelder haben eine Hangneigung von 5 % in nordöstlicher Richtung (Abbildung 3).

Die Durchsickerung unterhalb der Abdeckschicht wird durch spezielle Betonflachlysimeter mit einer Auffangfläche von 3 m^2 und einem Durchmesser von 2 m erfasst. Im Vergleich zu herkömmlichen Lysimetern bieten sie den Vorteil, dass seitliche Abflüsse, wie sie in einer Abdeckschicht mit Neigung stattfinden, erhalten bleiben und somit ein annähernd realistisches Bild der Durchsickerung abgeben. Das gefasste Sickerwasser wird in einem Messschacht am Rand der Versuchsfelder mittels Kippzähler quantifiziert. Je Testfeld ist ein Betonflachlysimeter zentral unterhalb der Dämmschicht angeordnet. Zusätzlich ist ein Lysimeter unterhalb der Abdeckschicht II angelegt worden. Der Niederschlag auf der Halde wird mit einem elektronischen Messwertgeber ermittelt. Der Oberflächenabfluss wird mit Hilfe eines rechteckigen Metallrahmens (3 m^2) gefasst und im Messschacht mittels eines Kippzählers registriert. Weiter wird in verschiedenen Tiefen eines jeden Testfeldes der volumetrische Wassergehalt mittels TDR-Sonden gemessen und die Saugspannung oberflächennah (0,40 m) mit einem Tensiomark-Sensors sowie in der Tiefe von 1,50 m mit Tensiometern erfasst.

2.3 Zusatzversuch Spülhalde Hammerberg

Ergänzend wurde ein weiter Versuch eingerichtet, der sich nur auf das Material der Dämmschichten konzentriert. Dafür wurden drei separate Versuchskästen (B: 80 cm; H: 108 cm; T: 122 cm) mit dem identischen Material der Dämmschichten auf den Testfeldern befüllt (Abbildung 4). Am Boden der Kästen befindet sich eine Drainageschicht zur Ableitung von Sickerwasser. Der Boden wurde mehrlagig eingebaut und manuell verdichtet. Jede Bodenschicht weist eine finale Mächtigkeit von einem Meter auf. Die Kisten wurden so aufgestellt, dass sich eine 5-%ige Neigung der Oberfläche ergibt. Der Oberflächenabfluss und das Sickerwasser werden abgeleitet und in Kanistern erfasst. Wöchentlich wird das angefallene Volumen notiert. Zentral im Bodenkörper kann mittels einer Profilsonde (PR 2 Delta-T) der Wassergehalt in mehreren Tiefen manuell gemessen werden.



Abbildung 4: Zusatzversuche zur wasserhaushaltilchen Charakterisierung der Dämmschicht.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Einschwingverhalten der Lysimeteranlagen

Die Befüllung der Lysimeter in Bautzen-Nadelwitz wurde zwischen Anfang bis Mitte Juni 2007 abgeschlossen. In diesem Zusammenhang sollen die beiden zwei Meter mächtigen Lysimeter ohne Beregnung, die in Bezug auf die Mächtigkeit mit den Testfeldern Freiberg vergleichbar sind, betrachtet werden. Für das Lysimeter 6 mit gemischtkörnigen Boden wurde bereits ab dem 14.09.2007 der erste mehrtägige Sickerwasseranfall registriert. Bis zu diesem Zeitpunkt beträgt die Niederschlagssumme ca. 200 mm. Deutlich verzögert, am 21.04.2008 konnte das erste Sickerwasser für das Lysimeter 2 mit bindigen Boden verzeichnet werden. Der bis dahin gefallene Niederschlag beläuft sich auf ca. 610 mm.

Es wird deutlich, dass für einen bindigen Boden mit k_f-Werten zwischen $2 \cdot 10^{-8} - 3 \cdot 10^{-8}$ $m \cdot s^{-1}$ ein deutlich längeres Einschwingen des Systems erforderlich ist, als für gemischtkörnige Böden mit k_f-Werten $6 \cdot 10^{-7} - 9 \cdot 10^{-6}$ $m \cdot s^{-1}$.

Für die Testfelder auf der Spülhalde Hammerberg bewegen sich die k_f-Werten der Dämmschicht im Bereich $2,7 \cdot 10^{-8} - 3,6 \cdot 10^{-7}$ $m \cdot s^{-1}$ (Tabelle 2). Somit sind diese Böden, bezüglich der Wasserdurchlässigkeit, zwischen dem gemischtkörnigen und bindigen Boden in Nadelwitz einzuordnen, wobei die Dämmschicht näher am bindigen Boden liegt. Somit wäre nach ca. einem dreiviertel Jahr bzw. 610 mm Niederschlag Sickerwasser zu erwarten.

Seit der Fertigstellung der Testfelder Mitte Oktober 2018 konnte jedoch noch kein nennenswerter Sickerwasseranfall verzeichnet werden. Unter den Dämmschichten wurden bisher weniger als 2 mm Sickerwasser registriert. Ob es sich dabei tatsächlich um Sickerwasser handelt, lässt sich erst nach einer längeren Beobachtung feststellen. Es könnte sich auch um Restwasser handeln, was von der Spülung der Drainageschicht während des Einbaus stammt.

Bis zum 07.10.2019 wurde auf den Testfeldern ein Niederschlag in Summe von 772 mm registriert. Subtrahiert man den Oberflächenabfluss von 146 mm erhält man 626 mm Niederschlag, der zur Sickerwasserbildung beitragen könnte. Folglich würde man im Vergleich zu Bautzen-Nadelwitz inzwischen einen Sickerwasseranfall erwarten. Jedoch können auf den Testfeldern auch laterale Abflüsse z.B. auf der Dämmschicht stattfinden, die nicht registriert werden können. Zieht man in Betracht, dass die bisherige potentielle Evapotranspiration (Blaney-Criddle [13]) in Freiberg mit 712 mm (23.10.2018 – 07.10.2019) im Vergleich zur Einschwingphase in Bautzen-Nadelwitz mit 577 mm (04.06.2007 – 21.04.2008) deutlich höher liegt, ist es plausibel, dass bisher kein Sickerwasser registriert wurde.

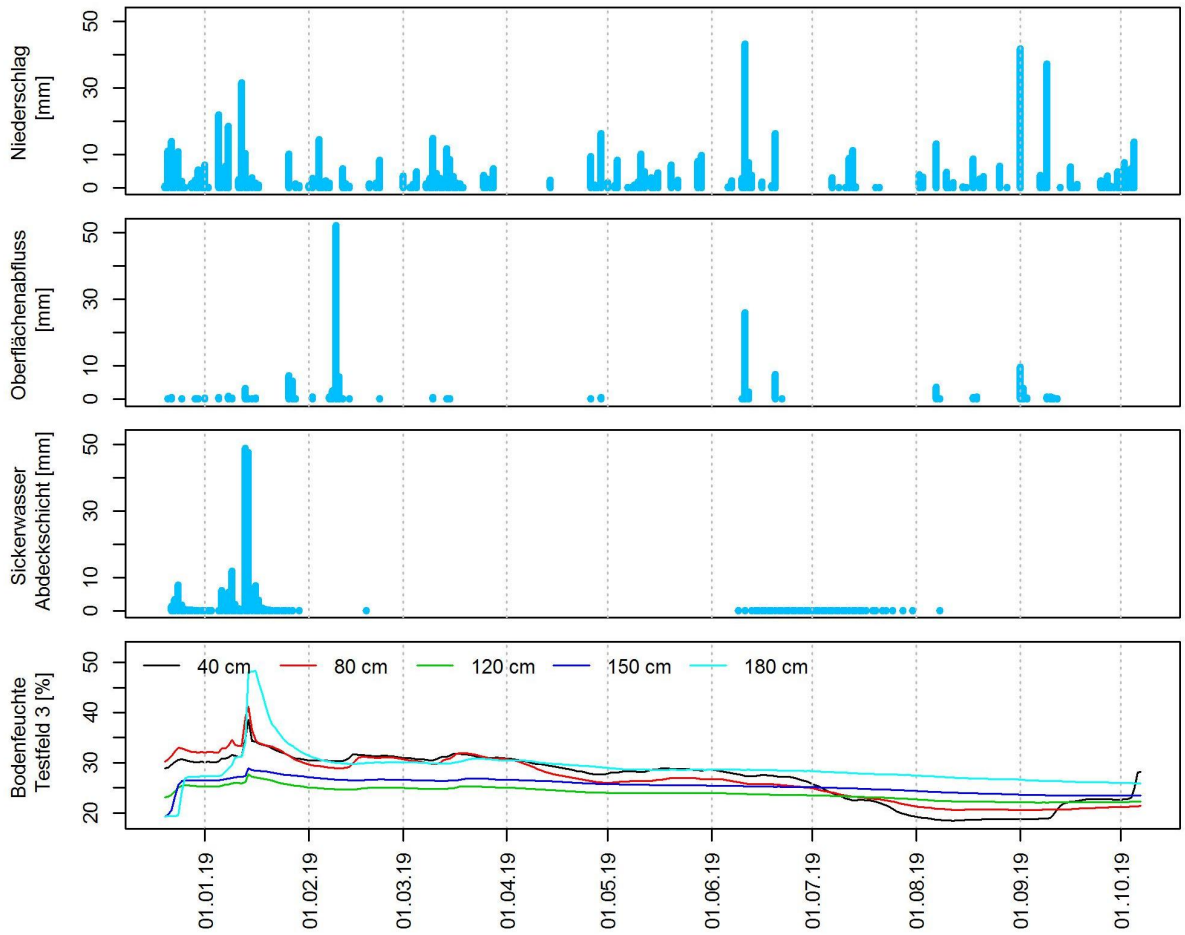


Abbildung 5: Hydrologische Kenngrößen für das hydrologische Jahr 2019 auf den Testfedern der Spülhalde Hammerberg Freiberg.

3.2 Hydrologisches Jahr 2019 auf den Testfeldern Spülhalde Hammerberg

Die Testfelder wurden konzeptionell und bautechnisch bis Mitte Oktober 2018 fertig gestellt. Ab dem 1. November 2018 werden die Volumina des anfallenden Oberflächenabflusses und des Sickerwassers erfasst, zunächst nur wöchentlich und durch Auslitern. Seit dem 20.12.2018 werden die Volumina automatisch im 10-minütigen Rhythmus von den Kippzählern registriert. Aufgrund der geringen Wassergehalte zum Zeitpunkt des Einbaus (Tabelle 2) ist eine Durchfeuchtung der Erdschichten nötig bis Sickerwasser austreten kann. Unterhalb der Abdeckschicht konnte der erste deutliche Sickerwasseraustritt bereits am 22.12.2018 registriert werden (Abbildung 5). Unter den Dämmschichten wurden bisher weniger als 2 mm Sickerwasser registriert.

Die Bodenfeuchte in den Testfeldern reagiert nur sehr gedämpft auf die Niederschlagsereignisse (Abbildung 5). Bis in eine Tiefe von 80 cm lässt sich eine gewisse Reaktion feststellen. Nach der Anfeuchtung aller Schichten im Dezember 2018 ist ein Feuchteanstieg in den tieferliegenden Schichten lediglich um den 12. Januar 2019 erkennbar. Der drastische Feuchtesprung in diesem Zusammenhang in 180 cm Tiefe lässt sich bis jetzt nicht einordnen. Danach ist tendenziell eine Abnahme der Feuchte in allen Schichten zu verzeichnen. Innerhalb der Abdeckschicht (40 und 80 cm Tiefe) sinkt der Wassergehalt in den Monaten Juli bis Anfang August deutlich. Erst Mitte September zeichnet sich für die Tiefe von 40 cm eine gewisse Anfeuchtung ab.

Trotz der Hangneigung von 5 % kann der Niederschlag gut infiltriert werden und es kommt bei den meisten Niederschlagsereignissen nur zu einem minimalen Oberflächenabfluss, der

unterhalb von 10 % des gefallenen Niederschlags liegt. Lediglich wenn mehrere Niederschlagsereignisse vorrausgegangen sind, der Boden gefroren ist (z.B. am 26.01.2019) oder ein sehr intensiver Niederschlag fällt (z.B. am 11.06.2019 und 01.09.2019) erhöht sich der Oberflächenabfluss deutlich.

Besonders interessant ist die hydrologische Situation um den 12. Januar 2019. An diesem Tag werden 32 mm Niederschlag registriert. Dieser setzt sich wahrscheinlich aus zwei Komponenten zusammen. Ein Teil besteht aus getautem Schnee infolge des Temperaturanstieges, da der Niederschlagsgeber nicht beheizt ist. Zum anderen ist an diesem Tag tatsächlich eine beträchtliche Menge Niederschlag zu verzeichnen gewesen. An den beiden Folgetagen werden jeweils rund 50 mm Sickerwasser unterhalb der Abdeckschicht gemessen. Offensichtlich hat dieser starke Niederschlagsimpuls dazu geführt, dass Porenwasser früherer Niederschlagsereignisse mit ausgetragen wird. Alternativ könnte auch Wasser von der Seite her zugeflossen sein. Um eine definitive Aussage treffen zu können, ist eine längere Zeitreihe von Nöten, an der das Verhalten der Schichten studiert werden kann.

3.3 Hydrologisches Jahr 2019 des Zusatzversuches auf der Spülhalde Hammerberg

Für die Monate November – Dezember 2018 konnte kaum Sickerwasseranfall registriert werden (Abbildung 6). Mitte Januar kommt es zu einem plötzlichen Anstieg der Sickerwassersumme, was auf das oben beschriebene Ereignis um den 12. Januar 2019 zurückzuführen ist. Ab dem 25.03.2019 stellt sich für die beiden Kisten mit den Erdstoff-Baggergut-Gemischen eine Sickerwassersumme von 108 mm ein, die sich nicht weiter erhöht. Im Gegensatz dazu steigert sich die Sickerwassersumme der Kiste mit reinem Erdstoff weiter bis zum 03.06.2019 auf 98 mm. Die Differenz in der Summe zwischen den Kisten ist auf die unterschiedlichen Wassergehalte zu Versuchsbeginn zurückzuführen. Spätestens ab Februar kann man davon ausgehen, dass die anfänglichen Wassergehaltsunterschiede ausgeglichen sind. Folglich zeigt der kürzere Zeitraum, in dem Sickerwasser bei den Kisten mit dem Baggergut-Erdstoff-Gemisch austritt, dass die Einarbeitung von Baggergut die Durchsickerung im Vergleich zu reinem Erdstoff reduziert.

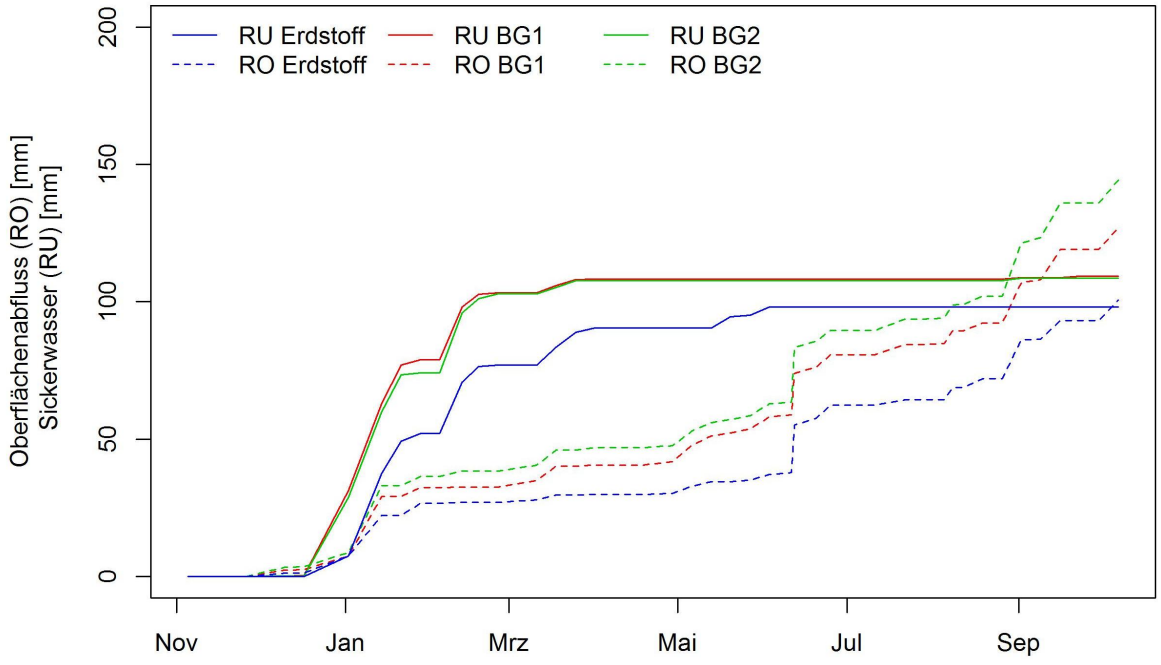


Abbildung 6: Kumulativer Sickerwasser- und Oberflächenabfluss des Zusatzversuches.

4 Fazit

Die Abdeckschichten, welche auf der Spülhalde Hammerberg untersucht werden, erfüllen bisher ihren Zweck, da keine nennenswerte Menge an Sickerwasser registriert werden konnte. Prinzipiell ist jedoch in Zukunft mit mehr Sickerwasser zu rechnen, wenn man auf Erfahrungen aus der Lysimeteranlage Bautzen-Nadelwitz zurückgreift. Überträgt man die Erkenntnisse der Einschwingphase aus Bautzen-Nadelwitz auf die Situation der Testfelder Spülhalde Hammerberg, so ist die vernachlässigbare Menge an Sickerwasser als plausibel zu bewerten.

Die Bewertung, ob Baggergut die Durchlässigkeit der Dämmschicht verringert, kann zum jetzigen Zeitpunkt anhand der Daten der Testfelder nicht getroffen werden. Dafür ist die Beobachtung eines weiteren hydrologischen Jahres erforderlich. Jedoch deutet sich im installierten Zusatzversuch an, dass die Sickerwassermenge durch die Einarbeitung von Baggergut reduziert wird.

5 Danksagung

Die Thematik wird im Rahmen des von der EU geförderten Projektes VODAMIN II im „Kooperationsprogramm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik 2014-2020“ bearbeitet.

Literaturverzeichnis

[1] MÜLLER, M. ; LIPPMANN-PIPKE, J. ; BAUMERT, R. ; SCHNEIDER, P. ; SCHOENHERR, J. I.: *Langzeitbetrachtungen zu ausgewählten Deponieoberflächenabdichtungen anhand realer Testfelddaten und modellgestützter Simulationsrechnungen. Leipziger Deponiefachtagung 2005 – Sicherung von Deponien und Altablagerungen*. 2005. – Tagungsband zur Leipziger Deponiefachtagung 2005; Leipzig

[2] MÜLLER, M. ; BAUMERT, R. ; SCHOENHERR, J. I. ; SÄNGER, F. ; OPITZ, B.: *Langzeitbewertung von Deponieoberflächensicherungsvarianten anhand von Aufgrabungsuntersuchungen*. 2006. – Tagungsband zur 2. Leipziger Deponiefachtagung 2006; Leipzig

[3] SCHOENHERR, J. I. ; ENGEL, J. ; MÜLLER, M. ; AL-AKEL, S. ; SÄNGER, F. ; SEIDLER, C. ; DIESTERHEFT, H. ; WERNER, H. ; KOSTELETZKY, G. ; KESSLER, J.: *Wasserhaushaltschichten zur Oberflächensicherung von Deponien und Altablagerungen*. 2011. – Abschlussbericht zu einem BMBF-Verbundforschungsprojekt, FKZ: 1744A06 und 1744B06, Zittau, Dresden

[4] MÜLLER, M.: *Wasserhaushaltsschichten als Bestandteil von Deponieoberflächenabdichtungssystemen*. 2011. – Dissertation am Internationalen Hochschulinstitut Zittau; Schriftenreihe des iTN, Heft 4; Zittau

[5] ARNSTADT, T. ; OETTEL, P. ; MEISSNER, S. ; SCHOENHERR, J. I.: *Baggergut als alternatives Abdeckmaterial für Bergbauhalden am Beispiel des Hammerbergs Freiberg*. 2018. – Sammelband zum 14. DEPONIEWORKSHOP Liberec – Zittau. pp. 247-258

[6] SAXONIA STANDORTENTWICKLUNGS- UND -VERWALTUNGSGESELLSCHAFT MBH (HRSG.): *Gutachten Alternative Abdecksysteme mit Versuchsplanung*. 2018. – Eigenverlag, Freiberg

[7] DEPV: *Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV)*. 2009. – Vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465)

[8] (HRSG.), BMVBW: *Wirtschaftlich und umweltverträglich - Nassbaggerstrategien in Deutschland*. 2004. – Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Eigenverlag, Bonn

[9] HENKEL, S. ; PUMMER, E. ; SCHÜTTRUMPF, H. ; SCHMITZ, M. ; SCHULZ, S.-U.: *Nutzungsmöglichkeiten und wirtschaftliches Potenzial deutscher Talsperrensedimente*. 2014. – Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Eigenverlag, Berlin

[10] MOLLÉE, R.: *Altlastenprojekt SAXONIA 1993 - 2013 - eine Retrospektive*. 2017. – SAXONIA Standortentwicklungs- und –verwaltungsgesellschaft mbH (Hrsg.), Eigenverlag, Freiberg

[11] FRITZ, E. ; JAHNS, C.: *Die Spülhalde Davidschacht in Freiberg–Geschichte, Umweltproblematik und geplante Sanierung*. 2017. – n: Heilmeier, H. (Hrsg.) Freiberg Ecology online, Eigenverlag, Freiberg, pp. 4-17

[12] DR. SPANG INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTTECHNIK MBH: *Spülhalde Hammerberg LOS 3- Ausführungsplanung Sicherung des offenen Plateaus, Regenrückhaltebecken*. 2013. – Freiberg

[13] DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V.: *Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*. 1996. – DVWK-Geschäftsstelle, Bonn

Deponiegas und Brände

Skládkový plyn a požáry skládek

Vorhaben einer Deponie-Restgasverwertung mit Gasspeicher und BHKW-Anlage

Zhodnocování zbytkového skládkového plynu pomocí plynojemu a blokové elektrárny

Arndt Seyfert[1]

Kurzfassung

Der Einsatz von Verstromungsanlagen für die Verwertung von Deponiegas nimmt auf Grund rückläufiger Gaserträge aus den seit 2005 stillgelegten Deponien in Deutschland weiter ab. Überdimensionierte Fackelanlagen zur Deponiegasverbrennung müssen zudem stillgelegt oder durch Neuanlagen mit Schwachgastechnik ersetzt werden.

Dem entgegen findet der bisher häufig prognostizierte radikale Rückgang der Gasbildungsrate bzw. auch Einstellung der Deponiegasproduktion bei oberflächengedichteten bzw. abgedeckten Deponien nicht statt. Zudem sind Betreiber durch verschärfte Umweltauflagen zu entsprechenden Zusatzmaßnahmen in der Restgasverwertung verpflichtet. Der bisher eingeschlagene Hauptweg in der Restgasbeseitigung sind Maßnahmen der Aerobisierung von Deponien durch Lufteinblasung bzw. kontrollierte Übersaugung mit oder ohne kontrollierte Injektion von Wasser. In einigen Teilbereichen können diese Maßnahmen aber nicht die gewünschten langfristigen Umsetzungserfolge erbringen und führen zudem zu einem signifikanten Mehrverbrauch von Strom mit entsprechenden Mehrkosten und Einschränkungen in der ökologischen Gesamtbilanz.

Ein alternativer Weg besteht im Einsatz eines Gasspeichers. Durch eine angepasste Gasspeichereinheit können auch sehr geringe Restgasmengen kontinuierlich erfasst und gespeichert werden. Durch eine angemessene Besaugung kann dabei Einfluss auf den Gasbildungsprozess und somit die Methankonzentration im Deponiekörper genommen werden. Da nach der Befüllung die Entnahme von Gasströmen mit größeren Volumenströmen aus dem Gasspeicher problemlos möglich ist, kann das Deponiegas größeren BHKW-Einheiten für die temporäre Stromerzeugung zur Verfügung gestellt werden. Damit kann auf den Einsatz von kleinen und meist unwirtschaftlichen BHKW-Einheiten verzichtet und der Eigenstrombedarf in der Hauptabnahmezeit in signifikanter Höhe abgedeckt werden. Neben zahlreichen Projekten im Ausland wird das geförderte Pilotprojekt in Lübben mit Gasspeicher und BHKW-Anlage im Rahmen des Vortrages vorgestellt.

[1]SEF Energietechnik GmbH, Lessingstr. 4, D-08058 Zwickau; seyfert@sef-energietechnik.de

Abstrakt

Z důvodů klesající výtěžnosti klesá na od roku 2005 uzavřených skládkách v Německu využívání zařízení pro zhodnocování skládkového plynu. Musí být ukončován provoz naddimenzovaných zařízení pro spalování plynu (flér), nebo musejí být nahrazována zařízeními pro spalování nízkokalorického plynu.

Oproti tomu se nedostavil dosud často předpovídaný radikální pokles míry tvorby plynu, případně ani zastavení produkce skládkového plynu v případě utěsněných nebo zakrytých skládek. Navíc jsou provozovatelé nuceni přísnějšími podmínkami realizovat dodatečná opatření pro zhodnocování zbytkového skládkového plynu. Dosud nastolenou hlavní cestou při likvidaci zbytkového plynu představovala opatření aerobizace skládek pomocí vhánění vzduchu, případně kontrolovaným odsáváním s nebo bez kontrolovaného přidávání vody injektáží. V některých dílčích oblastech nemusí však tato opatření vést k požadovanému dlouhodobému úspěchu a mají kromě toho za následek signifikantně vyšší spotřebu elektrické energie s odpovídajícími náklady a omezeními v celkové ekologické bilanci.

Alternativní cestou je využití plynojemu. Upraveným plynojemem lze průběžně zachytávat a ukládat i velmi malá množství zbytkového plynu. Přiměřeným přisáváním lze přitom ovlivnit jak proces tvorby skládkového plynu, tak i koncentraci metanu v tělese skládky. Jelikož je po naplnění možno bez problémů odebírat z plynojemu plyn s větším objemovým proudem, lze skládkový plyn poskytnout větším blokovým tepelným elektrárnám pro dočasnou výrobu elektrické energie. Tím lze upustit od využití malých a většinou neekonomických blokových jednotek a pokrýt vlastní spotřebu elektrické energie během hlavní špičky v signifikantní výši. Kromě řady projektů v zahraničí bude v příspěvku představen projekt podpořený v lokalitě Lübben s plynojemem a blokovou tepelnou elektrárnou.

1 Problemstellung

Auf vielen älteren Deponien sind nach dem Ablagerungsverbot unbehandelter Abfälle im Jahr 2005 die anaeroben Umsetzungsprozesse stark zurückgegangen. Es können oftmals nur noch schwachmethanhaltige Mischgasströme abgesaugt werden. Die überdimensionierten und zudem meist veralteten Gasverwertungsanlagen können unter diesen Umständen nicht mehr betrieben werden. Beschleunigt wird dieser Abschaltungsprozess oftmals durch das Erreichen der Laufzeitgrenze, in der die gesetzlich gesicherte Vergütung nach EEG für BHKW-Anlagen gezahlt wird. Bei den wesentlich geringeren „marktüblichen“ Nachfolgevergütungssätzen ist ein wirtschaftlicher Weiterbetrieb einer BHKW-Anlage (insbesondere unter Berücksichtigung der steigenden Servicekosten der Altanlagen) nahezu unmöglich. Zudem stiegen die Anforderungen beim Einsatz von Neuanlagen hinsichtlich der Reduzierung der Schadstoffemission (z.B. Formaldehyd) sowie die Eigenschaften für den Netzparallelbetrieb erheblich. Vorteilhaft war bisher nur die geringfügig höhere Vergütung bei der Installation einer Neuanlage.

Aus diesen Gründen war und ist eine Deponiegasverstromung auch bei einer entsprechenden Leistungsreduzierung in vielen Fällen nicht mehr möglich und führt schließlich zur Abschaltung einer Vielzahl von Gasverstromungsanlagen. Ein Prozess der als negativ zu bewerten ist, da der weitere Einsatz neuer Verbrennungstechniken (z.B. Schwachgasfackelanlage) gleichzeitig zu einer wesentlichen Erhöhung der Anlagenlaufzeit der Fackelanlage und somit des Stromverbrauches führt.

2 Verlauf der Deponiegasbildung bei gut abgedeckten bzw. gedichteten Deponien – der Gasbildungsprozess hört niemals auf

Der bekannte typische Verlauf der Deponiegasbildung liefert im Bereich der Restgasbildung von gut abgedeckten bzw. gedichteten Deponiekörpern nur noch bedingt verwertbare Ergebnisse. Die Lufteindringphase ist abgeschwächt oder schlicht nicht mehr vorhanden. Die Abdich-

tung des Deponiekörpers bewirkt durch die Verhinderung des Luftzutritts einen großflächigen Rückfall hin zu anaeroben Gasbildungsverhältnissen. Unter diesen Bedingungen werden auch schwerer umsetzbare organische Reststoffe (z.B. Holz) weiter bakteriell abgebaut und der Methangasstrom bleibt auch langfristig auf einem niedrigen Niveau erhalten. Nur die Anfälligkeit auf entsprechende Luftdruckschwankungen nimmt entsprechend zu. Die nachfolgende Gasprognose beinhaltet einen Vergleich einer früheren Deponiegasprognose (Jahr 2000) mit den heutigen Neuabschätzungen unter Berücksichtigung entsprechender Versuchsergebnisse.

Im Vergleich der Prognosewerte und unter Abgleich mit den aktuellen Messergebnissen ist eine erheblich längere Restgasproduktion auf einem signifikanten Niveau vorhanden und auch weiterhin zu erwarten. Dies entspricht gleichfalls den Langzeitmessergebnissen auf vielen Deponien.

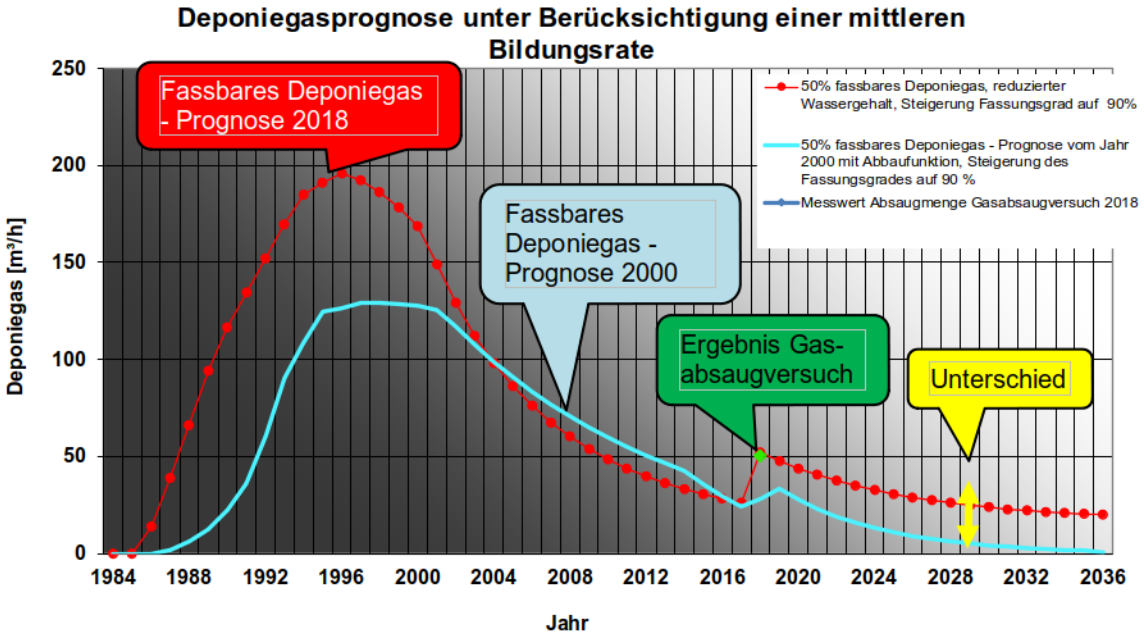


Abbildung 1: Gasprognose Deponie Schneidenbach aus dem Jahr 2000 und 2018 im Vergleich mit dem realen Messwert unter Berücksichtigung der Deponieabdichtung (ab dem Jahr 2015) /SEF/.

Auch bei nicht gedichteten aber gut abgedeckten Deponien sind Jahrzehnte nach dem Ablagerungsende noch methangashaltige Gasströme zu verzeichnen. Dies gilt insbesondere für Gebiete mit aufgebrachten Wasserhaushaltsschichten, wie aktuelle Messergebnisse auf der Deponie Wannsee in Berlin verdeutlichen. Obwohl die Abfallablagerung im Jahr 1970 beendet wurde, können aktuell noch Gasströme von bis zu 700 m^3/h abgesaugt und verbrannt werden.

Langfristige Messergebnisse zeigen zudem, dass die Restgasbildung dabei nicht entscheidend durch den Wassergehalt im Deponiekörper beeinflusst wird. Abfallproben auf der Deponie Schneidenbach ergaben z.B. bereits in der Phase der Abteufung neuer Gasbrunnen sehr geringe Wassergehalte zwischen 25 % und 35 %. Ein signifikanter Wassereintrag war zwischenzeitlich auch nicht zu verzeichnen. Nach der Abdichtung wurde jedoch im Rahmen des Absaugversuches das vorab ausgewiesene, erheblich gesteigerte Gasbildungspotential mit entsprechend hohen Methangehalten nachgewiesen.

3 Einsatzfähigkeit von passiven Systemen mit Methanoxidation

Die in Sachsen oftmals bereits im Verlauf der Oberflächenabdichtung implementierten passiven Systeme zur Restgasbeseitigung mit Gasverteiler- und Methanoxidationsschicht können

unter Berücksichtigung der geltenden Emissionsgrenzwerte (¡100 ppm CH-Emission an allen FID-Messpunkten) sowie unter Beachtung des hohen Restgaspotentials momentan nicht zum Einsatz kommen. Die Sinnfälligkeit dieser Emissionsbegrenzung ist in Frage zu stellen, jedoch sind Restgasströme von mehr als 10 m^3/h in der Tat durch passive Systeme ohne technische Hilfsmittel kaum sachgerecht zu beseitigen. Durch Systeme mit Luftbeimischung und technischer Umwälzung können aber auch hier entsprechende Erfolge erzielt werden. Dies zeigen Messergebnisse auf der Altablagerung Dörferblick in Berlin.

4 Fazit

Im Ergebnis unserer bisherigen Messungen und Betriebsführung sowie der ständigen Weiterentwicklung und Anpassung der Deponiegasprognose ist festzustellen, dass viele der abgedeckten oder gedichteten Deponien noch das Potential für eine langfristige Deponiegasverwertung durch kleinere BHKW-Anlagen besitzen und Passivsysteme noch nicht zum Einsatz kommen können. Voraussetzung für die Erschließung dieses Restgaspotentials ist dabei eine, an den Gasbildungsprozess angepasste, Besaugung. Hierfür sind natürlich neue Schwachgasfackelanlagen gut geeignet. Berücksichtigt man jedoch die Emissions-Gesamtbilanz (CO_2-Bilanz), dann wirkt sich insbesondere der erhöhte Stromverbrauch dieser Technik bei geringen Restgasmengen im Vergleich zu speziell angepassten Passivsystemen entsprechend nachteilig aus.

Auch die langfristige Wirksamkeit einer kontrollierten Übersaugung mit entsprechender Aerobisierung von Deponien bzw. Deponiebereichen muss in Frage gestellt werden, da nach dem Einstellen der oft zeitlich limitierten Maßnahme sich die anaeroben Bildungsverhältnisse teilweise wieder einstellen werden. Zudem führt eine zonenweise Belüftung zu unterschiedlichen Setzungen in den Bereichen und ist bei gedichteten Deponien somit nicht unproblematisch.

Dagegen kann eine entsprechend langfristige Deponiegasverstromung mittels BHKW-Anlage mit optimaler Besaugung und Verwertung der Deponiegasströme in jeder Hinsicht nur vorteilhaft sein. Ökonomisch müssen dafür aber zunächst entsprechende Anreize geschaffen und die Technik in die Praxis eingeführt werden.

5 Rahmenbedingungen für eine weitere Deponiegasverstromung

Begleitende Messungen an zahlreichen gedichteten oder abgedeckten Altdeponien unterschiedlicher Größe zeigen, dass methanhaltige Restgasströme von mehr als 20 m^3/h nahezu immer vorhanden sind. Die Verwertung dieser relativ geringen und durch Luftdruckänderungen schwankenden Mengenströme ist jedoch problematisch, da standardisierte und deponiegastaugliche BHKW-Anlagen nur in höheren Leistungsklassen verfügbar sind. Eine Standardanlage im Container ist auf dem Markt unter Berücksichtigung ökonomischer Kriterien nur im Leistungsbereich ab 80 kW(el) verfügbar. Der Deponiegasverbrauch beträgt somit bei einem Methangehalt von 40 % mind. 60 m^3/h und kann somit vom Deponiekörper nicht bzw. nicht kontinuierlich bereitgestellt werden.

Eine Lösungsmöglichkeit liegt in der Umsetzung einer angepassten Gasverwertungskonzeption mit entsprechender Speichertechnik und zeitlich gestaffelter Entnahme. Die Besaugung des Deponiekörpers mit einer angepassten Schwachgasanlage kann dabei derart optimiert werden, dass die Speicherladung nur bei bzw. mit entsprechend methanhaltigem Deponiegas erfolgt. Dabei ist eine stetige Besaugung des Deponiekörpers sichergestellt und Aufkonzentrationsprozesse sind adäquat nutzbar. Ein Anlagenschema ist nachfolgend beigefügt.

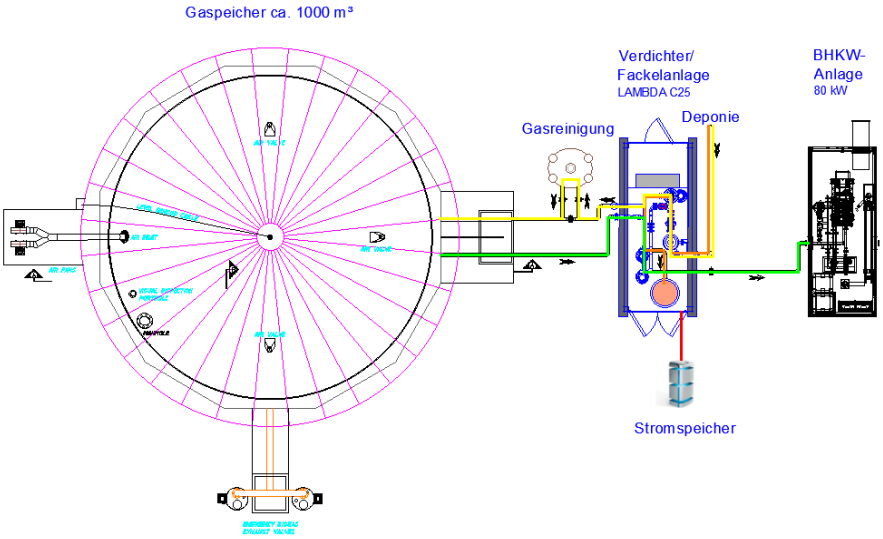


Abbildung 2: Gesamtsystem zur Gasverwertung geringer Deponiegas-Restgasströme mit BHKW-Anlage und Gasspeicher /SEF/.

6 Anlagenkonzeption mit angepasster Speichertechnik

6.1 Entwicklungsprozesse

Die Verwendung von Deponiegasspeichern in Ergänzung zu bestehenden Deponiegasanlagen wurde seitens SEF erstmals im Jahr 2007 in der Türkei, auf Grund von unterschiedlichen Vergütungssätzen zwischen Tag- und Nachtstromeinspeisung, umgesetzt. Hier kamen zunächst in Ankara 2 x 16.000 m^3 Folienspeicherbehälter bei einer 15 MW(el) BHKW-Anlage zum Einsatz.

Nach Vereinheitlichung der Vergütungssätze wurden die Speicher insbesondere im Fall des Einsatzes von größeren BHKW-Anlagen in der Phase der Erstbefüllung von Deponien und zu erwartendem weiteren Mengenanstieg eingesetzt. Dies ermöglichte einen zunächst temporären Anlagenlauf im Volllastbereich ohne Wirkungsgradeinbußen, um später dann zu einem kontinuierlichen Anlagenbetrieb überzugehen. Eine Übersaugung des Deponiekörpers in der Anfangsphase wird damit wirkungsvoll verhindert. Die Speichertechnik erwies sich insbesondere auch zur Überbrückung von BHKW-Ausfallzeiten im Servicefall als ökonomisch sinnvoll.



Abbildung 3: 4.000 m^3 Gasspeicher für den Betrieb einer 1,2 MW(el) Anlage auf der Deponie Kirklareli in der Türkei (2017) /Foto-SEF/.

6.2 Projektimplementierung beim Kommunalen Abfallentsorgungsverband Niederlausitz (KAEV) als Förderprojekt des Landes Brandenburg

Die benannten Vorteile beim Speichereinsatz - der Optimierung des Absaugregimes und Beeinflussung des Methangashaushaltes einer Deponie – sind für die Restgasverwertung in gedichteten Altdeponien in Deutschland nun eine Grundvoraussetzung. Bei dem vom Land Brandenburg geförderten und bis zum Oktober 2019 umgesetzten Projekt auf der Deponie Lübben ermöglicht der Speicher erstmals die Verwertung der vorhandenen Deponie-Restgasmengen in einer angepassten BHKW-Anlage. Der aus dem Deponiekörper absaugbare durchschnittliche Deponiegasstrom beträgt bei Aufrechterhaltung eines angemessenen Methangehaltes derzeit ca. 40 m^3/h. Die nunmehr ersetzte HT-Fackelanlage wurde noch mit einer Absaugmenge von 65 m^3/h betrieben, wobei der Methangehalt auf ca. 30 % absank. Bei einem Anlagenstillstand konzentrierte sich das Deponiegas des gedichteten Deponieabschnitts DAI aber in kurzer Zeit bis auf 60 % auf, wodurch die Voraussetzungen für einen BHKW-Einsatz somit gegeben sind.

Unter Berücksichtigung der gegeben Rahmenbedingungen auf der Deponie Lübben wurde sich in der Projektphase für eine BHKW-Anlage mit 80 kW elektrischer Anlagenleistung sowie für eine CHC Schwachgasfackelanlage entschieden. Weiterhin wurde eine Gasreinigung mit Aktivkohle sowie ein Stromspeicher mit 30 kWh Speicherenergie im Projekt vorgesehen. Die Ausschreibung zum Gesamtprojekt hat die Fa. LAMBDA aus Herten gewonnen und auch alle Komponenten gemäß Ausschreibung geliefert und installiert. Der Probebetrieb wurde fristgerecht Mitte Oktober 2019 abgeschlossen und die Anlage läuft seitdem im Dauerbetrieb. Nachfolgend eine entsprechende Bildübersicht.



Abbildung 4: Gasverwertungsanlage mit Schwachgasfackel und 80 kW(el) BHKW-Anlage /Foto-SEF/.

6.3 Stromabdeckung und Speicherdimensionierung

Am Standort Lübben kann der Eigenstromverbrauch der vorhandenen Sortieranlage abgedeckt werden. Der Eigenverbrauch des erzeugten Stromes war zudem Grundlage der Projektförderung. Hierfür muss der Lauf der BHKW-Anlage an die entsprechenden Betriebszeiten der Sortieranlage angepasst werden. Ein Anlagenbetrieb in den verbrauchsintensiveren Tagstunden wird somit favorisiert. Unter Berücksichtigung der notwendigen Stillstandszeiten sowie auch weiter rückläufiger Gasbildungsraten wurde das notwendige Speichervolumen eines Folienspeichers ermittelt. Bei einer 14 stündigen Laufzeitunterbrechung und unter Berücksichtigung des derzeit maximal fassbaren Gasvolumenstromes müssten somit - 60 m^3/h x 14 h = 840 m^3/h – zwischengespeichert werden. Unter Beachtung notwendiger Restfüllmengen

wurde ein 1.000 m^3/h Doppelfolienspeicher installiert. Durch die gewählte Anlagenkonfiguration kann eine optimale Besaugung des Deponiekörpers sowie angepasste Verwertungsstrategie umgesetzt werden.



Abbildung 5: Implementierter Gasspeicher der Fa. Sattler mit 1000 m^3 Speicherinhalt /Foto-SEF/.

6.4 Steuerung der Anlage - Speicherladetechnik

Eine umfassende und angepasste Steuerungskonzeption für die verknüpfte Deponiegasanlage war bisher noch nicht am Markt verfügbar und musste im Rahmen der Projektumsetzung entwickelt werden. Gasverwertungsmäßig erfolgt zunächst auch weiterhin eine kontinuierliche Besaugung und Abfackelung des Deponiegases aus dem Deponiekörper mit einem definierten Volumenstrom. Der Fackelvolumenstrom wird bei einem zu geringen Methangehalt im Deponiegas zunächst kontinuierlich abgesenkt, um eine entsprechende Methan-Aufkonzentration im Deponiegas auf ein Mindestwert zu erzielen. Wird dieser Wert erreicht, erfolgt bei vorhandener Kapazität die Speicherladung, ansonsten die weitere Deponiegasverbrennung mit einer vorwählbaren Menge. Die BHKW-Anlage entnimmt das Deponiegas eigenständig nur aus dem Speicherbehälter in Abhängigkeit von der gewählten Laufzeit und der Speicherladung. Das Deponiegas wird grundsätzlich vor der Zuführung zum Folienspeicher gereinigt.

Neben der benannten Grundfunktion sind die Optimierung und die Automatisierung des gastechnischen Prozesses jedoch sehr umfangreich. Es sind z.B. entsprechende Besonderheiten, wie das Zurückweichen des Deponiegases in den Deponiekörper bei der Einstellung der Besaugung oder unterschiedliche Methangehalte in den Deponiegasströmen, zu beachten. Zudem muss auch eine Umfahrung der Speichereinheit möglich sein. Ein erstes Schaltschema, was im Rahmen des Adaptionsprozesses entwickelt wurde, enthält nachfolgende Grafik.

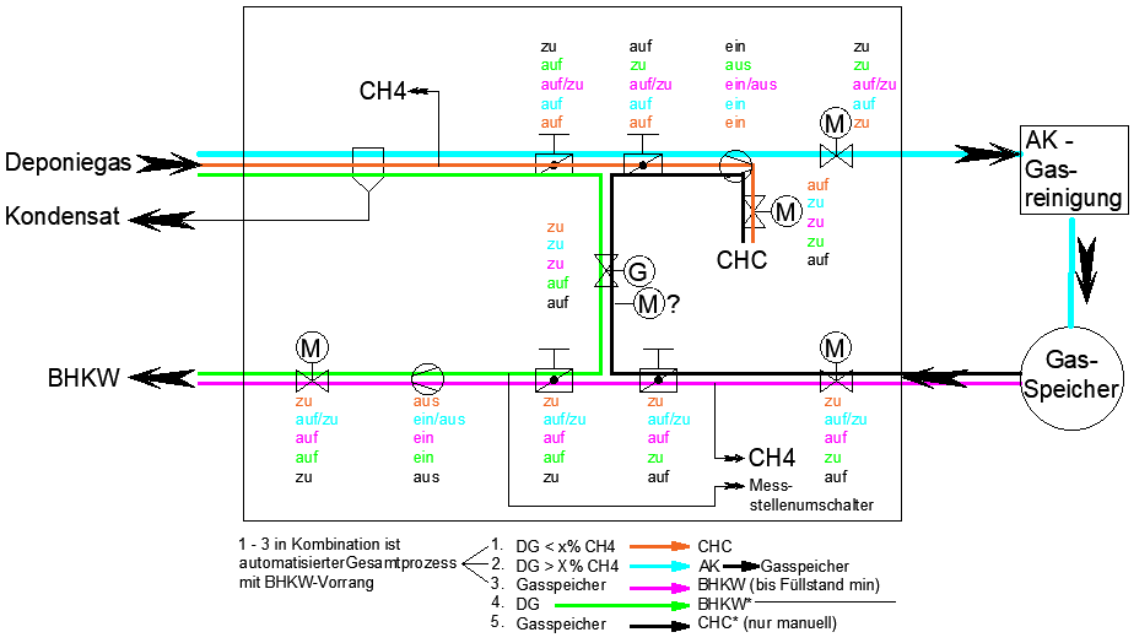


Abbildung 6: Entwickeltes Regelschema für die Anlagen-Gesamtsteuerung /LAMBDA/.

Insbesondere zur Verringerung des Eigenstromverbrauches, welcher durch den Einsatz von zusätzlichen Pumpen und Gebläsen sowie den Zusatzverbrauch bei dem geplanten temporären Stillstand der BHKW-Anlage erhöht ist, wurde ein Stromspeicher mit ca. 30 kWh errichtet. Dieser wird bei einem Stillstand der BHKW-Anlage entladen und bei Wiederinbetriebnahme entsprechend beladen. Zusätzlich übernimmt ein Teil der Stromspeichereinheit bei Netzausfall die Notstromversorgung der Gasspeichergebläse. Durch die Speichereinheit soll auch bei einem zyklischen Betrieb der BHKW-Anlage der Netzstromverbrauch nicht signifikant erhöht und somit eine gute CO_2-Bilanz sichergestellt werden. Die sachgerechte Ansteuerung und Einbindung dieser Komponenten ist im weiteren Projektverlauf zu analysieren und zu optimieren.



Abbildung 7: Frequenzumrichter für die Stromspeichermodule innerhalb der Schwachgasfackelanlage /Foto-SEF/.

7 Schlussfolgerungen aus der bisherigen Projektumsetzung

Im Ergebnis der Analyse sollten die Förderstrukturen überdacht und Anlagen zur Deponiegasverstromung mit Gasspeicher stärker in den Fokus der Förderung gerückt werden. Durch die Speichertechnik sind entsprechend lange Nutzungszeiten, hohe Wirkungsgrade und ein entsprechender Ersatz des Fremdstrombezuges möglich. Die Emissions-Gesamtbilanz der Methangasbeseitigung wird entscheidend verbessert. An einer wirtschaftlichen Gestaltung dieser Projektidee werden wir, gemeinsam mit der Fa. LAMBDA, auch weiterhin arbeiten.

Es sei der Leitung des KAEV für das Engagement bei der Umsetzung des Projektes gedankt sowie der Genehmigungsbehörde und Förderbewilligungsstelle für die geleistete Unterstützung.

Verifizierung der Berechnung von Treibhausgasen (LFG) für kleine Deponien

Verifikácia výpočtu produkcie LFG pre malé skládky

Marek Hrabčák[1]

Kurzfassung

Jede Abfalldeponie in der Slowakei muss eine Jahresmeldung an das Nationale Register der Verunreinigung abgeben mit Angaben zur Menge von Emissionen ohne die Grenzwerte dabei zu berücksichtigen. Somit melden die Deponiebetreiber gem. § 5 der Richtlinie Nr. 448/2010 GBl. Angaben über Deponiegasausstoß für folgende Bestandteile: Methan (CH_4), Kohlendioxyd (CO_2), weitere flüchtige organische Stoffe.

Im Rahmen des vorherigen Deponieworkshops (XI.2017) wurde auf Methoden der Berechnung der Produktion von Deponiegas (LFG) gemäß unterschiedlicher Modelle (LandGEM, AFVAL, LMOP) hingewiesen. Diese Methoden werden aber wesentlich durch die angewandten Konstanten determiniert, was im Fall einer routinemäßigen Berechnung oftmals markante Unterschiede zwischen den Ergebnissen zur Folge hat. Wenn mehrere Modelle in der Absicht, das Ergebnis so präzise wie möglich zu erhalten, eingesetzt werden, desto schwieriger ist dann die subjektive Entscheidungsfindung, welches Ergebnis eigentlich das richtigste ist. Für Deponien mit einer aktiven Deponiegasfassung und deren Verwendung, bzw. Verbrennung, können diese Berechnungsmodelle mit dem tatsächlich erfassten Volumen des Deponiegases verifiziert werden. Aber für kleine Deponien (bis 100 000 m^3), bei denen das Deponiegas nur passiv in die Luft abgeleitet wird, ist eine Verifizierung der Ergebnisse sehr problematisch.

Die Meldung über die Menge des Jahresausstoßes von Deponiegas für kleine Deponien nur auf Basis der Modelle ist somit mit einem relativ großen Fehler behaftet. Das führt im Endeffekt im landesweiten Maßstab zu höchstwahrscheinlich wesentlich übertriebenen Angaben auf nationaler Ebene. Unser Ziel ist es, diese Berechnung auf Grundlage von tatsächlichen Messungen auf der Deponie zu verifizieren, gleichwohl wir uns der Kompliziertheit dieser Problematik bewusst sind.

Abstrakt

Na Slovensku musí každá skládka NNO podávať ročné hlásenie do Národného registra znečisťovania o množstve vypúšťaných emisií do ovzdušia bez zohľadnenia prahových hodnôt. Prevádzkovatelia skládok odpadov tak oznamujú podľa § 5 vyhlášky č. 448/2010 Z.z. údaje o emisiách zo skládkového plynu do ovzdušia pre nasledujúce zložky - metán (CH_4), oxid uhličitý (CO_2), nemetánové prchavé organické látky (NMVOC).

Na predošlom workshope (XI.2017) sme poukázali na spôsoby výpočtu produkcie skládkového plynu (LFG) podľa rôznych výpočtových modelov (LandGEM, AFVAL, LMOP). Tieto modely sú však výrazne determinované použitými konštantami, čo pri rutinnom výpočte často vedie k výrazným rozdielom medzi výsledkami. Čím viac modelov autor použije, v snahe spresniť výsledok, tým ťažšie je potom subjektívne rozhodovanie, ktorý výsledok je vlastne najsprávnejší. Pre skládky s aktívnym čerpaním LFG a jeho využívaním resp. spaľovaním je možné tieto výpočtové modely verifikovať so skutočne zachytením objemom LFG. Avšak pre malé skládky (do 100 000 m^3), kde je LFG často len pasívne odvetrávané do ovzdušia je verifikácia výpočtov dosť problematická.

Hlásenie o ročnom množstve vypúšťaných emisií z LFG pre malé skládky len na základe výpočtových modelov je tak zaťažené pomerne veľkou chybou, čo sa v konečnom dôsledku kumuluje v celoštátnom merítku do zrejme (?) výrazne nadhodnotených údajov na národnej úrovni. Našim cieľom je pokúsiť sa o verifikáciu týchto výpočtov na základe skutočných meraní na skládke, aj keď si plne uvedomujeme zložitosť tejto problematiky

[1]GEOSOFTING, spol. s r.o., Solivarská 28, SK-08005 Prešov, geosofting@stonline.sk

1 Dôvody výpočtu LFG

Hranica ekonomického posúdenia využiteľnosti LFG sa pribežne mení a postupne s technologickým rozvojom stále znižuje. Ešte v 15-20 rokov starých guidelines (EPA, ISWA, FEAD) pre využívanie LFG sa uvádzala minimálna kapacita skládky 1,0 až 2,0 mil. ton odpadu resp. produkciu LFG aspoň 500 m^3/h. Vzhľadom na systém dotácií pre využívanie energie z obnoviteľných zdrojov v EU (pôvodne 90 EUR/MW, momentálne cca 60 EUR/MW v SK) a najmä technologickým pokrokom sa dnes energeticky využíva LFG aj na skládkach s produkciou pod 50 m^3/hod resp. celkovým objemom uloženého odpadu pod 500 000 t.

Pre skládky s aktívnym systémom na zachytávanie LFG a jeho energetickým využívaním je výpočet produkcie LFG využívaný hlavne na optimalizovanie jestvujúcej „ťažby“ a spresnenie prognózovanie produkcie LFG do budúcna. Smerodajnými údajmi o množstve zachyteného plynu pre rôzne hlásenia (E-PRTR) či ekonomické vyhodnotenia prevádzky sú reálne údaje z prietoku plynu (objemové toky) v potrubí resp. na vstupe do kogeneračky. Pri malých skládkach, t. j. s celkovou kapacitou do 100 000 t je predpokladaná produkcia LFG príliš nízka na energetické účely. Takéto skládky sa vo väčšine prípadov po ukončení prevádzky vybavia plošnou drenážou v rámci rekultivácie, prípadne vertikálnymi odplyňovacími vrtmi s pasívnym odvetrávaním LFG do ovzdušia [1]. V lepšom prípade sa ešte osadia biofiltre na čiastočnú či úplnú (?) oxidáciu metánu a zníženie šírenia zápachu či NMVOC. Množstvo vyprodukovaného či zachyteného plynu už nie je podrobnejšie sledované a údaje o účinnosti sú skôr odhadom či dokonca len veštením z krištáľovej gule.

So stále naliehavejším volaním po zavedení dane na CO_2 možno očakávať aj na Slovensku sprísnenie výkazníctva resp. zavedenie poplatkov aj za vypúšťané emisie skládkových plynov do ovzdušia. V takomto prípade už je presná evidencia o množstve zachyteného resp. vypusteného plynu veľmi dôležitá, keďže sa u prevádzkovateľa skládky rozhoduje o desiatkach či stovkách tisíc EUR!

2 Zložky LFG z pohľadu emisii

Ako sme už v našom príspevku [4] pred dvoma rokmi uviedli, celková produkcia generovaného LFG na skládke skladá z viacerých zložiek:

$$\text{GENERATED} = \text{RECOVERED} + \text{EMITTED} + \text{OXIDIZED} + \text{STORED}$$

Jednotlivé zložky sú popísané nižšie pričom je zrejme, že sa prevádzkou skládky snažíme maximalizovať podiel RECOVERED na minimalizovať EMITTED. To znamená, maximálne využiť potenciál vzniknutého LFG na výrobu energie a naopak minimalizovať negatívne dopady LFG na ovzdušie. Časť EMITTED môžeme ešte znížiť prostredníctvom podielu OXIDIZED, pričom podiel STORED je viac menej fixný a nedá sa príliš ovplyvňovať.

RECOVERED – predstavuje skutočne zachytený skládkový plyn, ktorý na výstupe z odplyňovacieho systému skládky (studne alebo vrty alebo plošná drenáž) vstupuje do kogeneračnej jednotky a je následne spálený za výroby elektrickej energie a tepla. Podiel RE/GE (%) je daný technologickou úrovňou odplyňovacieho systému skládky a jej prevádzkou a pohybuje sa od cca 25% až po 90%. Rôzne štúdie a autori [8, 9] uvádzajú viac menej podobné hodnoty. Z publikovaných poznatkov je zrejme, že pasívne systémy odplynenia (bez čerpania LFG a vytvárania podtlaku) sú menej efektívne ako aktívne systémy a pohybujú sa zrejme v rozpätí 25-35 % [3]. Podobne sú uvádzané nižšie hodnoty účinnosti pre horizontálne odplynenie (plošné alebo v drénoch) oproti vertikálnym studniam či vrtom [2]. Horizontálne odplynenie má však svoj význam pri malej hrúbke odpadu (do 10 m), kedy vertikálne vrty sú zase menej efektívne. Špecifický prípad potom predstavuje plošná plynová drenáž na šikmých svahoch, kde podľa viacerých autorov dochádza k najvýraznejším emisiám. Na druhej strane výrazne čerpanie a vysoký podtlak v LFG studniach či vrtoch môže spôsobiť nasávanie atmosférického

vzduchu do skládky a tým zníženie kvality LFG. Pri aktívnom čerpaní LFG rozhoduje o účinnosti aj vzdialenosť jednotlivých studní (ROI) a ich hĺbka [7]. Naopak sa paradoxne nepotvrdil vplyv priemeru čerpacieho vrtu (DN100 -150 -200) na výťažnosť plynu z vrtu.

EMITTED – predstavuje tú časť skládkového plynu, ktorý emituje resp. voľne uniká do ovzdušia z celého povrchu skládky ako tzv. fugitívne emisie a prispieva k znečisťovaniu ovzdušia. Podiel EM/GE (%) je daný spôsobom prevádzkovania skládky a teda neriadené skládky teoreticky 90-95% vzniknutého LFG emitujú do ovzdušia. K zníženiu celkového emitovaného LFG prispieva okrem hutnenia aj pravidelne prekrývanie skládky zeminou resp. iným vhodným tesniacim materiálom (dočasný kryt). A hlavne rozdelenie skládky na sekcie a ich postupné zapĺňanie, prekrývanie a uzatváranie t.j. minimalizovanie aktívnej plochy skládky s čerstvým odpadom.

OXIDIZED – množstvo údajov o meraní skutočne emitovaného LFG do ovzdušia z povrchu skládky poukazuje na to, že určitá časť emitovaného LFG sa v prípade vhodného prekryvu povrchu odpadu oxiduje a skutočné množstvo metanú či NMVOC je potom nižšie. Podľa metodiky IPPC sa prijala default hodnota OX/GE = 10%. V reálnej situácií je to trochu zložitejšie, nakoľko aktuálne oxidované množstvo LFG závisí predovšetkým na krycom substráte a jeho vlastnostiach a tiež na aktuálnych meteorologických podmienkach. Podobne ako pri účinnosti odplynenia, rôzne štúdie a autori uvádzajú [6] rôzne hodnoty oxidácie LFG.

STORED – predstavuje nakoniec tú časť skládkového plynu, ktorý ostáva „trvalo“ v telese skládky. Podstatnou mierou toto množstvo LFG ovplyvňuje druh skládkovaného odpadu a jeho pôrovitosť , t.j. aký objem plynu môže tieto pory vyplniť. Silne zhutnené skládky zrejme skladujú menšie množstvo LFG ako menej zhutnené. A taktiež nasýtenie skládky kvapalinami výrazne znižuje kapacitu STORAGE plynu. Z publikovaných údajov sa uvažuje o cca 2-5 % (ST/GE), aj keď niektorí autori [5] uvádzajú až 15%.

3 Spôsoby odplynenia skládok

Na Slovensku sa spôsoby odplynenia skládok týkajú samozrejme len skládok NNO (DK II.), kde sa ukladá komunálny odpad spolu s ďalšími potenciálne biologicky rozložiteľnými odpadmi. Skládky IO zo svojej podstaty nemajú potenciál na tvorbu LFG, keďže na tieto skládky sa môžu ukladať len inertné odpady. Naopak, na skládky NO je ukladanie BRO pre prevádzkovateľa neekonomické a v podstate aj legislatívne zakázané. Z poznatkov v našej doterajšej 25 ročnej praxi môžeme konštatovať, že na Slovensku sa používajú hlavne dva spôsoby odplynenia: odplyňovacie studne zo dna (on-line) a odplyňovacie vrty zo stropu (after care) samozrejme ako doplnok k plošnej odplyňovacej vrstve v rámci rekultivačných vrstiev (§8 vyhlášky č. 382/2018 Z.z.).

Podstatná časť skládok (najmä rozlohou väčších kaziet) má už od počiatku vybudované vertikálne odplyňovacie studne. Priamo na dne kazety sa na štrkovej drenážnej vrstve pre priesaky vybudujú „štrkové stĺpy“ (DN 600-1000 mm) s perforovanou rúrou PEHD alebo PVC (DN 140-200) uprostred. Tie sa počas prevádzky skládky postupným zavážaním kazety navyšujú stále nad povrch odpadu, aby po ukončení skládkovania tvorili odvetrávacie komíny na strope kazety. Vzdialenosť odplyňovavích studní volia projektanti v rozpätí 30 - 50 m.

Pri rozlohou menších skládkach sa používa spôsob postupného zavážania po sekciách, pričom po dosiahnutí konečnej výšky zhutneného odpadu v sekcii sa táto uzavrie a rekultivuje. Súčasťou uzavretia je aj odvŕtanie odplyňovacieho vrtu z vrcholu skládky = stropu odpadu (DN 150-300 mm) do cca 3/4 hrúbky odpadu. Výstroj vrtu je podobná, ako pri studni – PEHD alebo PVC perforovaná rúra s utesnením pri povrchu a zhlavím s regulačným ventilom. Horizontálne prepojenie studni či vrtov potom riešia projektanti individuálne podľa očakávanej produkcie LFG.



Obrázok 1: Založenie pasívnych odplyňovacích studní na dne kazety.

4 Výpočet produkcie a výsledky meraní LFG in-situ

Pre obmedzený rozsah tohto príspevku uvádzame len dva príklady výsledkov meraní objemového toku LFG a následnú verifikáciu s modelovým výpočtom produkcie LFG. V jednom prípade (A) sme vykonali meranie na skládke s pasívnym odplyňovacím systémom typu vertikálnych studní zo dna kazety. V druhom prípade (B – len v prezentácií) sme vykonali meranie na skládke bez vybudovaných LFG zariadení. Vzhľadom na požiadavku prevádzkovateľov týchto skládok neuvádzame ich názvy a rešpektujeme ich požiadavku o anonymitu.

Skládka A sa skladá z kazety o celkovej rozlohe cca 17 000 m^2, pričom 50 % plochy kazety už bolo naplnené po maximálnu výšku (h = 10 m) a táto časť kazety bola uzatvorená a rekultivovaná. Na skládke je v aktívnej časti kazety vybudovaných celkom 5 odplyňovacích studní, pričom ROI sa pohybuje od 35 do 50 m. Aktuálna hrúbka odpadu v aktívnej časti kazety je cca 9 m a tento rok bude kazeta naplnená. Pre skládku sme vypočítali teoretické množstvo skládkového plynu (LFG), ktorý bude vznikať za predpokladu anaeróbneho rozkladu biologický rozložiteľného uhlíka v uloženom odpade na skládke. Pre tento teoretický výpočet produkcie skládkového plynu sme použili celkom tri modely podľa metódy FOD – Tier 2 (First Order Decoy).

4.1 Modelová produkcia

4.1.1 LandGEM Model (EPA štandard)

Výpočty produkcie LFG sme realizovali s parametrami k = 0,05 a Lo = 67. Pre rok 2018 bola podľa tohto modelu vypočítaná produkcia generovaného LFG 619 770 m^3/rok, pre rok 2019 očakávaná produkcia generovaného LFG 785 300 m^3/rok a teda k VIII.2019 predstavuje generovaný LFG hodnotu 730 133 m^3/rok.

4.1.2 LMOP Model (zjednodušený)

Spracovali sme variant výpočtu s priemernou produkciou metánu z rozkladu odpadu Lo = 67 m^3/t a rýchlosťou rozložiteľnosti odpadu k = 0,05 pre celkové množstvo uloženého odpadu na

skládke 142 075 t. Celkové generované množstvo LFG je v roku 2018 okolo 634 846 m^3/rok, pre rok 2019 očakávaná produkcia generovaného LFG je 804 353 m^3/rok a teda k VIII.2019 predstavuje generovaný LFG hodnotu 747 851 m^3/rok.

4.1.3 Afvalzorg Multiphase Model

Pre rok 2018 bola podľa tohto modelu vypočítaná produkcia metánu CH_4 pri 50% o objeme 278 351 m^3/rok, čo predstavuje hmotnostne 198 742 kg/rok. Pri dopočítaní CO_2 je potom ročné množstvo generovaného LFG asi 568 063m^3 a v roku 2019 už 719 852, čo k VIII.2019 predstavuje 655 700 m^3/rok.

4.2 Meraná produkcia

Merania in-situ na skládke priniesli nasledujúce výsledky. Objemový tok LFG zachyteného odplyňovacími studňami PS-1 až PS-5 sa pohyboval v rozsahu 1,00 až 4,91 Nm^3/h. Suma objemového toku zachyteného LFG zo všetkých piatich studní v aktívnej časti kazety bola 12,5 Nm^3/h čo predstavuje ročné množstvo zachyteného LFG cca 109 850 Nm^3/r pre túto časť skládky.

5 Verifikácia údajov meranie/výpočet

5.1 Merané hodnoty v teréne

Ako už bolo v predošlej kapitole spomenuté, nameraný objemový tok LFG na odplyňovacích studniach v aktívnej časti (III. etapa I. kazety) bol cca 109 850 Nm^3/r. Toto množstvo predstavuje tzv. zachytený LFG. Podľa publikovaných údajov zo zahraničie sa účinnosť zachytávania skládkového plynu (CE) na aktívnych skládkach bez akéhokoľvek prekryvu uvádza v rozpätí 25 až 35%. Po prepočte na celkový generovaný LFG potom vychádza produkcia LFG z III. etapy v rozpätí 314 000 až 440 000 Nm^3/r.

Tabuľka 1: Merané hodnoty v teréne.

Zachytený LFG:	Generovaný LFG:		
(skutočne merané)	CE = 25%	CE = 30%	CE = 35%
109 850 Nm^3/r	*439 400 Nm^3/r*	*366 200 Nm^3/r*	*313 900 Nm^3/r*

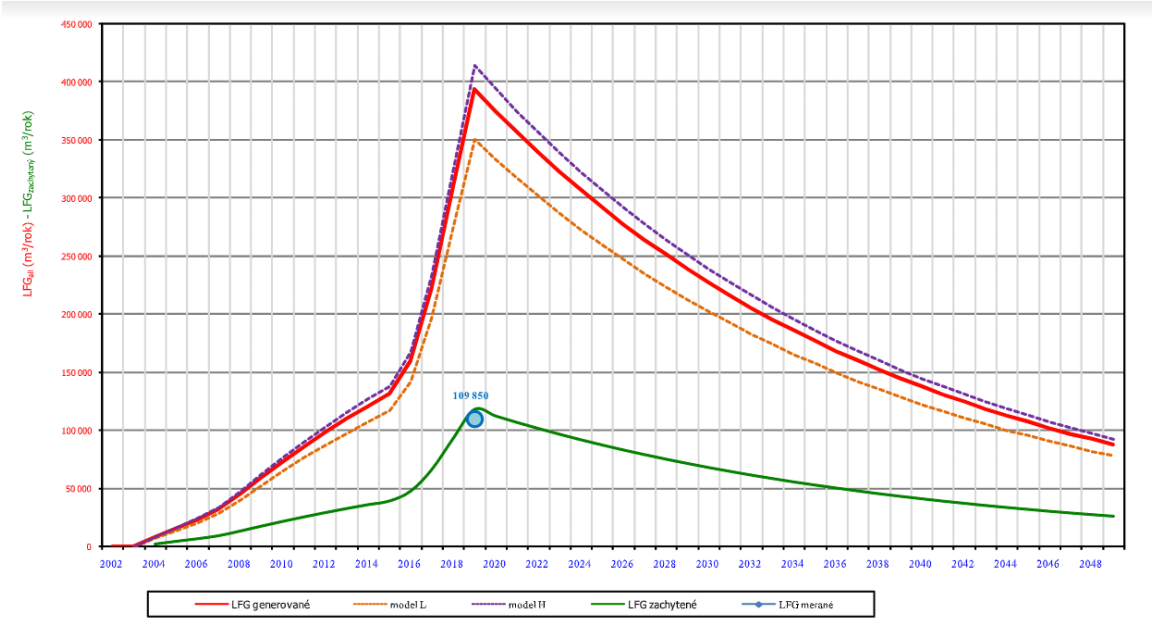
5.2 Vypočítane hodnoty podľa modelov

Z predošlej kapitoly vyplýva, že množstvo generovaného LFG na skládke z I. kazety sa podľa jednotlivých výpočtových modelov (LandGEM, LMOP, AFVAL) pohybuje v rozsahu 660 000 až 750 000 m^3/r. Po prepočte len na III. etapu skládky je vypočítané množstvo cca 323 500 až 367 500 m^3/r.

5.3 Závery verifikácie

Porovnaním týchto údajov môžeme konštatovať, že namerané výsledky zachyteného LFG na odplyňovacích studniach sú vo vysokej zhode s matematickými výpočtami celkového generovaného LFG za skládku - viď graf. Priemerný celkový generovaný LFG podľa modelov je znázornený červenou čiarou s rozpätím Low a High (oranžová - fialová čiarkovaná čiara.) Teoreticky využiteľný LFG (30%) je znázornený zelenou čiarou. Skutočne nameraný zachytený LFG predstavuje modrý krúžok. Po uzavretí I. kazety a utesnení povrchu stúpne využiteľný LFG na cca 50-65% generovaného LFG a tým sa zvýši možnosť energetického využitia plynu.

Na druhej strane pokles krivky s časom ale skracuje časovú lehotu využívania LFG na výrobu energie.



Obrázok 2: Graf modelovej a meranej produkcie LFG na skládke.

6 Závěr

Cieľom našej práce bolo overiť, či je možné aj bez nákladných čerpacích pokusov skládkového plynu overiť skutočnú produkciu plynu a verifikovať tak výpočtové modely emitovaného LFG. Výsledky meraní objemového toku LFG na malej skládke (140 000 t odpadu) preukázali, že meraná produkcia plynu je vo veľmi dobrej zhode s výpočtovými modelmi. Rozšírením meraní na ďalšie skládky predpokladáme, že sa spresnia naše výpočtové postupy.

Literatúra

[1] BANK, W.: Guidance Fact Sheet: Landfill Gas Collection, Flaring Ana Energy Recovery Design. 2008, handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects.

[2] FRANCISCA, F.: Technical and economic evaluation of biogas capture and treatment for the Piedras Blancas landfill. 2017, journal of the Air & Waste Management Association , 67:5, 537-549.

[3] GEOSYNTEC CONSULTANT: Final Landfill Gas to Energy Feasibility Report. 2013, oakland, CA 94607.

[4] HRABČÁK, M.: Fugitívne emisie zo skládok a ich kvantifikácia. 2017, skládkový workshop Žitava - Liberec (s. 7-14). Zittau: 13. Deponieworkshop Zittau-Liberec.

[5] IKH Fehily Timoney: An Examination and Review of UK and International Best Practice for Mitigation of GHG Emissions. 2012, zero Waste Scotland.

[6] PARSAEIFARD, N.: Enhancing Anaerobic Oxidation of Methane in Landfill Cover Soil. 2019, arlington: The University of Texas at Arlington - dissertation.

[7] STACHOWITZ, W.: 33 years of experience in LFG extraction - from theoretical gas prognoses to realistic gas extraction systems. 2019, proceedings Sardinia 2019 / Seventeenth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.

[8] STAUB, M.J., G.M.-P.: An incremental model to assess the environmental impact of cap cover systems on MSW landfillemission. 2011, geotextiles and Geomembranes , 29 (2011) 298 - 312.

[9] VAN KOLKEN BANISTER, A.: LFG Collection Efficiency: Debunking the Rhetoric. 2011, mSW Management.

Brände auf Kommunalabfalldeponien

Požáry skládek komunálního odpadu

Richard Michna[1]

Annotation

Der Charakter sowie die Zusammensetzung der Hausmülldeponien bezüglich der Brennbarkeit. Ursachen der Entstehung von Bränden, Typen der Deponiebrände, ihre Beseitigung durch einen Löscheinsatz. Statistik der Deponiebrände im Bezirk Liberec (Liberecký kraj). Methoden zum Löschen der Deponiebrände in der Tschechischen Republik und im Ausland. Risiken und Folgen für die Umwelt. Beispiel - Brand von Reifen auf der Hausmülldeponie Osečná - Druzcov.

Anotace

Charakter a složení skládek komunálního odpadu vzhledem k hořlavosti. Příčiny vzniku, typy požárů skládek a jejich likvidace hasebním zásahem. Statistika požárů skládek v Libereckém kraji. Metody hašení požárů skládek v České Republice a v zahraničí. Rizika a dopady na životní prostředí. Příklad – požár pneumatik na skládce komunálního odpadu Osečná - Druzcov.

1 Úvod

Nejrozšířenějším způsobem nakládání s odpady v České republice je ukládání tuhých odpadů na skládky. Tam končí asi dvě třetiny vzniklých tuhých odpadů. Požár skládky komunálního odpadu je jedním z mnoha nebezpečí pro člověka a životní prostředí. Jsou to požáry velkého rozsahu, které se obtížně likvidují. Přitom vzniká velké množství jedovatých zplodin v závislosti na délce hašení, ale i déle. Ohrožují tím zdraví obyvatel okolních obcí a měst, poškozují životní prostředí. Dalším nebezpečím je poškození skládkového tělesa v důsledku požáru a únik jedovatých látek do půdy.

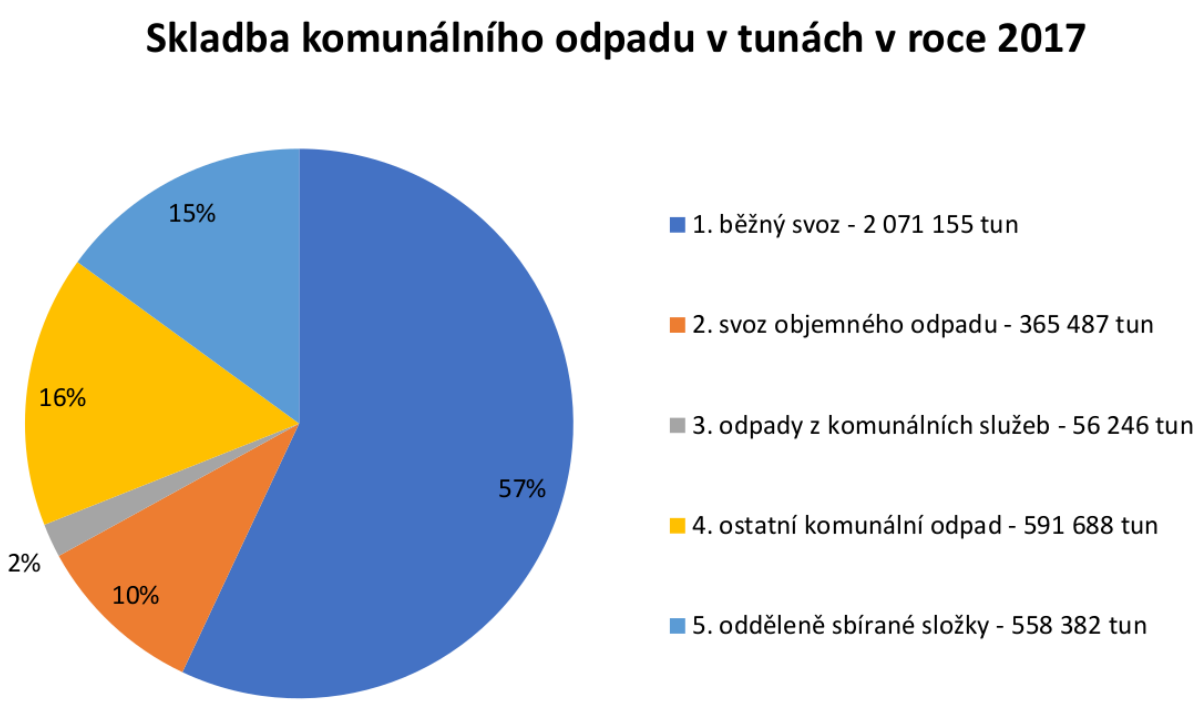
2 Charakteristika komunálního odpadu a jeho vlastnosti

Komunální odpad definujeme dle rozhodnutí Komise č.753/2011/EU jako „odpad z domácností a podobný odpad, který je svým složením srovnatelný s odpadem z domácností, s výjimkou odpadu z výroby a odpadu ze zemědělství a lesnictví. V metodickém souladu s výše uvedeným rozhodnutím se do komunálního odpadu zahrnuje veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, který je zařazen do skupiny 20 Katalogu odpadů. Dále jsou zahrnuty i odpady vyprodukované subjekty zapojenými do obecního systému sběru odpadů, patří sem např. školy, úřady či drobní živnostníci, včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu skupiny 1501 Katalogu odpadů.

Vzhledem k charakteru materiálu obsaženého v komunálním odpadu se jedná o heterogenní hořlavou směs. Obsahuje například papír, sklo, plasty, kovy, textil, zbytky potravin, zahradní zbytky, smetky, gumu, popel atd. Charakter komunálního odpadu se liší například podle typu zástavby, sídla, ročního období atd.

[1]HZS Libereckého kraje, Šumavská 414/11, 46001 Liberec, richard.michna@hzslk.cz

2.1 Průměrné složení komunálního odpadu



Obrázek 1: Průměrné složení komunálního odpadu.

V roce 2017 bylo v České republice vyprodukováno 3,6 mil. tun komunálního odpadu.

Běžný svoz (odpad z popelnic, kontejnerů nebo pytlových svozů) – 57 %, objemný odpad (koberce, nábytek apod.) – 10 %, pouhá 2 % připadají na odpady z komunálních služeb (odpady z čištění ulic, odpadkové koše), ostatní komunální odpad (např. odpadní zemina a kameny, odpad z údržby zeleně – 16 %, odděleně sbírané složky 15 % (Papír – 30 %, Plasty – 25 %, Sklo – 24 %, Kov – 6 %) [5].

3 Základní příčiny vzniku požárů komunálního odpadu

Požáry skládek můžeme rozdělit podle místa vzniku do dvou kategorií. Jedná se o povrchové a podpovrchové (podzemní) požáry skládek komunálního odpadu.

3.1 Povrchové požáry skládek komunálního odpadu a jejich příčiny

Povrchové požáry skládek komunálního odpadu zahrnují nezkomprimovaný odpad nebo nedávno uložený odpad, který se nachází blízko povrchu skládky. Tyto požáry zasahují obvykle do hloubky 30 cm až 150 cm a mohou být podpořena skládkovým plynem metanem, který způsobuje rychlé šíření požáru po tělese skládky. U těchto požárů hrají velkou roli povětrnostní podmínky např. déšť. V případě přívalových dešťů a dlouhodobých srážek se může významně zkrátit doba likvidace požáru.

V případě dlouhodobého suchého počasí, vysokých teplot a silného větru se jedná o krajně nepříznivé podmínky, které způsobují rozšiřování požáru po ploše skládky a znesnadňují zdolávání požáru.

3.1.1 Příčiny vzniku povrchových požárů

Žhavé částice přítomné v odpadu svezené sběrnými vozidly

Nejčastější výskyt těchto částic jez odpadů pocházejícího z obcí. (např. popel z kamen na tuhá paliva atd.) Po zhutnění ve sběrném voze se tyto částice dostanou na skládku a po smíšení s ostatním odpadem a za přístupu vzdušného kyslíku může dojít k požáru.

Kouření – odhození nedopalku cigarety

V případě řízené a oplocené skládky je tato možnost omezena na zaměstnance skládky, popřípadě řidiče sběrných vozů (tzn. porušení provozního řádu skládky nebo návazných bezpečnostních předpisů).

Nedbalostní jednání osob

Vzhledem k různorodosti odpadů vyvážených na skládky a možnému výskytu elektroniky, kabelů, a přístrojů s obsahem drahých kovů nelze vyloučit vznik požáru od vypalování kabelů osobami, které se snaží tyto kovy dále využít.

Nedodržení technologické kázně

Sem můžeme zahrnout různé jiné postupy a manipulace v prostoru skládky, které se liší od provozního řádu nebo jiných bezpečnostních předpisů.

Technické závady na strojním zařízení skládky

Tuto příčinu vzniku požáru lze minimalizovat vhodnou volbou použité techniky a zajištěním pravidelných technických prohlídek a revizí stanovených výrobcem zařízení.

Úmyslné založení požáru

Úmyslné založení požáru skládky nelze zcela vyloučit. Tuto příčinu lze omezit vhodným oplocením prostoru skládky, popřípadě instalací kamerového systému, nebo zajištěním ostrahy areálu skládky.

3.2 Podpovrchové (podzemní) požáry skládek komunálního odpadu

Podzemní neboli podpovrchové požáry skládek komunálního odpadu vznikají hluboko pod povrchem skládky a zahrnují materiály, které jsou měsíce nebo i roky staré. Likvidace těchto požárů je obtížná. Hrozí zde riziko vzniku dutin nebo kaveren v tělese skládky a následných propadů povrchu skládky. Nejčastější příčinou vzniku podzemních požárů je zvýšení koncentrace kyslíku v tělese skládky. Ta zvyšuje aktivitu bakterií a následným aerobním rozkladem i teplotu v tělese skládky, která může překročit teplotu samovznícení některých materiálů nebo skládkových plynů. Tyto požáry mohou ve skládce probíhat po dobu několika týdnů nebo měsíců bez příznaků. Nahromaďují se zplodiny nedokonalého hoření v tělese skládky, okolních budovách či jímkách. Zejména jde o oxid uhelnatý, který je toxický a hořlavý. Může dojít k ohrožení zdravý osob pohybujících se v prostoru skládky. Podzemní požáry jsou často zjistitelné jen podle slabého kouře na některé části skládky.

Další možností detekce požáru je měření koncentrací oxidu uhelnatého ve skládkovém plynu, nebo měření teploty plynů odváděných ze skládky. Prevence vzniku podzemních požárů skládek komunálního odpadu je velmi důležitá. Likvidace takového požáru je velmi složitá a nákladná. Použití vody k likvidaci podzemních požárů je velmi omezené a v některých případech, pokud by došlo k ohrožení podzemních vod, i nemožné. Těleso skládky se musí otevřít pomocí těžké techniky a odkrýt ohniska požáru, která lze následně hasit vodou. Při podzemních

požárech komunálního odpadu může dojít k porušení těsnících fólií a nepropustné izolační vrstvy skládky, následnému úniku nebezpečných skládkových vod, výluhů a kontaminaci podzemních vod.

3.2.1 Příčiny vzniku podpovrchových požárů

Příčinou vzniku tohoto požáru je samovznícení navezeného a zpravidla nedokonale zhutněného odpadu. Samovznícení je vznícení materiálu vlivem samozahřívání látek, kdy teplo není v dostatečné míře odváděno do okolí. Takto nahromaděné teplo v tělese skládky způsobí vznícení hořlavého materiálu v jeho blízkosti. Ve většině případů dochází k nedokonalému hoření, nebo pomalé oxidaci látek.

Druhy samovznícení jsou fyzikální, chemické a biologické nebo jejich kombinace. V praxi totiž nelze vyloučit, že se na skládku přiveze jakýkoliv druh hořlavého nebo chemicky aktivního materiálu, který samovznícení přímo způsobí nebo k samovznícení nepřímo dopomůže.

Fyzikální samovznícení

– adsorpce plynů a par za přítomnosti katalyzátoru, nebo zvýšená teplota prostředí. Příkladem je samovznícení uhlí, které je zpočátku způsobeno adsorpcí plynů a par na povrchu uhelné hmoty. K fyzikálnímu samovznícení řadí i tzv. tepelné samovznícení. To je způsobeno zvýšenou teplotou prostředí (cca 100 $^{\circ}C$), která dlouhodobě působí na hořlavý materiál a postupně způsobí oxidaci materiálu. K tomuto druhu samovznícení jsou náchylné zejména vláknité organické materiály.

Chemické samovznícení

Příčinou je exotermická reakce látek. Tato reakce doprovázená dostatečnou teplotou okolního prostředí může vést ke samovznícení reagujících látek a hořlavých látek přítomných v okolí. Nejrozšířenější skupinou samovznětlivých chemických látek jsou vysychavé oleje a výrobky z těchto olejů. Tyto oleje obsahují ve svých molekulách dvojné vazby, na které se váže kyslík a způsobuje jejich houstnutí a tvrdnutí. Přitom dochází k uvolňování tepelné energie, její akumulaci a následnému samovznícení. Příkladem je zahuštěný lněný olej nebo jeho směs s jinými vysychavými oleji, který je nasáklý v bavlněných kusech látky.

Biologické samovznícení

U rostlinných produktů a zbytků uložených ve větších celcích v krytých a tepelně izolovaných prostorách dochází k samovolnému zahřívání na teploty, při kterých se mohou okolní nahromaděné hořlavé materiály vznítit. Podmínkou je nerovnoměrné rozložení vlhkosti a jakosti vrstvené organické hmoty. Podstatou je činnost bakterií, které svou činností zvyšují teploty biologického materiálu až na teplotu 75 $^{\circ}C$. To je již dostačující pro rozpad jednoduchých rostlinných látek, ve kterých vzniká uhlík. Uhlík dále oxiduje za vzniku tepla. V prostoru skládky dochází k přirozenému procesu nazývaném anaerobní fermentace. Je to biologický proces rozkladu organické hmoty, který probíhá bez přístupu vzduchu. Směsná kultura mikroorganismů při tomto procesu postupně rozkládá organickou hmotu, která se stává živným substrátem pro další skupinu mikroorganismů [4].

4 Statistika požárů skládek v Libereckém kraji

Požáry skládek komunálního odpadu jsou charakteristické dlouhou dobou zásahu, velkým množstvím použité techniky, hasičů a hasiv. Hašení je ekonomicky náročné oproti uchráněným hodnotám, které jsou ve většině případech nulové. Oproti tomu škody na životním prostředí

mohou být vlivem poškození konstrukce skládky a unikajícími zplodinami velké. I když technologie, skládkování komunálního odpadu a monitoring jsou v současné době na většině skládek na dobré úrovni, požáry se jim z výše popsaných důvodů nevyhýbají. V Libereckém kraji došlo od roku 2010 k 21 požárům skládek komunálního odpadu. Nejsou zde však zahrnuty požáry dočasných skládek komunálního odpadu, požáry ve sběrných dvorech, spalovně odpadů firmy Termizo a především černých skládek odpadů dovezených ze zahraničí.

Tabulka 1: Požáry skládek komunálních odpadů v období 2010-2019 [1].

Skládka komunálního odpadu	Počet požárů	Datum
Hejnice	**3**	04.07.2010, 16.03.2015, 23.04.2016
Osečná-Druzcov	**3**	05.06.2013, 19.07.2013, 07.03.2015
Košťálov	**6**	23.03.2014, 30.06.2015, 03.04.2016, 01.07.2016, 31.05.2018, 01.05.2019
Větrov	**4**	07.06.2015, 29.05.2017, 12.09.2018, 29.06.2019
Volfartice	**5**	21.06.2013, 18.07.2014, 17.06.2018, 15.02.2019, 16.02.2019

5 Metody likvidace požárů skládek u nás a v zahraničí

Požáry skládek tuhých odpadů jsou charakteristické obtížně přístupnými ohnisky hoření pod povrchem odpadu, skrytými cestami šíření požáru a skrytými dutinami neboli kavernami, nedokonalým hořením a vznikem toxických zplodin hoření a silným vývinem kouře.

Likvidace požáru skládek je komplikována obtížnou přístupností k ohniskům hoření, protože zde nejsou k dispozici zásahové cesty.

Hrozí zde nebezpečí propadnutí nebo poškození požární techniky jako prořízntutí pneumatik, prořízntutí hadic apod. V okolí místa zásahu zpravidla nejsou dostatečné zásoby vody k hašení a ta se musí na požářiště dovážet. Účinnost použitých hasiv je malá vzhledem k různorodosti hořících materiálů a nedostupnosti ohniska požáru.

5.1 Metody likvidace požárů skládek v České republice

V České republice se při likvidaci požárů skládek postupuje podle situace na místě požáru a dále dle „Bojového řádu jednotek požární ochrany“, metodického listu č. 26 „Požáry skládek tuhých odpadů, kterým se stanový jednotný postup při likvidaci požáru. Je třeba zamezit intenzivnímu plamennému hoření za účelem získání přístupu k ohniskům požáru. Následně se postupuje zpravidla těmito způsoby:

- zaplavením ohnisek požáru velkým množstvím vody s možností použití smáčedel,
- zaplavením ohnisek inertním materiálem jako popílek, kaly apod.,
- hašení pěnou se provádí jen v případě hašení požárů pneumatik,
- injektáží vody do tělesa skládky,
- rozrušením skládky pomocí účinků proudů vody na ohnisko,
- postupným rozebráním skládky a zkrápěním vytěženého materiálu,
- zkropením nebo zaplavením povrchu skládky nad ohnisky požáru a následným zhutněním pomocí těžkých mechanismů,
- zavezením povrchu skládky zeminou a následným zhutněním.

5.2 Metody likvidace požárů skládek tuhých odpadů v zahraničí

Postup likvidace požáru skládky tuhých odpadů je vždy závislý na charakteru odpadu, který hoří, dále potom na mocnosti odpadu a na typu požáru. Podle toho, zda se jedná o podpovrchové nebo povrchové požáry skládek, volíme postup likvidace. Mnoho rozdílů v metodách likvidace požárů v ČR a v zahraničí nenajdeme. V zahraničí se můžeme setkat s těmito metodami:

- zabránění přístupu kyslíku k ohnisku,
- vytěžení hořícího materiálu a následné uhašení,
- aplikace vody do ohniska požáru,
- injektáž hasební látky do ohniska požáru,
- kontrolované zrychlené spálení hořlavého materiálu.

Z hlediska taktiky zásahu se používají dvě metody hašení požárů skládek komunálního odpadu. Likvidace požáru „In situ“, tedy přímo v prostou nebo v tělese skládky, nebo likvidace požáru skládky „Ex situ“, tedy mimo prostor nebo těleso skládky pevných odpadů.
Metody „Ex situ“ můžeme rozdělit na:

- vykopání ohniska požáru,
- vykopání hořících části z tělesa skládky a následné uhašení mimo těleso skládky.

Metoda „In situ“, tedy přímo v tělese skládky, kdy je k uhašení požáru tuhých odpadů použit inertní plyn dusík nebo oxid uhličitý. Protože jde o nehořlavé plyny, funguje tato metoda na principu vytěsnění kyslíku z tělesa skládky a prostoru hoření a tím k uhašení ohniska požáru. V případě použití této metody je nutné, aby bylo těleso skládky neprodyšně zakryté a odpad na skládce dokonale zhutněn. Pokud by tyto dvě podmínky nebyly dodrženy, bylo by hašení pomocí injektáže inertních plynů neúčinné, protože by došlo k úniku hasebních plynů do atmosféry nebo mimo ohnisko požáru. Metodu „In situ“ můžeme rozdělit na:

- zavezení a utěsnění povrchu skládky,
- injektáž inertních plynů s použitím dusíku nebo oxidu uhličitého,
- kryogenní metodu – injektáž tekutého dusíku,
- injektáž vody,
- injektáž pěny [4].

6 Rizika a dopady na životní prostředí

Požár skládky tuhých odpadů se velice obtížně likvidují. Při tom produkují jedovaté zplodiny hoření po dobu několika dnů a někdy i déle. Do životního prostředí (např. půdy, spodních vod, ovzduší atd.) unikají jak produkty hoření, tak vody z hasebního zásahu. Často bývá poškozeno těsnění skládky samotným požárem, nebo dojde k přetečení záchytných jímek vodou z hašení a tím pádem úniku mimo skládku.

Produkty hoření lze rozdělit podle skupenství na plynné, kapalné a pevné. V následující tabulce č. 2 jsou zplodiny schematicky rozděleny podle skupenství a druhu zplodin, které se uvolňují během dokonalého a nedokonalého hoření [3].

Tabulka 2: Druhy zplodin hoření [2].

ZPLODINY	**Plynné**	dým kouř	dokonalé hoření	CO_2, N, SO_2, halogenvodíky, NO_x
			nedokonalé hoření	CO, kyanovodík, uhlovodíky
	Kapalné	páry mlhy	dokonalé hoření	vodní pára
			nedokonalé hoření	uhlovodíky, alkoholy, aldehydy, ketony
	Pevné	popel	dokonalé hoření	oxidy, uhličitany, fosforečnany, sírany
			nedokonalé hoření	částečně degradovaný materiál
		kouř	dokonalé hoření	oxidy, fosforečnany, částečky popele
			nedokonalé hoření	saze, nespálené částice hořící látky

7 Příklad – požár pneumatik na skládce komunálního odpadu Osečná-Druzcov

Na příkladu požáru skládky komunálního odpadu (pneumatik) si můžeme ukázat průběh zásahu, nasazení sil a prostředků, počet jednotek, spotřebu hasiv a dobu trvání zdolání požáru.

Pravděpodobný vznik 7. 3. 2015 v 02:00 hodin, zpozorování 02:30 hodin, ohlášení 2:43 hodin.



Obrázek 2: Obrázky ze zásahu

- povolání těžké techniky 03:46 hodin
- převzetí VZ (stanice Liberec) 04:03 hodin
  - zhodnocení situace – počet S a P (8xCAS), zásoba hasiva na místě (cca 1200l pěnidla), dostupnost těžké techniky (pásový bagr), dostupnost velkého množství ze-

miny (možné hasivo), počet hasičů na místě události, povětrnostní podmínky, parametry požáru

- oznámení ŘD HZS LK 04:11 hodin
- zahájení hašení pěnou 04:18 hodin
  - požadavek na zásobu pěnidla 04:21 hodin
- ukončení zásahu pěnou 05:05 hodin
- lokalizace požáru 05:05 hodin
- další hašení formou zasypávání zeminou
- starosta obce Osečná
  - oznámení 03:39 hodin
  - na místě 03:44 hodin
- odjezdy jednotek PO 06: 23 hodin – 08:34 hodin
- odjezd ŘD ÚO Liberec 06:53 hodin
- odjezd ZPP ÚO Liberec 07:00 hodin
- likvidace požáru 07:26 hodin
- převzetí VZ 08:00 hodin
  - JSDHO Osečná, JSDHO Český Dub, kontrola místa požáru
- ukončení zásahu 09:47 hodin

7.1 Shrnutí

- celková plocha požáru 2 000 m^2
  - fronta hašení 30 m
- celkem JPO 8
  - CAS 8
  - DA 2
  - dýchací technika 15
  - celkem hasičů 43
- spotřebovaná hasiva
  - voda 118 800 litrů, pěnidlo 1 760 litrů
- příčina požáru
  - úmyslné zapálení, pachatel nezjištěn
  - přímá škoda 90 000,- Kč
  - uchráněné hodnoty 0,- Kč

Tabulka 3: Nasazení jednotek PO.

Jednotka PO	Ohlášeno (hod.)	Výjezd (hod.)	Příjezd (hod.)	Čas (min)	Technika	Osádka
JSDHO Osečná	02:44	02:53	03:00	17	CAS 20/4500/300-S2R	1+3
HZS LK - stanice Jablonné v Pojdeštědí	02:44	02:46	03:09	26	CAS 15/2200/135-M2T	1+3
JSDHO Osečná –Druzcov	02:45					
JSDHO Křižany	02:49	02:59	03:05	22	CAS 30/4300/300-S3R	1+2
JSDHO Světlá pod Ještědem - Rozstání	02:49	02:55	03:01	18	CAS 32/6000/600-S3R VEA-L2	1+2 1+4
JSDHO Český Dub	02:50	02:56 03:32	03:09 03:52	26 69	CAS 32/8200/800-S3R CAS 24/3500/200-M2R	1+3 1+6
HZS LK – stanice Liberec	03:27 05:24	03:29 05:25	03:55 05:50	72 187	CAS 20/4000/250-S2T CAS 30/9000/540-S3VH PKN-S2	1+4 1+1 1+1
JSDHO Janův Důl	03:30	03:40	03:50	67	OA-L2 (PS8)	1+3
JSDHO Světlá pod Ještědem	04:00	04:20	04:30	107	OA-L2 (PS8)	1+1

Tabulka 4: Seznam zkratek.

ČR	Česká Republika
VZ	Velitel zásahu
HZS LK	Hasičský záchranný sbor Libereckého kraje
ŘD HZS LK	Řídící důstojník HZS LK
Jednotky PO/ JPO	Jednotky požární ochrany
ŘD ÚO Liberec	Řídící důstojník územního odboru Liberec
ZPP ÚO Liberec	Vyšetřovatelé zjišťování příčin požárů územního odboru Liberec
JSDHO	Jednotka sboru dobrovolných hasičů obce
CO_2	Oxid uhličitý
CO	Oxid uhelnatý
NOx	Oxidy dusíku
SO_2	Oxid siřičitý
SaP	Síly a prostředky
CAS	Cisternová automobilová stříkačka
VEA	Velitelský automobil
PKN	Požární kontejnerový nosič
DA	Dopravní automobil

Literatura

[1] Statistika krajského operačního střediska Hasičského záchranného sboru Libereckého kraje k 1.10.2019.

[2] BROUMOVSKÁ, I.: Speciální chemie pro požární ochranu: učební texty. 2008, vyd. 3., (přeprac.). Praha: Ministerstvo vnitra, generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 171 s. ISBN 9788086640884.

[3] HAVRDA, A.: Vliv požárů skládek komunálních odpadů na kontaminaci životního prostředí. 2013, bakalářská práce VŠB TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta Institut environmentálního inženýrství.

[4] KYSELA, J.: Požáry skládek a metody jejich likvidace. 2012, diplomová práce VŠB TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta Institut environmentálního inženýrství.

[5] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, ODDĚLENÍ STATISTIKY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ: Produkce, využití a odstranění odpadu a produkce druhotných surovin - analýza. 2018.

Problemfälle der Kreislaufwirtschaft

Obtíže oběhového hospodářství

Beräumung von illegalen Abfallablagerungen in Brandenburg: Erfassung, Bewertung, Priorisierung

Likvidace nelegálních skládek odpadů v Braniborsku: registrace, vyhodnocení, stanovení priorit

Eberhardt Casals[1], Reiner Drewes[2]

Kurzfassung

Im Land Brandenburg bestehen über hundert illegale Abfalllager (IL), die aus unterschiedlichen Ursachen entstanden sind. Seit 2008 werden einige dieser Standorte durch das Landesamt für Umwelt zuständigkeitshalber bearbeitet. Um eine Einschätzung der Umweltauswirkungen vornehmen zu können wurden die Daten dieser Abfalllager erfasst. Anhand eines erarbeiteten Kriterienkataloges wurden die Auswirkungen der Abfälle bzw. des IL auf Schutzgüter (Wasser, Boden, Luft), Anwohner, Flora und Fauna, etc. bewertet und anhand von Ranking-Tabellen nach Menge und Umweltauswirkung gelistet. Damit soll eine Grundlage geschaffen werden, Prioritäten in der weiteren Bearbeitung zu setzen. Ab Herbst 2017 wurde das illegale Abfalllager Neuendorf/Raben nach einer europaweiten Ausschreibung in 3 Bauabschnitten zurück gebaut und alle Abfälle beräumt und entsorgt. Grundlage für die Ausschreibung war eine sorgfältige Inventarisierung der Abfälle nach Untersuchung und Zuordnung zu Abfallschlüsseln. Nach Abschluß der Beräumung im Frühjahr 2019 kann die Fläche renaturiert werden. Für die Beseitigung der etwa 50.000 t Abfälle wurden mehr als 7 Mio. Euro aufgewendet.

Abstrakt

Ve spolkové zemi Braniborsko existuje více než stovka nelegálních úložišť odpadů, která vznikla z nejrůznějších příčin. Od roku 2008 jsou z důvodů kompetencí některé z těchto lokalit řešeny Zemským úřadem pro životní prostředí. Za účelem posouzení vlivů na životní prostředí byla shromážděna data k těmto úložištím. Na základě katalogu kritérií byly vyhodnoceny vlivy těchto odpadů, případně těchto ilegálních úložišť na předměty ochrany (voda, půda, ovzduší), obyvatelstvo, rostliny a živočichy atd. Na základě tabulek s rankingem byly sestaveny do seznamu podle množství a vlivů na životní prostředí. Tím by měl vzniknout základ pro stanovení priorit pro další zpracování. Počínaje podzimem 2017 bylo po proběhlém celoevropském zadávacím řízení odtěženo ilegální úložiště odpadů Neuendorf/Raben. Práce probíhaly ve třech etapách, odpady byly odtěženy a zlikvidovány. Základem pro zadávací řízení byla pečlivá inventarizace odpadů, provedená na základě jejich průzkumu a zařazení podle klíče odpadů. Po ukončení odtěžování na jaře 2019 je možno celou plochu renaturalizovat Na odstranění zhruba 50.000 t odpadů bylo vynaloženo více než 7 milionů EUR.

[1]CDM Smith Consult GmbH, Bouchéstr. 12 (Haus 8), 12435 Berlin; Tel.: +49 (0) 30 5302388-0, Eberhard.Casals@cdmsmith.com

[2]Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg, Potsdam (LfU), Abteilung Technischer Umweltschutz 1, Referat T 16 – Abfallwirtschaft. Postfach 601061, 14410 Potsdam, OT Groß Glienicke. Tel.:+49 (0) 33201 442 557; Reiner.Drewes@LfU.Brandenburg.de

1 Einleitung

Im Land Brandenburg existieren 68 Illegale Abfalllager (IL), die in den Zuständigkeitsbereich des Landesamtes für Umwelt (LfU) fallen und ehemals über Immissionsschutz-rechtliche Genehmigungen verfügten. Weitere IL fallen in den Rechtsbereich der dem Bergrecht unterliegenden Gebiete (Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe –LBGR) und den nach dem Baugesetz durch die Landkreise genehmigten Anlagen. Sie werden im allgemeinen Sprachgebrauch unter dem Begriff „Illegale Abfalllager“ zusammengefasst, die Ursachen für die Entstehung dieser Abfalllager sind dabei vielfältig: Sie reichen von der von Anfang an vorsätzlichen illegalen Lagerung nach Art und Menge nicht zugelassener Abfälle über wirtschaftliches Missmanagement bis hin zur fälschlichen Auslegung der Genehmigung. In wenigen Fällen kann daher auch von „illegalen Deponien“ ausgegangen werden, nämlich dann, wenn die illegale Annahme und Ablagerung der Abfälle mit dem Ziel verfolgt wurde, diese endgültig abzulagern und nicht zu behandeln. Im Jahr 2008 wurden 45 der seinerzeit erfassten 108 IL in der „Abfall- und Bodenschutz-Zuständigkeits-Verordnung BRB (AbfBodZV)“ der Zuständigkeit des LfU zugewiesen.

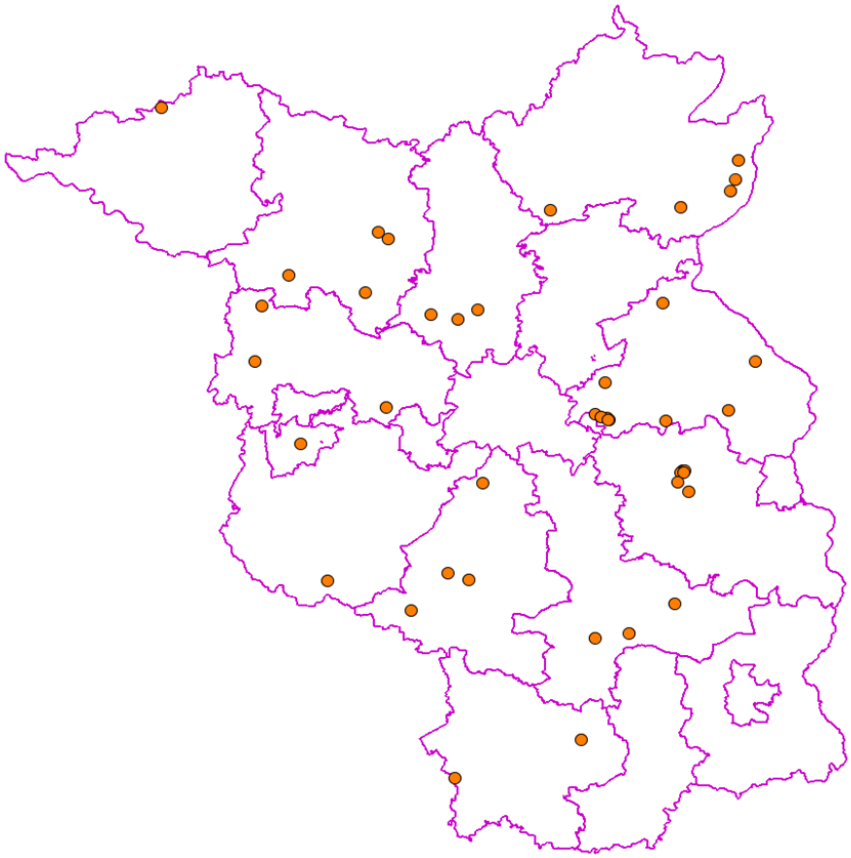


Abbildung 1: Übersichtskarte über die räumliche Verteilung der 45 illegalen Abfalllager im Land Brandenburg.

2 Erfassung von illegalen Abfalllagern

In einer Bestandsaufnahme wurden in den Jahren 2013 und 2014 die aktuellen Daten der Abfalllager erhoben, um zunächst eine Einschätzung der Umweltauswirkungen vornehmen zu können. Dabei wurde festgestellt, daß nur noch 35 IL als solche vorhanden waren, 10 Lager waren entweder schon beräumt, befanden sich in Beräumung oder waren wieder legalisiert in Betrieb. Es wurden die Standortdaten: die genaue Lage jedes Abfalllagers, Anzahl der

Haufwerke, Ausbreitung und Größe der Haufwerke bzw. der Abfälle, Abfallbezeichnung, Abfallschlüssel, Vorhandensein gefährlicher Abfälle, Volumen der einzelnen Haufwerke und das Gesamtvolumen der Abfälle, Besonderheiten in der Örtlichkeit, Abstand zur Wohnbebauung bzw. Gewerbe sowie Abstand zu sichtbaren Gewässern erhoben und dokumentiert.

In 2019 wurden zu bislang 21 weiteren Standorten diese Daten erhoben, davon 19 in einem Auftrag des Landesamtes für Umwelt, ein Standort im Auftrag eines Amtsgerichts und ein Standort in privatwirtschaftlichem Auftrag.

Die in den IL angetroffenen Abfälle wiesen eine hohe Verschiedenheit auf und reichten von bereits gepressten Ballen von Kunststoffabfällen, die regelmässig aufgestapelt waren, über große Altreifenhaufwerke und Bauschutt- und Bodenmaterialien bis hin zu Klärschlamm und Spuckstoffen (Kunststoff-haltigen Abfällen aus der Papierherstellung).



Abbildung 2: Foto des illegalen Abfalllagers Nr. 304.



Abbildung 3: Foto des illegalen Abfalllagers Nr. 275.

3 Bewertung und Priorisierung

Anhand eines „Kriterienkataloges“ wurden die Auswirkungen der Abfälle bzw. des IL auf die Schutzgüter, der Anwohner, Flora und Fauna, etc. bewertet und anhand von Ranking-Tabellen nach Menge und Umweltauswirkung gelistet. Folgende Kriterien wurden dabei herangezogen:

Tabelle 1: Kriterien für ein Ranking von Standorten illegaler Abfalllager in Brandenburg.

Kriterien-Nr.	Kriterien
1.1	Allgemeine Kriterien: **Menge der gelagerten Abfälle**
1.2	Allgemeine Kriterien: **Art der Lagerung**
2.1	Wasser: **Grundwasser**
2.2	Wasser: **Oberflächengewässer**
3	**Luft**
4	**Boden**
5.1	Natur: **geschützte Gebiete**
5.2	Natur: **geschützte Arten**
6.1	Schadensereignisse: **Brände**
6.2	Schadensereignisse: **allgemeine Sicherheit und Ordnung**

Im Ergebnis der Bestandsaufnahmen wurden die folgenden Rankings der derzeit 67 noch nicht beräumten IL im Verantwortungsbereich des LfU erzielt: In der Übersicht nach Mengen bildet das Abfalllager mit der internen Nr. 274 mit insgesamt ca. 232.000 m3 Abfällen die derzeitige Nummer 1. Den niedrigsten Rang belegt das Lager mit der internen Nr. 32 mit insgesamt ca. 100 t abgelagerten Abfällen. In der Übersicht anhand der o.g. Kriterien nimmt das Abfalllager mit der internen Nr. 275 den Rang Nummer 1 ein, auf dem zwar mit „nur“ etwa 135.000 m3 weniger Abfälle als auf einem anderen illegalen Lager lagern, aufgrund hoher Bewertungen in den Kriterien „geschützte Gebiete“, „Schadensereignisse Brände“ und „Grundwasser“ sich aber insgesamt eine höhere Punktzahl und damit Dringlichkeit für eine Beräumung ergibt.

Die Bewertungen in den einzelnen Kriterien wiesen folgende Bandbreite auf:

Tabelle 2: Bewertungszahlen für einzelne Kriterien in dem durchgeführten Ranking.

Nr.	Kriterien	von	bis
1.1	Allgemeine Kriterien: **Menge der gelagerten Abfälle**	0	4
1.2	Allgemeine Kriterien: **Art der Lagerung**	0	4
2.1	Wasser: **Grundwasser**	0	150
2.2	Wasser: **Oberflächengewässer**	0	55
3	**Luft**	0	98
4	**Boden**	0	42
5.1	Natur: **geschützte Gebiete**	0	70
5.2	Natur: **geschützte Arten**	0	39
6.1	Schadensereignisse: **Brände**	0	160
6.2	Schadensereignisse: **allgemeine Sicherheit und Ordnung**	0	28

Beispielhaft werden nachfolgend die ersten 10 Plätze im Ranking dargestellt, wie sich die

Priorisierung aus den Bewertungen für die einzelnen Kriterien ergeben.

Tabelle 3: Bewertungszahlen für einzelne Kriterien in dem durchgeführten Ranking.

ZuVO-Nr.	iL-Nr.	iL-Standort	1.1	1.2	2.1	2.2	3	4	5.1	5.2	6.1	6.2	Ges.	Rang
ohne	275	Mark Landin	4	3	110	24	98	42	70	36	160	24	564	1
30	33	Vogelsdorf	4	3	140	26	98	39	42	0	160	28	533	2
92	98	Jänickendorf*	3	2/3	150	0	84	36	39	36	160	26	531	3
ohne	132	Senftenberg	3	2	140	20	84	27	60	30	140	20	521	4
32	34	Vierlinden	3	2	150	22	70	36	36	0	130	18	462	5
54	59	Rüdersdorf	3	3	130	24	84	30	39	27	110	18	462	6
ohne	279	Fürstenwalde	3	2	100	60	70	21	50	0	140	20	461	7
ohne	280	Fichtwald	3	3	100	24	77	39	50	0	120	26	436	8
68	73	Petersdorf	3	3	110	20	77	33	39	27	100	26	432	9
53	58	Rüdersdorf	3	2	140	22	0	33	36	24	110	16	381	10
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
69	74	Friedrichsthal	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44

* gegenwärtig in Beräumung befindlich

Zu einer Beräumung im Rahmen der Ersatzvornahme sieht sich das Land Brandenburg allerdings nur dann verpflichtet, wenn von den abgelagerten Abfällen eine direkte Gefahr ausgeht. Hierzu hat es bisher nur einen Fall gegeben, gleichwohl stellen die beschriebenen Abfalllager für die betroffenen Kommunen ein erhebliches Ärgernis dar: sie verschandeln das Ortsbild und stellen einen Anziehungspunkt für weitere illegale Abfallablagerungen und im Extremfall für Brandstiftungen dar. Das Umweltministerium strebte daher im Rahmen seiner finanziellen Möglichkeiten die Beräumung der IL an. Voraussetzung dafür ist, dass kein Verursacher oder Grundstückseigentümer mehr herangezogen werden kann und dass die betroffene Kommune die Grundstücke, auf denen die Abfälle lagern, erwirbt.

4 Beräumung des IL Neuendorf/Raben

Eines der größten IL befand sich am Standort Neuendorf/Raben bei Niemegk im Landkreis Potsdam-Mittelmark auf dem Gelände einer ehemaligen Kartoffelsortieranlage, auf dem zwischen 1999 und 2002 durch die ehem. „Firma Fläming Sortieranlagen GmbH“ etwa 50.000 Tonnen Abfälle abgelagert wurden. Das Abfalllager wurde auf der Grundlage einer Betriebserlaubnis durch das damalige Amt für Immissionsschutz betrieben und aufgrund von Unregelmäßigkeiten in 2003 stillgelegt. Es umfasst eine Grundfläche von ca. 30.000 m2, die überwiegend mit Betonplatten versiegelt ist. Neben zwei Lagerhallen existierten dort noch ein Heizhaus und ein Werkstattgebäude. Im Außenbereich befand sich ein großes Becken, in dem ehemals Kartoffeln gewaschen wurden und das ebenfalls mit Abfällen verfüllt worden war. Nach zweimaliger Brandstiftung in den Jahren 2008 und 2011/2012 waren die zwei Lagerhallen z.T. abgebrannt und einsturzgefährdet. Die Wellasbestdächer stürzten dabei auf die teilweise verbrannten Abfälle und die Brände wurden durch die Feuerwehr mit Löschsand gelöscht. Aufgrund der Insolvenz des Betreibers und Grundstücksbesitzers und mit dem Erwerb des Grundstücks durch die Gemeinde Neuendorf wurde die Voraussetzung geschaffen, die Beräumung der hier illegal abgelagerten Abfälle durch das LfU vorzunehmen zu lassen. Hierzu waren zunächst

die genaue Bestandsaufnahme und Ermittlung der vorhandenen Abfälle nach Art und Menge, die Erarbeitung eines Beräumungskonzeptes sowie eine Ermittlung der zu erwartenden Beräumungskosten erforderlich.



Abbildung 4: Blick in das illegale Abfalllager Neuendorf vor der Beräumung.

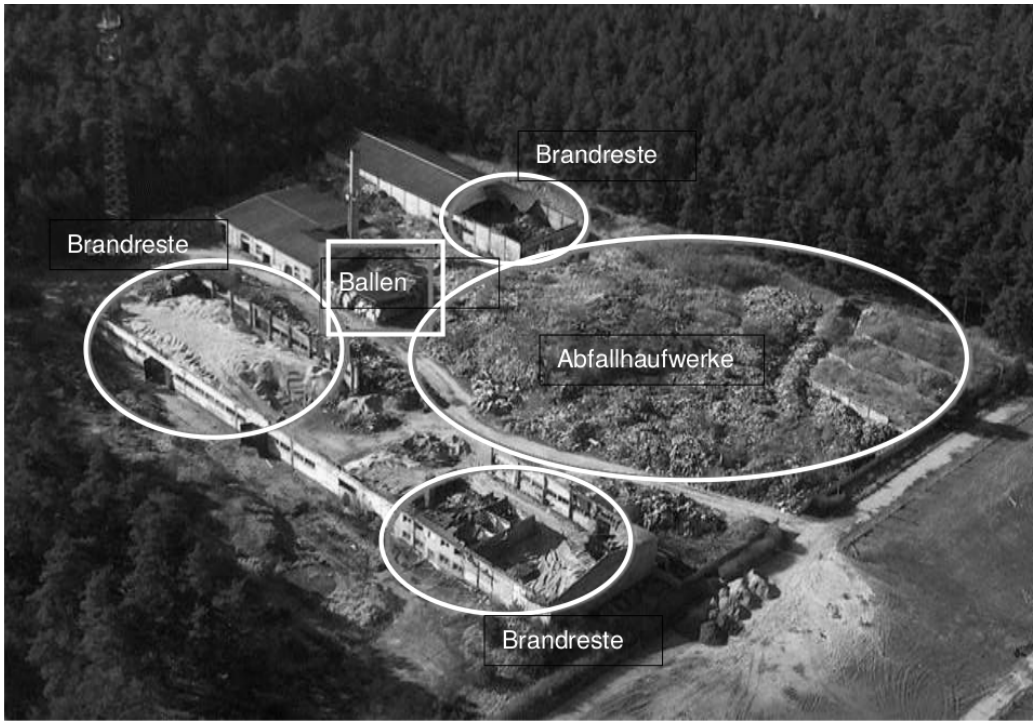


Abbildung 5: Übersicht über das illegale Abfalllager Neuendorf vor der Beräumung.

Das Entsorgungskonzept als Grundlage für eine Europa-weite öffentliche Ausschreibung zur Vergabe der Beräumungs- und Entsorgungsleistungen, wurde im Herbst 2016 durch die Fa.

CDM Smith erstellt. Dabei kam neben der korrekten Deklaration der Mischabfälle mit gefährlichen Bestandteilen wie Asbest und Brandrückständen, der Erfassung und Abfalldeklaration aller am Standort abgelagerten Abfälle eine besondere Bedeutung zu, da die Abfälle eine sehr unregelmäßige Zusammensetzung aufwiesen und seit der Betriebsaufgabe die Haufwerke zudem teilweise stark überwachsen waren. Nach der Vergabe wurde am 16.08.2017 mit dem Rückbau begonnen. In den ersten 2 Bauabschnitten, die von September 2017 bis März 2018 umgesetzt wurden, konnten etwa die Hälfte der abgelagerten Abfälle und der überwiegende Teil der vorhandenen Gebäude einschließlich des Heizhauses und einem etwa 25 m hohen Schornstein beräumt werden. Ab dem Herbst 2018 erfolgte die Beräumung der restlichen Abfälle im 3. Bauabschnitt, welche Ende April 2019 erfolgreich abgeschlossen wurde.

Die Abfälle wurden in Abhängigkeit von den Deklarationsergebnissen entweder einer entsprechenden Deponie zugeführt (gefährliche Abfälle, Asbest, Brandabfälle), sortiert und verwertet oder auch der thermischen Verwertung zugeführt. Das beräumte Gelände soll im Anschluß von der Gemeinde renaturiert werden. Die entsprechenden Abstimmungen zwischen der Gemeinde und der Naturpark-Verwaltung „Hoher Fläming“ werden derzeit durchgeführt.

Erdaushub, Voraussetzungen und Möglichkeiten für die Nutzung von Überschüssen

Výkopové zeminy, podmínky a možnosti využití přebytků

Michal Pasulka[1]

Kurzfassung

Im Rahmen der Bautätigkeit entstehen in der Tschechischen Republik jährlich Tausende m^3 von Erdaushub. Ist es Abfall oder Nebenprodukt? Für die Überschüsse ist die Behandlung des Erdaushubs auch außerhalb der Baustelle zu sichern.

Der Beitrag befasst sich mit der Darstellung von Bedingungen und legalen Möglichkeiten der Nutzung des Erdaushubs im Einklang mit dem Abfallgesetz, aber auch mit der Darstellung der Anwendung dieser Böden außerhalb der Gültigkeit dieses Gesetztes, einschließlich einiger Beispiele aus der Tätigkeit der Tschechischen Umweltinspektion (Česká inspekce životního prostředí).

Abstrakt

V ČR vzniká ze stavební činnosti každoročně tisíce m^3 přebytků výkopových zemin. Je to odpad, nebo vedlejší produkt? S ohledem na tuto přebytkovou bilanci je nutné zajistit nakládání s výkopovými zeminami i mimo lokalitu stavby.

Presentace je věnována popisu podmínek a legálních možností využívání zemin v souladu se zákonem o odpadech, ale také popisu využívání zemin mimo režim tohoto zákona, včetně několika příkladů z činnosti České inspekce životního prostředí.

1 Úvod

Ve svém příspěvku bych Vám rád přednesl aktuální možnosti nakládání s výkopovou zeminou v ČR z pohledu ČIŽP, resp. podle zákona o odpadech.

Z dlouhodobých statistických údajů o produkci odpadů v ČR vyplývá, že převážnou většinu tj. cca 65 % z celkové produkce všech odpadů tvoří stavební a demoliční odpad včetně výkopových zemin. Nakládání se zeminami se tak stalo zcela specifickou záležitostí v oblasti stavební výroby.

2 Jsou, nebo nejsou zeminy odpadem? Jak s nimi nakládat, co vše se smí, ale také co se musí dodržet?

Současné znění zákona o odpadech umožňuje nakládat se zeminou v několika režimech. A to, buď se na zeminu zákon o odpadech vůbec nevztahuje, neboť tato nenaplní definici pojmu „odpad“, nebo se jedná o tzv. vedlejší produkt, který se při splnění stanovených podmínek nestane odpadem, nebo se skutečně jedná o odpad. Každá s těchto variant má ovšem své podmínky.

[1]Česká inspekce životního prostředí, Oblastní inspektorát Liberec, Oddělení odpadového hospodářství, Třída 1. máje 858/26, 460 01 Liberec, michal.pasulka@cizp.cz

Téměř ve všech případech je zemina využívána tzv. „na povrchu terénu“ a je tak v přímém kontaktu s podložím bez jakýchkoliv ochranných bariér proti pronikání případných nebezpečných látek do podloží, zejména pak do povrchových a podzemních vod.

2.1 Možnosti využití zemin v režimu zákona o odpadech

2.1.1 ZEMINA – NEODPAD

Zákon o odpadech v úvodních ustanoveních (§ 2 odst. 3) deklaruje, že se nevztahuje na nakládání s nekontaminovanou zeminou a jiným přírodním materiálem vytěženým během stavební činnosti, pokud je zajištěno, že tato zemina bude použita ve svém přirozeném stavu pro účely stavby na místě, na kterém byla vytěžena. Toto zajištění by mělo být patrné již v přípravné projekční práci, což se velmi často nestává. Způsob využití přebytkových zemin je tak hledán stavitelem až v průběhu realizace stavby často pod tlakem dodržení termínů a finančního rozpočtu záměru.

Uvedenou kontaminaci lze chápat jako zvýšení obsahu škodlivin v zemině nad rámec přirozeného pozadí dané lokality. Jinými slovy do stavby lze v tomto režimu vracet pouze takovou zeminu, která nebyla nikterak znehodnocena, nebo znečištěna (ať již v rámci stavby, nebo před její realizací).

V této souvislosti je potřeba uvést, že prokázání splnění podmínek podle § 2 odst. 3 zákona o odpadech inspekce požaduje na zhotoviteli stavby (kontrolovaném subjektu). Na správním orgánu je v případě pochybností o pravdivosti tvrzení kontrolované osoby, až případné dokazování opaku (např. kontrolními odběry vzorků a chemické analýzy). Nelze tedy přijmout časté argumentace zhotovitele stavby, které navíc nejsou podložené příslušnými dokumenty, že v blíže neurčené budoucnosti bude zemina vrácena zpět do lokality.

Tabulka 1: Tabulka č. 10.1 vyhlášky č. 294/2005 Sb.

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)		
Uhlovodíky $C_{10} - C_{40}$	mg/kg sušiny	300
Ostatní aromatické uhlovodíky (halogenované)		
PCB	mg/kg sušiny	0,2

2.1.2 ZEMINA – ODPAD

Jednoduchá definice říká, že odpadem je každá movitá věc, které se osoba zbavuje, nebo má úmysl či povinnost se jí zbavit.

V praxi může nastat situace, kdy subjekt, kterému výkopová zemina vznikne, se této zeminy nezbavuje, nemá úmysl se jí zbavit a nemá ani povinnost se jí zbavit. Jedná se zejména o situaci, kdy na jedné stavbě zemina vznikne a na jiné stavbě je její nedostatek, tzn., že je možné zeminu na této stavbě využít. V tento okamžik lze konstatovat, že subjekt se zeminy nezbavuje a nemá ani úmysl se jí zbavit, neboť podle zákona o odpadech může zeminu využít sám, aniž by byl vázán na původní místo jejího vzniku. Aby však bylo možné uvažovat v tomto režimu, je nutné, aby samotné využití zemin (např. terénní úpravy), bylo v souladu se zákonem č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a dále, aby se jednalo o zeminy, které kvalitativně vyhovují pro využití na povrchu terénu a jejich umístění nepředstavuje riziko pro novou lokalitu (tj., že splňují kritéria podle vyhlášky č. 294/205 Sb. uvedené v příloze č. 10, tabulce č. 10.1 a č. 10.2).

Další možnosti nakládání, resp. využívání odpadů – zemin, které rozlišuje vyhláška č. 294/2005 Sb. k zákonu o odpadech jsou:

- Odpady využívané k rekultivaci skládek.
- Odpady využívané k zavážení vytěžených povrchových dolů, lomů a pískoven za účelem jejich rekultivace.
- Odpady využívané k terénním úpravám, rekultivacím a jiným úpravám povrchu lidskou činností postižených pozemků, s výjimkou rekultivace skládek.

Tabulka 2: Tabulka č. 10.2 vyhlášky č. 294/2005 Sb.

Testovaný organismus	Doba působení [hodina]	I.	II.
Poecilia reticulata, nebo Brachydanio rerio	96	ryby nesmí vykazovat v ověřovacím testu výrazné změny chování ve srovnání s kontrolními vzorky a nesmí uhynout ani jedna ryba	ryby nesmí vykazovat v ověřovacím testu výrazné změny chování ve srovnání s kontrolními vzorky a nesmí uhynout ani jedna ryba
Daphnia magna Straus	48	procento imobilizace perlooček nesmí v ověřovacím testu přesáhnout 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky	procento imobilizace perlooček nesmí v ověřovacím testu přesáhnout 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky
Raphidocelis subcapitata (Selenastrum capricornutum) nebo Scenedesmus subspicatus	72	neprokáže se v ověřovacím testu inhibice růstu řasy větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky	neprokáže se v ověřovacím testu inhibice nebo stimulace růstu řasy větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky
semena Sinapis alba	72	neprokáže se v ověřovacím testu inhibice růstu kořene semene větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky	neprokáže se v ověřovacím testu inhibice nebo stimulace růstu kořene semene větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky

Pro uvedené možnosti využívání zemin stanoví prováděcí předpis, již výše uvedená vyhláška č. 294/2005 Sb., konkrétní podmínky. Jedná se zejména o limity uvedené v příloze č. 10, tabulce č. 10.1. a č. 10.2 pro odpad použitý na povrchu terénu.

Přičemž např. při využívání biologicky rozložitelných odpadů do svrchní rekultivační vrstvy skládky určené k ozelenění (tzv. biologické rekultivaci skládky) musí být tyto prokazatelně upra-

veny ve smyslu odstranění nebezpečné vlastnosti – infekčnosti technologií, jejíž účinnost se prokazuje podle přílohy č. 5 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.

Dále např. v případě využívání zemin k rekultivaci vytěžených povrchových důlních děl a k terénním úpravám nebo k rekultivacím lidskou činností postižených pozemků v daném místě v množství větším než 1000 t musí být pro toto místo zpracováno tzv. hodnocení rizika v dané lokalitě v souladu se zvláštním právním předpisem (vyhláška č. 99/1992 Sb.).

Případné překročení nejvýše přípustných hodnot jednotlivých ukazatelů se toleruje v případě, že jejich zvýšení odpovídá podmínkám charakteristickým pro dané místo a geologické a hydrogeologické charakteristice místa a jeho okolí, tzv. „pozadí“. A dále, pokud takto využívané odpady při normálních klimatických podmínkách nepodléhají žádné významné fyzikální, chemické nebo biologické přeměně, která by vedla k uvolňování škodlivin do životního prostředí, a pokud jsou upravené limitní hodnoty, uvedeny v provozním řádu příslušného zařízení.

K těmto případům dochází často zejména v ukazateli Arsen, kdy se hodnoty pohybují v rozsahu 10 až 30 $\mathrm{mg/kg}$ sušiny (např. v oblasti severních Čech, přitom limit je 10 $\mathrm{mg/kg}$).

2.1.3 ZEMINA – VEDLEJŠÍ PRODUKT

Vedlejší produkt je definován v zákoně o odpadech tak, že movitá věc, která vznikla při výrobě, jejímž prvotním cílem není výroba nebo získáni této věci, se nestává odpadem, ale je vedlejším produktem, pokud:

- Vzniká jako nedílná součást výroby.
- Její další využití je zajištěno.
- Její další využití je možné bez dalšího zpracování způsobem jiným, než je běžná výrobní praxe a
- Její další využití je v souladu se zvláštními právními předpisy a nepovede k nepříznivým účinkům na životní prostředí nebo lidské zdraví (zákon o odpadech § 3 odst. 5 a odst. 7).

Dále zákon o odpadech stanoví pro vedlejší produkt podmínku, že pro konkrétní způsoby použití vedlejších produktů musí být splněna kritéria pro využití odpadů, pokud jsou stanovena.

To znamená v případě využití zeminy v režimu vedlejšího produktu podobným způsobem, jako je definováno využití odpadů na povrchu terénu, musí i tato zemina plnit podmínky stanovené vyhláškou č. 294/2205 Sb. zmiňované výše, tj. obsah určených nebezpečných látek v sušině, ekotoxicitu a v případě využití více než 1000 tun vedlejšího produktu také posouzení rizik podle zvláštního předpisu.

Z pohledu ČIŽP v tzv. „odpadářské“ terminologii může výkopovou zeminu za vedlejší produkt označit pouze její původce. Nemůžeme akceptovat situaci, kdy výkopová zemina byla původcem zařazena a předána jako odpad a subjekt, který tuto zeminu od původce přijal, by ji následně označil za vedlejší produkt.

Z kontrolní činnosti ČIŽP vyplývá, že výkopové zeminy jsou často využívané na nepovolené terénní úpravy, které nejsou v souladu se stavebním zákonem a inspekci nejsou doloženy rozbory na obsah škodlivin podle tab. č. 10.1. ani ekotoxikologické testy podle tab. č. 10.2 výše zmiňované vyhlášky. Přesto kontrolované subjekty inspekci tvrdí, že nakládají s vedlejším produktem. Zde opět uvádím, že není na inspekci prokazovat, že podmínky nejsou plněny. Pouze v případě pochybností inspekce vyvrací předložené podklady.

3 Příklady z kontrolní činnosti ČIŽP – šetření nakládání s výkopovými zeminami a se stavebními a demoliními odpady – fotodokumentace



Obrázek 1: Lokalita Stráž pod Ralskem, nepovolené nakládání se stavebním a demoličním odpadem a zeminou, bez evidence.



Obrázek 2: Lokalita Machnín u Liberce, nepovolené nakládání se stavebním a demoličním odpadem.



Obrázek 3: Lokalita, rekultivace bývalé cihelny, Královohrádecko, nesplňuje podmínky pro vedlejší produkt.



Obrázek 4: Lokalita Královohrádecko, stavba cesty, zemina nesplňuje podmínky pro vedlejší produkt.



Obrázek 5: Lokalita Královohrádecko, stavba cesty, zemina nesplňuje podmínky pro vedlejší produkt.



Obrázek 6: Lokalita Liberec, sportovní reál Vesec, zavážení lomu a terénní úpravy okolí areálu.

4 Závěr

Nakládání s výkopovými zeminami představuje významný materiálový tok ze stavební a demoliční činnosti a právní normy v oblasti odpadového hospodářství umožňují relativně široké možnosti nakládání a využívání zemin.

To je však pouze za předpokladu splnění podmínek k zajištění ochrany životního prostředí. Inspekce považuje nutné, aby subjekty, které s nimi nakládají, si těchto podmínek byly vědomy a již v době plánování stavební a demoliční činnosti měli zajištěny podklady prokazující, že jimi zvoleny varianta dalšího nakládání je v souladu s právními normami v oblasti OH.

Literatura

[1] Odborný tisk – časopis ODPADY, Odpadové fórum.

[2] Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu, ve znění pozdějších předpisů.

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

Kunststoffsortierung im Recycling

Třídění umělých hmot při recyklaci

Miriam Labbert[1]

Kurzfassung

Kunststoffe sind vielseitige polymere Werkstoffe, die in nahezu allen Bereichen des modernen Lebens Einzug gehalten haben. Dies wird erreicht, indem andere Materialien ersetzt oder neue Eigenschaften und Anwendungen erschlossen werden. Um die Eigenschaften der Kunststoffe im Hinblick auf die Anwendung zu optimieren und eine nachhaltige Ressourcennutzung zu ermöglichen, wird die Materialgruppe der Kunststoffe kontinuierlich weiterentwickelt. Der Trend geht zum einen in Richtung Faserverstärkung und zum anderen in Richtung der sogenannten Biokunststoffe. Die Erweiterung der Anwendungsbereiche von Kunststoffen führt zu einer dramatischen Erhöhung der Menge an Kunststoffsorten, was sich auch innerhalb der verschiedenen Abfallströme widerspiegelt.

Zum Schutze der Umwelt und der Schonung natürlicher Ressourcen wird die Kreislaufführung der Rohstoffe, d. h. Recycling, angestrebt. Recycling umfasst dabei die werk- und rohstoffliche Verwertung der Materialien. Zum Erhalt wiedereinsetzbarer Materialfraktionen aus dem Recycling kommt der Sortierung eine besondere Bedeutung zu. Bisher ist eine möglichst selektive und effiziente Sortierung von Kunststoffen aufgrund unterschiedlicher Materialeigenschaften, des Zusatzes von Modifizierungsmitteln und Vermischung mit anderen organischen und anorganischen Stoffen immer noch ein Problem. Herkömmliche Sortiermethoden wie Elektrostatik-, Dichte- und NIR-Sortierung stoßen schnell an ihre Grenzen. Daher ist es notwendig, neue Trennverfahren und -technologien unter Verwendung verschiedener spezifischer Trennprinzipien zu entwickeln.

Am Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung iTN der Hochschule Zittau/Görlitz wird seit vielen Jahren auf dem Gebiet der Kunststoffsortierung geforscht. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf den sensorgestützten und thermischen Sortierverfahren. Zu den untersuchten Verfahren gehören NIR- und MIR-Sortierung, RFID-Sortierung, klassische und mikrowellengestützte Thermoadhäsion und mikrowellenbasierte thermosensitive Sortierung.

Abstrakt

Umělé hmoty jsou mnohostranné polymerní materiály, které vstoupily do téměř všech oblastí moderního života. A to díky tomu, že nahradily jiné materiály nebo umožnily využít nových vlastností či změn. Za účelem optimalizace vlastností umělých hmot z hlediska jejich použití a pro umožnění udržitelného využívání zdrojů je materiálová skupina umělých hmot dále průběžně rozvíjena. Tento trend jde jednak ve směru posilování vláken a jednak ve směru tak zvaných bioplastů. Rozšíření oblastí možného použití umělých hmot má za následek dramatické zvýšení množství druhů umělých hmot, což se odráží i v nejrůznějších tocích odpadů.

Pro ochranu životního prostředí a šetření zdrojů je snaha dosáhnout oběhu surovin, tedy recyklace. Recyklace přitom zahrnuje materiálové a surovinové zhodnocení materiálů. Pro zachování opětovně využitelných materiálových frakcí z recyklace má mimořádný význam třídění. Pokud možno selektivní a efektivní třídění umělých hmot podle různých materiálových vlastností, podle příměsí modifikačních prostředků a smísení s dalšími organickými a anorganickými látkami představuje i nadále problém. Běžné metody třídění, jako elektrostatické třídění, třídění podle hustoty a s NIR detekcí (Near Infra-Red), narážejí velmi rychle na své hranice. Proto je nutné vyvíjet nové technologie a specifické postupy třídění za využití různých specifických separačních postupů a technologií.

Na Ústavu pro vývoj technologií, výzkum rašeliny a přírodních látek iTN Vysoké školy v Žitavě a Zhořelci je již mnoho let prováděna výzkumná činnost v oblasti třídění umělých hmot. Hlavní pozornost je zaměřena na senzorické a termické třídící procesy. K řešeným technologií patří třídění s detekcí NIR a MIR (medium infra red), třídění pomocí RFID (radiofrekvenční identifikace), klasická a mikrovlnná termoadheze a termoselektivní třídění na bázi mikrovln.

[1]Hochschule Zittau/Görlitz, Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (ITN); Theodor-Körner-Allee 16, D-02763 Zittau; E-Mail: M.Labbert@hszg.de

1 Einleitung

Kunststoffe sind relativ neue Werkstoffe, deren Eigenschaften sich durch Verarbeitung oder Zusatz von Additiven gut an den Verwendungszweck anpassen lassen. Kunststoffe haben aufgrund ihrer Vielseitigkeit und vieler Vorteile andere Werkstoffe ersetzt oder neue Anwendungen ermöglicht. Seit den 1950er Jahren hat die Kunststoffproduktion enorm zugenommen. Mit der Kunststoffherstellung gehen entsprechende Mengen an Kunststoffabfällen einher. Im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und des Umweltschutzes wird das Recycling der Kunststoffe der Entsorgung und, wenn es ineffizienter ist, der energetischen Verwertung vorgezogen. Ein entscheidender Schritt beim Kunststoffrecycling ist die Sortierung, bei der eine oder mehrere Fraktionen nur einer Kunststoffsorte anfallen. Die hohe Anzahl an Kunststoffsorten und ihrer vielen Variationen machen das Sortieren und Recyceln zu einer großen Herausforderung. Herkömmliche Sortiermethoden, z. B. Dichtesortierung und Elektrostatische Sortierung, stoßen schnell an ihre Grenzen. Um die Recyclingraten und die Qualität der erhaltenen Recyclingprodukte zu erhöhen, ist die Entwicklung weiterer Sortierverfahren erforderlich, die andere Trennkriterien verwenden. Die Forschung am Institut für Prozessentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN) der Hochschule Zittau/Görlitz beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit Lösungen für das Recycling unterschiedlicher Materialsysteme.

2 Kunststoffe - Produktion, Abfallaufkommen, Recycling

In Deutschland wurden 2017 ca. 11 Mio. t Kunststoffwerkstoffe (Neuware) hergestellt und 12,61 Mio. t verarbeitet. Die Produktionsmenge ist nach Kunststoffarten in Abbildung 1 aufgeschlüsselt. [1]. Die größte Menge entfällt auf die thermoplastischen Massenkunststoffe Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polyamid (PA) und Polystyrol (PS).

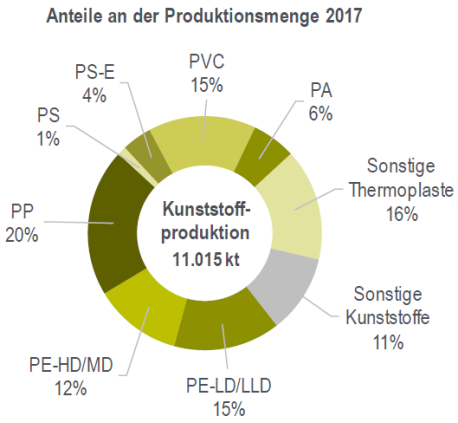


Abbildung 1: Produktionsmengen aufgeschlüsselt nach Kunststoffsorten [1].

Die Menge an Kunststoffwerkstoffabfall in Deutschland betrug 2017 insgesamt 6,15 Mio. t. Über 99 % der Abfälle wurden einer stofflichen oder energetischen Verwertung und lediglich unter 1 % wurden einer Beseitigung ohne Stoff- oder Energierückgewinnung zugeführt. In Abbildung 2 sind die Verwertungswege der Kunststoffabfälle in Deutschland für das Jahr 2017 aufgeschlüsselt nach Post-Consumer-Abfällen (kursiv Zahlen) und Gesamtmenge aus Produktions-, Verarbeitungs- und Post-Consumer-Abfällen.

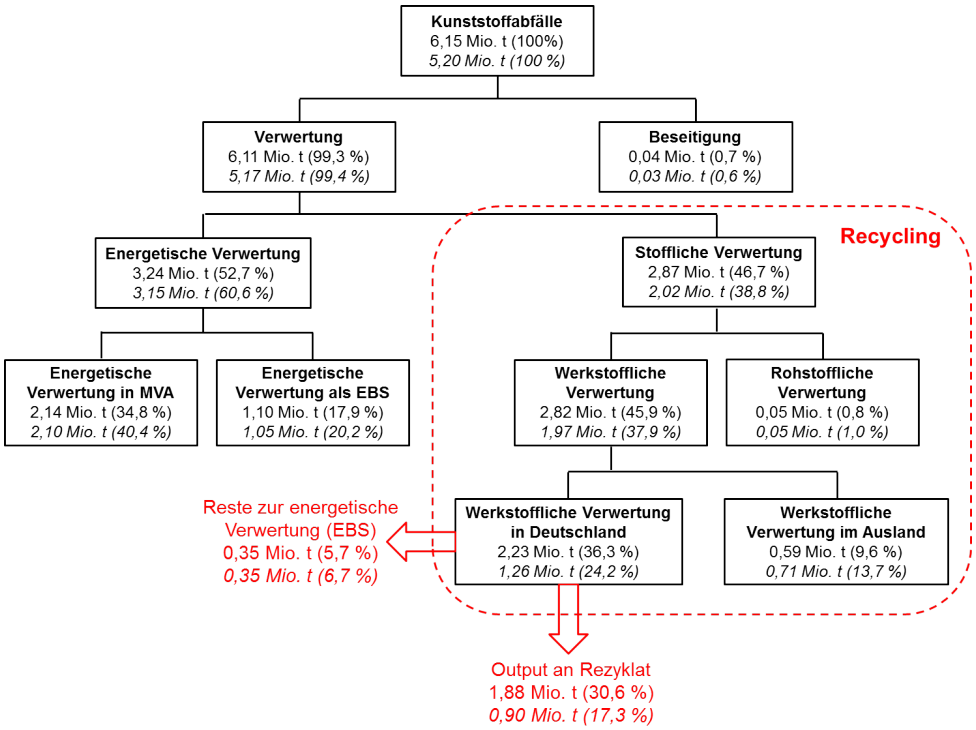


Abbildung 2: Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland 2017. Gesamtmenge an Kunststoffabfällen und Post-Consumer-Kunststoffabfälle (kursiv) (nach [1]).

Über die Hälfte der in Deutschland anfallenden Kunststoffabfälle zur Verwertung wird einer energetischen Verwertung in Müllverbrennungsanlagen oder als Ersatzbrennstoff, z. B. in Zement-, Kalk-und Braunkohle-Kraftwerke, zugeführt. Den anderen Zweig der Verwertung bildet die stoffliche Verwertung, das Recycling. Der rohstofflichen Verwertung, d. h. Spaltung der langkettigen Polymerketten zu Monomeren oder Herstellung neuer Stoffe durch z. B. Cracking, Vergasung oder Depolymerisation, kommt aus Mangel an wirtschaftlich arbeitenden Verfahren dabei eine nur geringe Bedeutung bei. [1, 2] Kunststoffabfälle, die ins Ausland exportiert werden, werden in der Statistik als werkstofflich verwertet aufgeführt. Welcher Anteil an Kunststoffabfällen tatsächlich stofflich verwertet wird, kann nicht nachvollzogen werden [2]. Neben den 12,61 Mio. t Kunststoffwerkstoff-Neuware wurden 2017 1,76 Mio. t Rezyklat aus der werkstofflichen Verwertung verarbeitet. Auf Rezyklat aus Produktions- und Verarbeitungsabfällen entfallen dabei 0,95 Mio. t und auf Rezyklat aus Post-Consumer-Abfällen 0,81 Mio. t. Abfälle, die nicht zu Rezyklat verarbeitet werden konnten, wurden einer energetischen Verwertung zugeführt [1].

3 Sortierverfahren für Kunststoffe

Für die Sortierung von Kunststoffen kommen generell mehrerer Prozesse in Frage, welche in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Voraussetzung für den Einsatz dieser Sortierprozesse ist, dass sich die zu trennenden Kunststoffe in der Materialeigenschaft, welche als Trennmerkmal dienen soll, z. B. der Dichte, ausreichend unterscheiden.

Tabelle 1: Mögliche Sortierprozesse und dazugehörige Trennmerkmale im Kunststoffrecycling.

Sortierprozess	Trennmerkmal
Dichtesortierung	Materialdichte oder stationäre Sinkgeschwindigkeit
Flotation	Oberflächeneigenschaften (Benetzbarkeit)
Magnetsortierung	Magnetisierbarkeit oder magnetische Suszeptibilität
Elektosortierung	Elektrische Volumen- und Oberflächenleitfähigkeit, Kontakt- und Reibungspolarisation, dielektrische Eigenschaften,…
Handklaubung	Form, Farbe, Transparenz, Reflexion, Beschriftung, ...
Sensorgestützte Sortierung	Form, Farbe, Reflexion, Transmission, Absorption, Traceraktivität,…
Thermische Sortierung	Erweichungspunkt, selektive Agglomeration, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, mikrowellenbasierte Erwärmbarkeit,…
Physiko-mechanische Sortierung	Elastizität/Plastizität, Oberflächenrauheit, Ebenheit, ...
Radio Frequency (RFID) Sortierung	Zusätzliche Produkt- oder Materialinformationen auf Transponder gespeichert

Ziel der Kunststoffsortierung ist die Herstellung möglichst sortenreiner Fraktionen, welche einem gezielten Wiedereinsatz zugeführt werden können. Verschiedene Faktoren beeinflussen jedoch den Erfolg der Trennung. Dies sind zum einen überlappende Materialeigenschaften, hervorgerufen durch Additive und Zusatzstoffe. Zum anderen existieren verschiedene Einflussfaktoren wie z. B. Oberflächenverschmutzungen und -beschichtungen, Feuchtigkeit und das Vorliegen von Kunststoffen als Verbunde mit anderen Kunststoffarten oder Werkstoffen, z. B. Metallen, die sich merklich auf den Sortiererfolg auswirken. Um die Recyclingraten und die Qualität der erhaltenen Recyclingprodukte zu erhöhen, ist die Weiterentwicklung der vorhandenen Sortierprozesse bzw. Ausweitung deren Anwendungsbereiche sowie die Entwicklung weiterer Sortierverfahren mit anderen Trennmerkmalen erforderlich. Am Institut für Prozessentwicklung, Torf- und Naturstoffforschung (iTN) in Zittau werden seit mehreren Jahren Sortierlösungen für das Recycling unterschiedlicher Materialsysteme erarbeitet. Nachfolgend soll ein Überblick über die Ergebnisse dieser Arbeiten gegeben werden.

3.1 RFID-Sortierung

Bei der RFID-Sortierung (Radio Frequency Identification) werden über Auto-ID-Systeme schnell und zielgerichtet Informationen zu den betreffenden Produkten/Waren, Bauteilen, Chargen, o. ä. bereitgestellt und erlauben auf diese Weise eine automatische, berührungslose Fernidentifizierung. Die Informationsabfrage erfolgt unter Verwendung von Transpondern (s. Abbildung 3, r.). RFID-Systeme bestehen im Wesentlichen aus drei Komponenten (s. Abbildung 3, l.). Die erste Komponente ist der Transponder. Der im Transponder verbaute Mikrochip enthält die gespeicherten Informationen. Die integrierte Antenne nimmt die Energie beim Ansprechen des Transponders auf und gibt die gespeicherten Informationen ab. Hinzu kommt ein spezielles Trägermaterial bzw. ein Gehäuse, welches je nach Einsatzgebiet in der Form und den Eigenschaften variiert [3, 4, 5, 6].

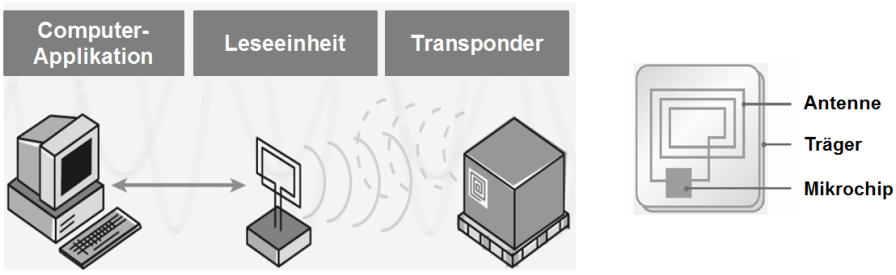


Abbildung 3: Erkennung von Transpondermarkierten Objekten (l.) und schematischer Aufbau eines Transponders (ID-Tag) (r.) [3].

Die Sende- und Leseeinheiten ist die zweite Komponente und stellt die Schnittstelle zwischen Transponder und der Computerapplikation dar. Gelangt ein dem jeweiligen System zugehörender Transponder in ein von der Leseeinheit generiertes alternierendes Feld, wird er über seine Empfangsantenne mit Energie versorgt und aktiviert. Der Transponder beginnt daraufhin mit dem Aussenden eines Datensignals, welches von der Sende- und Leseeinheit empfangen wird. Die empfangenen Daten werden an die Computerapplikation weitergeleitet. Bei der Computerapplikation handelt es sich um die letzte Systemkomponente. Die empfangenen Informationen werden mit in einer Datenbank hinterlegten Informationen abgeglichen und in eine Reaktion umgewandelt, z. B. das Ausschleusen des markierten Objektes aus dem Produktstrom [3, 4, 7, 8, 9].
Beim RFID-Sortieren handelt es sich um einen automatischen Klaubeprozess, der nach folgendem allgemeinen Wirkprinzip funktioniert [10]:

1. Zuführen und Vereinzeln der zu trennenden Objekte
2. Erkennen und Identifizieren der Objekte im Detektionsfenster
3. Bestimmen der Detektionslage bzw. des -ortes der Objekte
4. Bewerten und Klassifizieren der Objekte nach den Identifikationsangaben
5. Mechanisches Ausschleusen der detektierten Objekte

Für die Sortierversuche an der Hochschule Zittau/Görlitz wurde eine komplette RFID-Sortierstation konzipiert und aufgebaut. Als RFID-Antenne wurde, passend zum verwendeten Transponder, eine spezielle USB-Lese- und Richtantenneneinheit von Hitachi verwendet. Diese aktiviert den μ-Chip bei dessen Eintreten in den Detektionsbereich und detektiert dessen abgesendeten Dateninhalt. Somit ist auch seine relative Lage bekannt. Beim verwendeten Transponder handelt es sich um das μ-Solution-System, ein passives, bei 2,45 GHz arbeitendes RFID-System [11]. Mit der Software „RFID Sorting Tool“, Version 0.6 werden die Dateninhalte auf den Transpondern mit den in der Datenbank hinterlegten Daten abgeglichen. Zielprodukt der Sortierung war das Produkt „A“, welches erkannt und aus dem Produktstrom, bestehend aus den Produkten „A“, „B“ und „C“, ausgeschieden werden sollte. Als Probekörper dienten mit Transpondern markierte Duschbadflaschen. Die Probekörper bestehen aus Polyethylen („A“ und „B“) und Polypropylen („C“). Vor den Versuchen sind die Informationsträger (μ-Chips) mit einer Lese-/Schreibeinheit codiert, in einer separaten Datei registriert und in der Sortiersoftware hinterlegt worden. Für die Sortierversuche wurden die Probekörper mit einer definierten Transportgeschwindigkeit unter der über dem Band angeordneten Sende- und Leseeinheit vorbeigeführt. Bei Erkennung des Zielproduktes erfolgten die Ausgabe eines optischen Signals und das Ausschleusen des erkannten Objektes mittels Druckluftdüsen. Variiert wurde bei den Versuchen die Bandgeschwindigkeit. Die Versuchsergebnisse sind in Abbildung 4 grafisch dargestellt.

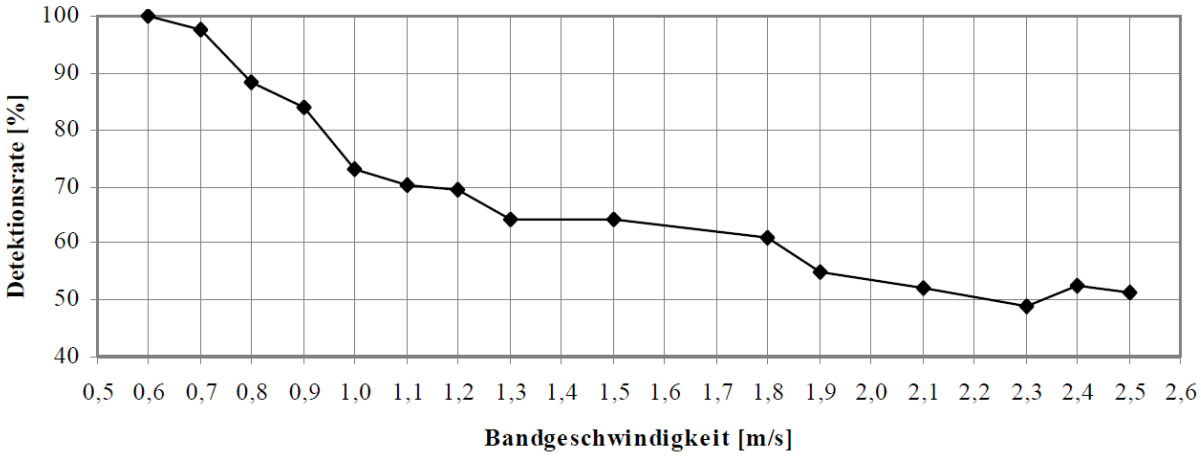


Abbildung 4: Detektionsrate der mit Transponder markierten Probekörper in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit [12].

Beim Einsatz der 2,45 GHz Transponder (μ-Chip) und der zum Zeitpunkt der Versuche eingesetzten verfügbaren Sende- und Empfangseinheit wurde lediglich bis zu einer Bandgeschwindigkeit von 0,6 m/s eine 100%ige Detektions- und Ausleserate erreicht. Bei steigender Bandgeschwindigkeit sank die Erfolgsrate einer selektiven Erfassung und Aussortierung der Transponder-markierten Produkte drastisch ab. Generell kann anhand der Ergebnisse die Nutzung von Transpondern als Trennmerkmal für ein selektives Produktsortieren nachgewiesen werden. Durch den Einsatz modernerer und leistungsfähigerer Systeme können darüber hinaus höherer Bandgeschwindigkeiten und damit Durchsätze erzielt und ein wirtschaftlicher Einsatz des Sortierprozesses ermöglicht werden. Das Sortiersystem ist unempfindlich gegen Verschmutzungen oder Ummantelungen mit nichtmetallischen Materialien. Problematisch wird es, wenn das Objekt vor der Sortierung geteilt wird. Lediglich das Teilstück mit Transponder kann in diesem Fall noch erkannt und der richtigen Sortierfraktion zugeführt werden.

3.2 IR-Sortierung

Die Sortierung mittels Spektroskopie im nahen (NIR) und mittleren (MIR) Infrarotbereich beruht auf der Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung im Infrarotbereich und den Molekülstrukturen (z. B. C-H-, O-H-, N-H-Bindungen) innerhalb der Materialien. Der Wellenlängenbereich des Infrarots wird unterteilt in nahes Infrarot mit 0,75 μm bis 2,5 μm, mittleres Infrarot mit 2,5 μm bis 25 μm und fernes Infrarot mit 25 μm bis 1000 μm. Neben der schon lange im Bereich des Kunststoffsortierens angewendeten NIR-Sortierung gibt es mittlerweile auch Sortiersysteme, die im mittleren Infarotbereich operieren. Im Bereich des mittleren Infrarots treten die Fundamentalschwingungen auf, die markante Banden im Spektrum hervorrufen, die eine vergleichsweise einfache Identifizierung bzw. Detektion verschiedenster Materialien zulassen. Das Spektrum im nahen Infrarotbereich ist durch Kombinations- und Oberschwingungen geprägt, welche eine geringere Intensität aufweisen. Die im Spektrum erhaltenen Banden sind durch die Überlagerung von Molekülschwingungen nicht mehr eindeutig einer Molekülbindung zuzuordnen. Die Eindringtiefe der Strahlung ist beim MIR (einige μm) deutlich geringer als beim NIR (3-4 mm), wodurch Verschmutzungen, Oberflächenfeuchte und Beschichtungen vor allem für die MIR-Sortierung ein Problem darstellen. Ein Hauptvorteil der MIR-Sortierung gegenüber der NIR-Sortierung ist die Eigenschaft, Kunststoffe unabhängig von einem gewissen Rußgehalt detektieren zu können. Viele Kunststoffe erhalten durch die Beimischung von 0,5 bis 3 % Ruß ihre schwarze Farbe. Dieser Rußanteil absorbiert Strahlung im NIR-Bereich vollständig, wodurch keine Detektion möglich ist. Im MIR-Bereich verursachen die Rußpartikel nur eine

Abschwächung der reflektierten Strahlung, die Lage der Banden bleibt jedoch unverändert. [13, 14, 15]

Die MIR-Sortierung besitzt großes Potential für die Sortierung von Carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK). An der Hochschule Zittau/Görlitz wurde die Abtrennung von CFK mit Epoxidharzmatrix aus einem Gemisch aus unterschiedlichen Kunststoffen, Holz, Metall und anderen Materialien untersucht. Durchgeführt wurden die Versuche mit dem Sortiersystem UNISORT BlackEye der Firma RTT Steinert GmbH, Zittau, welches nach dem in Abbildung 5 dargestellten Wirkprinzip funktioniert.

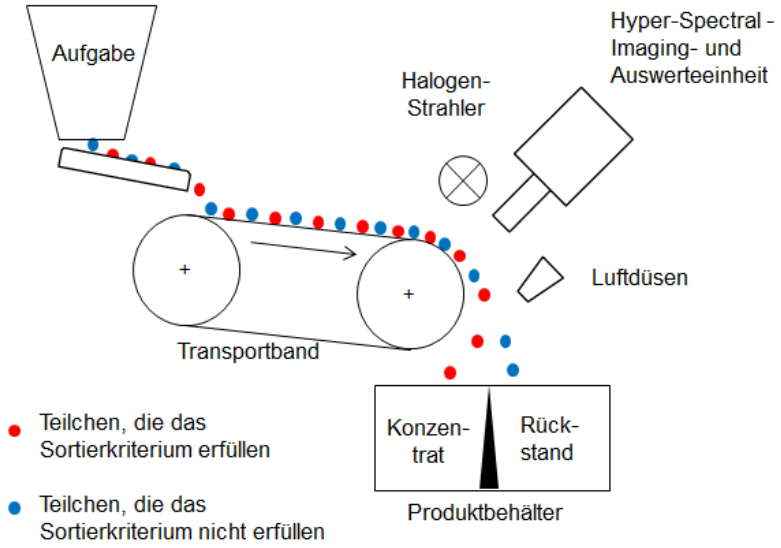


Abbildung 5: Wirkprinzip der MIR-Sortierung.

Von jedem einzelnen Teilchen im Produktstrom wird das Reflexionsspektrum gemessen und mit Referenzspektren aus einer Spektrendatenbank verglichen. Ist das gemessene Spektrum eines Teilchens identisch mit dem vorher festgelegten Zielspektrum, so wird besagtes Teilchen mittels Luftdüsen aus dem Produktstrom separiert und dem Konzentrat zugeführt. Die durchgeführten Versuche zur Abtrennung von CFK ergaben, dass mit diesem Sortierprozess nahezu 100 % des CFK abgetrennt werden können (s. Abbildung 6) [16].

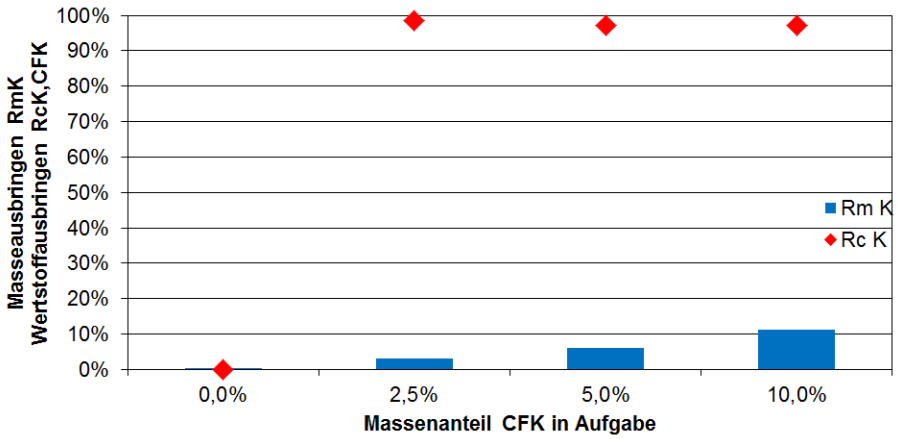


Abbildung 6: Masse- und Wertstoffausbringen im Konzentrat in Abhängigkeit vom Massenanteil an CFK in der Aufgabe.

Das Massenausbringen liegt nur knapp über dem in der Aufgabe befindlichen Massen an

CFK. Es kommt daher lediglich zu einer sehr geringen Menge an Fehlwürfen.

3.3 Thermoadhäsion

Die Thermoadhäsion kann als das Zusammenkleben zweier kondensierter Phasen durch molekulare Wechselwirkungen in der Grenzschicht, welche durch Wärmeenergieeintrag verursacht werden, definiert werden [17]. Mehrere wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema, die teilweise von der Hochschule Zittau/Görlitz veröffentlicht wurden, zeigten, dass die Trennung verschiedener Kunststoffe durch selektives Anhaften auf einer beheizten Oberfläche möglich ist [18, 19, 20, 21, 22]. Üblicherweise wird das zu sortierende Material mit einer erwärmten metallischen Oberfläche in Kontakt gebracht. Nach einer ausreichenden Zeit haften die Partikel, deren Erweichungs- oder Schmelztemperatur überschritten wurde, selektiv an. Durch das Entstehen dieser Verklebungen kommt es zu einer räumlichen Trennung der anhaftenden von den nicht anhaftenden Partikeln. Die Abtrennung der anhaftenden Partikel von der Metalloberfläche kann durch mechanischen oder pneumatischen Energieeintrag erfolgen [18].
Versuche zur Anwendung der Thermoadhäsion zur Kunststoffsortierung wurden wie folgt durchgeführt:

1. Die freien Partikel wurden auf eine erhitzte Metallplatte aufgegeben. Es gab keinen Kontakt zwischen den Partikeln.
2. Selektives Erweichen der Partikel nach Kontaktdauer, Materialeigenschaften und Haftmechanismus auf der erwärmten Metallplatte.
3. Umdrehen der Metallplatte um 180° zur Überprüfung der Anhaftung. Auffangen der nicht anhaftenden Partikel.
4. Zurückdrehen der Metallplatte. Auszählen der anhaftenden Partikel. Rückstandsfreies Entfernen der anhaftenden Partikel.

Bei den Testmaterialien handelte es sich um unbenutzte Kunststoffe (PA 12, PB, PC, PE, PET, PMMA, POM, PP, PS, PVC) und gebrauchte Kunststoffe aus der Shredderleichtfraktion (ABS, PC, PCA, PE, PP, PS, PVC). Etwaige Verschmutzungen an den Partikeloberflächen wurden durch Waschen mit destilliertem Wasser entfernt. [23]

In Abbildung 7 (l.) sind die Adhäsionstemperaturbereiche (Beginn der Anhaftung bis vollständige Anhaftung) der unbenutzten Kunststoffe eingezeichnet.

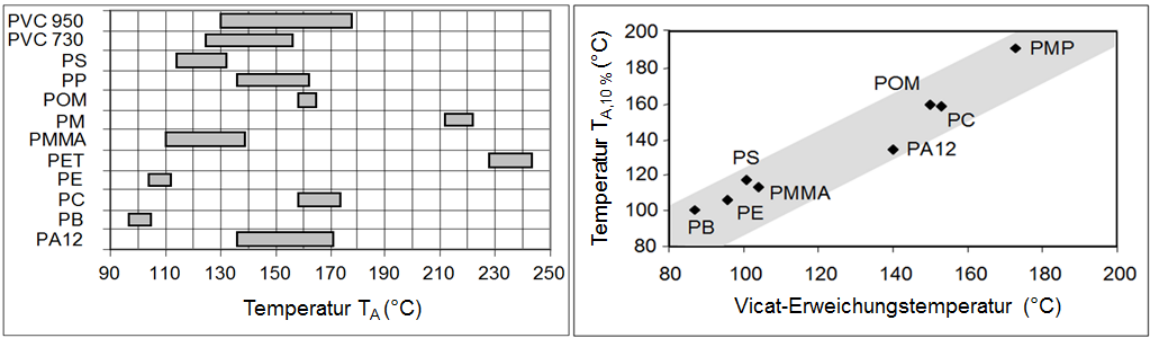


Abbildung 7: Adhäsionstemperaturbereiche ($T_{A,0\%}$ to $T_{A,100\%}$) (l.) und Korrelation zwischen Adhäsionstemperaturen und Vicat-Erweichungstemperaturen (r.) [23].

Die Adhäsionstemperaturen vieler Kunststoffe unterscheiden sich deutlich, weshalb eine Sortierung prinzipiell möglich ist. Die folgenden Kunststoffarten bzw. Gruppen von Kunststoffen können anhand dieses Trennmerkmals voneinander unterschieden werden: PE/PB, PS/PMMA,

PP/PVC/PA/PC/POM, PMP und PET. Abbildung 7 (r.) zeigt, dass ein Zusammenhang zwischen der Vicat-Erweichungstemperatur und der Adhäsionstemperatur, bei der 10 % aller Partikel anhaften, besteht [23]. Die Adhäsionstemperatur von teilkristallinen Thermoplasten liegt üblicherweise knapp unterhalb der Kristallitschmelztemperatur. Der Adhäsionstemperaturbereich wird deutlich von der Partikelform und auch von der Kontaktfläche zwischen Partikel und Adhäsionsplatte beeinflusst [24].

Die Adhäsionstemperaturen der Kunststoffe aus der Shredder-Leichtfraktion liegen ca. 20 °C über denen der unbenutzten Materialien. Das Sortieren von z. B. PE/PC oder PS/PC ist möglich und es gibt keinen Einfluss der Partikelmasse. Bei benutzten Materialien können haftvermittelnde Substanzen (wie Bitumen, Öl, Fett,...) oder haftvermindernde Substanzen (wie Beschichtungen, Staub,...) vorhanden sein. Weitere Einflüsse auf die Adhäsionswahrscheinlichkeit sind Kornform und Korngröße, funktionelle Zusätze, Füllstoffe, Verstärkungen und Materialalterung [23].

3.4 Mikrowellenbasierte Thermoadhäsion

Die mikrowellenbasierte Thermoadhäsion basiert auf den dielektrischen Eigenschaften und damit der mikrowellenbasierten Erwärmbarkeit der zu trennenden Kunststoffe. In Kunststoffen führt die Einwirkung von Mikrowellen zur Ausrichtung permanenter Dipole (Orientierungspolarisation). Da es sich beim Mikrowellenfeld um ein elektromagnetisches Wechselfeld handelt, ändern die Dipole ständig ihre Ausrichtung. Ein Teil der vom Mikrowellenfeld aufgenommenen elektrischen Energie wird in die Bewegung der Dipole umgewandelt und der andere Teil in Form von Wärme dissipiert. Die Menge der absorbierten und umgewandelten Energie ist hauptsächlich materialspezifisch und hängt von der Anzahl und Größe der im Material enthaltenen Dipole ab. Der Vorteil der mikrowellenbasierten Thermoadhäsion gegenüber der herkömmlichen Thermoadhäsion ist der geringere Energieverlust, da die Wärme direkt im Kunststoff entsteht und nicht über Wärmeleitung übertragen wird. In Abbildung 8 sind der Versuchsaufbau für die mikrowellenbasierte Thermoadhäsion und die Verteilung der elektrischen Feldstärke innerhalb des Hohlraumresonators (Applikator), in welchem die Erwärmung der Kunststoffteilchen stattfindet, abgebildet.

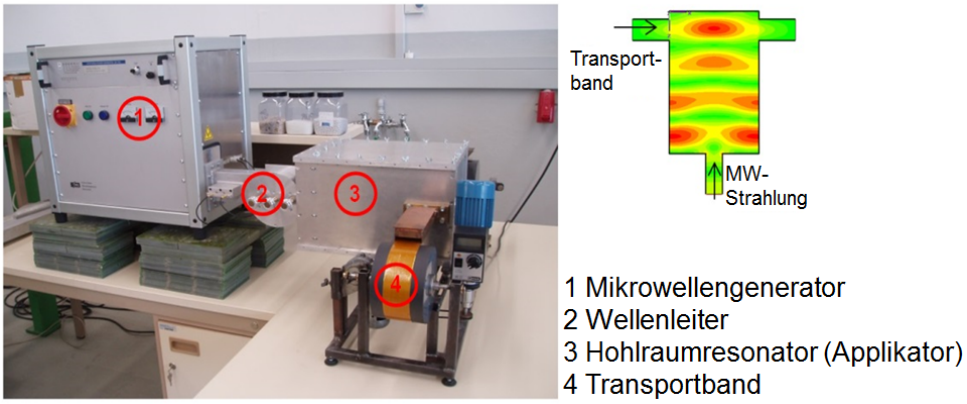


Abbildung 8: Versuchsaufbau für die mikrowellenbasierte Thermoadhäsion und Verteilung der elektrischen Feldstärke innerhalb des Hohlraumresonators (Applikator) [9].

Die Mikrowellen werden im Mikrowellengenerator (1) mit einer Frequenz von 2,45 GHz und einer maximalen Leistung von 2000 W erzeugt und über einen Rechteckhohlleiter (2) in den als Hohlraumresonator (3) ausgeführten Applikator eingespeist. Der Hohlraumresonator wurde an der Hochschule Zittau/Görlitz konzipiert und entwickelt. Die Kunststoffteilchen werden auf einem Förderband aus Glasfasergewebe mit Polyimidbeschichtung (4) durch den Applikator

transportiert. Bei den Versuchsmaterialien handelte es sich um Granulat aus PUR, PET, PA, POM, PP, PB, PMP, PS, PMMA, PC und verschiedenen PVC. [23]

In Abbildung 9 sind die Adhäsionswahrscheinlichkeiten der verwendeten Kunststoffe in Abhängigkeit von der Mikrowellenleistung dargestellt.

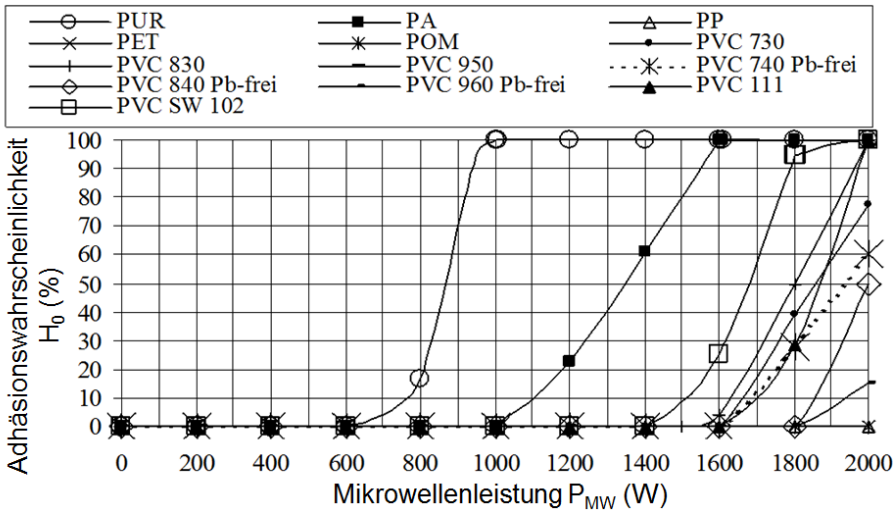


Abbildung 9: Adhäsionswahrscheinlichkeit als Funktion der eingespeisten Mikrowellenleistung [23].

Da die Geschwindigkeit des Transportbandes dieser Laborapparatur nur etwa 0,0013 m/s beträgt, resultiert eine Mikrowellenerwärmungszeit der Teilchen von ca. 18 Sekunden. Die Adhäsionswahrscheinlichkeiten der Materialien wie PUR, PA, PVC 830, PVC 111 und PVC SW 102 betrugen bei ausreichend hoher Mikrowellenleistung bis zu 100%. Eine schrittweise Trennung dieser Materialien ist möglich. Die Kunststoffe wie PB, PMP, PS, PMMA und PC zeigten zwar eine leichte substanzspezifische Erwärmung, es war jedoch keine ausreichende Erwärmung auf die notwendige Adhäsionstemperatur vorhanden. Infolgedessen hafteten diese Kunststoffe nicht an und konnten mit dieser Methode nicht getrennt werden [23].

3.5 Thermosensitiver Sortierprozess

Als Weiterentwicklung des mikrowellenbasierten Thermoadhäsionsprozesses wurde an der Hochschule Zittau/Görlitz das thermosensitive Sortierverfahren entwickelt. Dabei wird ebenso die selektive dielektrische Erwärmung ausgenutzt, die durch Ausrichtung von permanenten Dipolen innerhalb der Kunststoffe (Orientierungspolarisation) verursacht wird. Diesmal wird jedoch die Partikeltemperatur nach der Mikrowellenerwärmung als Trennkriterium verwendet. Es ist keine starke Erwärmung bis zur Materialerweichung und kein Anhaftungsprozess erforderlich. In Abbildung 10 ist das Prinzip des thermosensitiven Sortierprozesses schematisch dargestellt.

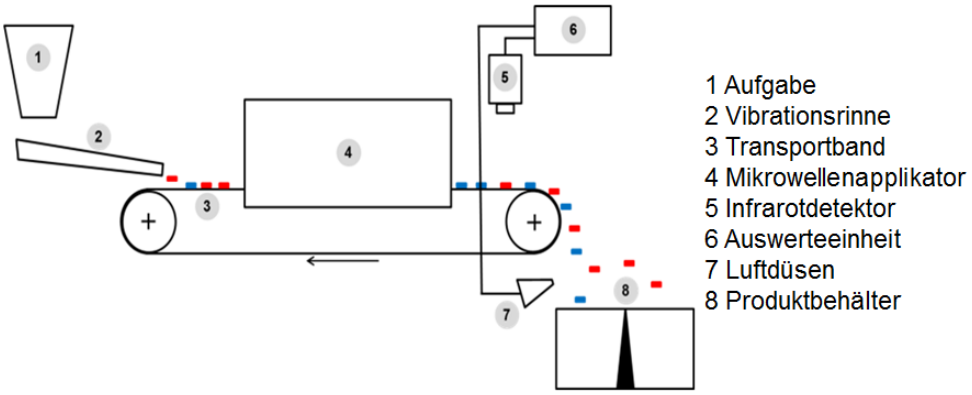


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Thermosensitiven Sortierprozesses (nach [25]).

Beim thermosensitiven Sortierprozess werden die Kunststoffpartikel über den Aufgabebunker (1) und eine Vibrationsrinne (2) vereinzelt auf das Transportband (3) aufgegeben und durch den Mikrowellenapplikator (4) transportiert. Innerhalb des Applikators werden die Kunststoffteilchen dielektrisch durch die Bewegung der im Kunststoff enthaltenen permanenten Dipole erwärmt (Orientierungspolarisation). Die Dipolbewegung führt zu einer volumetrischen Erwärmung aus dem Inneren der Partikel. Der Grad der Erwärmung hängt in erster Linie von der chemischen Zusammensetzung und Struktur des Kunststoffs ab (Anzahl und Größe der permanenten Dipole). Nach dem Verlassen des Mikrowellenapplikators (4) erfolgt eine berührungslose Messung (5) mit anschließender Datenverarbeitung (6) der von der Partikeloberfläche emittierten Wärmestrahlung (Infrarotdetektion). Die gemessenen Strahlungswerte werden in Temperaturwerte (6) umgerechnet. Aufgrund der Temperaturunterschiede können die Kunststoffe anschließend voneinander unterschieden werden. Die Abscheidung von Partikeln, die das Abscheidungskriterium erfüllen, erfolgt durch Luftdüsen (7). [25]

Grundlagenversuche zur Mikrowellenerwärmung verschiedener Kunststoffe wurden mit dem Versuchsaufbau im Labormaßstab (s. Abbildung 11) durchgeführt. Die Mikrowellen mit einer Frequenz von 2,45 GHz werden vom Mikrowellengenerator (1) der Firma Fricke & Mallah Microwave Technology GmbH, Peine, erzeugt. Über einen rechteckigen Wellenleiter (2) mit Dreischraubentuner (3) gelangen die Mikrowellen in den Mikrowellenapplikator (4). Die eingebrachte Mikrowellenleistung (P_{MW}) und Dauer (t_{MW}) sind variabel. Der verwendete Mikrowellenapplikator (Hohlraumresonator HR2) ist die Weiterentwicklung des Applikators (HR1), der für Thermoadhäsionsversuche verwendet wurde. Den Unterschied der Applikatoren bildet die Wasserlast, ein U-förmiges Glasrohr, welches mit temperierten Wasser durchströmt wird (8, 9). Durch die Wasserlast bildet sich auf Höhe des Transportbandes ein elektrisches Feldstärkemaximum aus, in dem die Kunststoffteilchen schnell erwärmt werden können.

Im Deckel des Applikators befindet sich eine Öffnung, durch die die Temperatur der im Feldstärkemaximum befindlichen Proben direkt während der Mikrowellenerwärmung gemessen werden kann. Die Temperaturen werden mit einer schnellen Infrarot-Zeilenkamera (5) gemessen. Die verwendete IR-Kamera ist an einen Computer (6) zur Aufzeichnung und Auswertung der Messwerte angeschlossen. [25]

Die Untersuchungen zur Mikrowellenerwärmbarkeit wurden mit den Kunststoffen PTFE, PE, PP, PMMA, PC, PVC, PA6, POM und PLA durchgeführt, die teilweise in verschiedenen Farben vorlagen.

Die Ergebnisse der Mikrowellenerwärmungsversuche sind in Abbildung 12 dargestellt. Die verschiedenen Arten von Kunststoffen wiesen durch die Mikrowellenbeaufschlagung unterschiedliche Temperaturprofile auf. Kurven gleicher Kunststoffsorte, aber unterschiedlicher Farbe zeigten nahezu identische Verläufe. Es kann gefolgert werden, dass die Zugabe von Farbchargen in die Kunststoffmatrix keinen oder nur einen geringeren Einfluss auf deren Mikrowellenerwärmung hat. Die Unterschiede zwischen den Kunststoffen lassen sich durch die un-

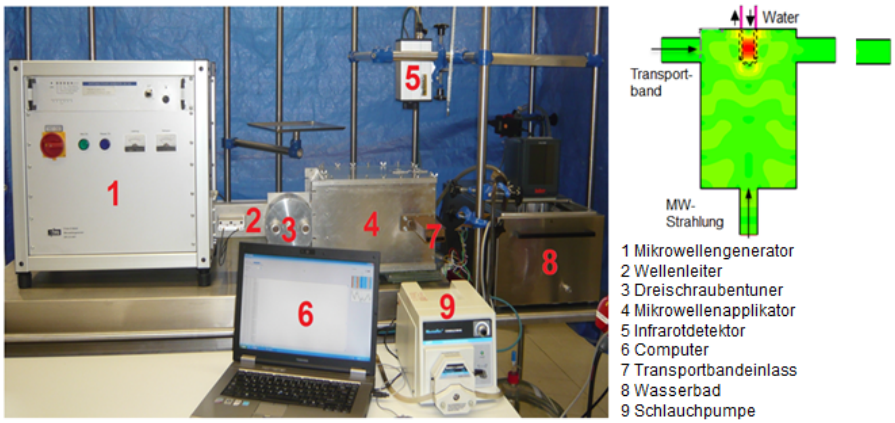


Abbildung 11: Versuchsaufbau für die Grundlagenversuche zur Mikrowellenerwärmung und Verteilung der elektrischen Feldstärke im Applikator [25].

terschiedlichen dielektrischen Eigenschaften erklären, die durch die spezifische chemische Zusammensetzung und molekularen Strukturen verursacht werden [26]. Allgemein lässt sich sagen, dass je polarer das Material ist, desto höher sind der dielektrische Verlust und der Grad der Mikrowellenerwärmung [27]. Molekular sehr symmetrisch aufgebaute und damit unpolare Kunststoffe wie PTFE, PE und PP lassen sich durch Mikrowellenbeaufschlagung nicht erwärmen.

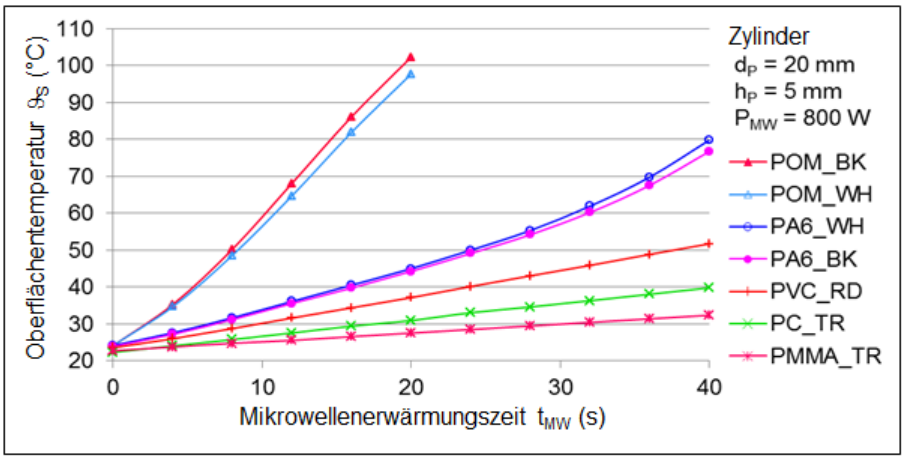


Abbildung 12: Oberflächentemperatur verschiedener Kunststoffe in Abhängigkeit von der Mikrowellenerwärmungszeit [28].

Die Unterscheidung und Sortierung von Kunststoffen mittels Mikrowellenbehandlung und anschließender Temperaturmessung ist ausgehend von den Ergebnissen prinzipiell möglich [29, 30, 28, 31, 25]. Es wurden ergänzend zu den Grundlagenversuchen zur Mikrowellenerwärmbarkeit verschiedener Kunststoffe noch Versuche zur Abklärung weiterer Einflussfaktoren durchgeführt.

Signifikante Änderungen in den Erwärmungskurven können zum Beispiel durch thermische Phänomenen wie den Glasübergang Tg auftreten [28]. Der Glasübergang erfolgt in amorphen Kunststoffen oder in amorphen Bereichen teilkristalliner Kunststoffe und kennzeichnet den Temperaturbereich, in dem der Kunststoff vom spröden in den elastischeren Zustand übergeht. Ab dem Glasübergangstemperaturbereich wird die Bewegung von Teilabschnitten der Polymerketten möglich [32]. Je beweglicher die Polymerketten sind, desto mehr Energie kann aus dem Mikrowellenfeld absorbiert und in molekulare Bewegung und Wärme umgewandelt werden.

Daher steigt die Mikrowellenerwärmungsrate oberhalb der Glasübergangstemperatur stark an. Bei PVC ist das beispielsweise bei Temperaturen ab ca. 70 °C zu beobachten [28].

Die Mikrowellenerwärmungsrate ist direkt von der angelegten Mikrowellenleistung abhängig. Mathematisch kann der Zusammenhang als quadratische Funktion angenähert werden. Zudem kann festgestellt werden, dass der Effekt einer Erhöhung der Mikrowellenleistung umso größer ist, je besser ein Kunststoff generell im Mikrowellenfeld erwärmbar ist [28].

Ein weiterer, nicht vernachlässigbarer Einflussfaktor ist der Wassergehalt der Kunststoffe, da Kunststoffe unterschiedlich stark Wasser aufnehmen können. In wasserabsorbierenden Kunststoffen sind die Wassermoleküle zwischen den Polymerketten eingebettet und führen zu einer Quellung. Je mehr Wasser in den Kunststoffen enthalten ist, desto höher sind die Mikrowellenerwärmungsraten. Dieser Effekt ist auf zwei Gründe zurückzuführen. Wassermoleküle sind zum einen starke Dipole, die durch das Mikrowellenfeld in Bewegung gesetzt werden und so zur Energiedissipation als Wärme beitragen. Andererseits verringern die zwischen den Kunststoffmolekülen eingelagerten Wassermoleküle die physikalische Anziehungskraft zwischen den Polymerketten, indem sie den Abstand zwischen ihnen vergrößern. Die Molekülketten werden beweglicher und können besser mit dem Mikrowellenfeld interagieren. Infolgedessen wird mehr Energie absorbiert und infolgedessen auch als Wärme dissipiert [28].

Versuche mit PVC-Proben unterschiedlicher geometrischer Formen und teilweise unterschiedlicher Volumina haben gezeigt, dass Partikelform, -volumen und -orientierung in Richtung der einfallenden Mikrowellenstrahlung die Mikrowellenerwärmungsraten beeinflussen. In Abbildung 13 ist die Formel für den extra definierten Volumen-Form-Faktor f, das Vorgehen bei der Bestimmung der in f eingehenden Teilchenabmessungen und die grafische Darstellung der Abhängigkeit der Mikrowellenerwärmungsrate als Funktion des Volumen-Form-Faktors f dargestellt.

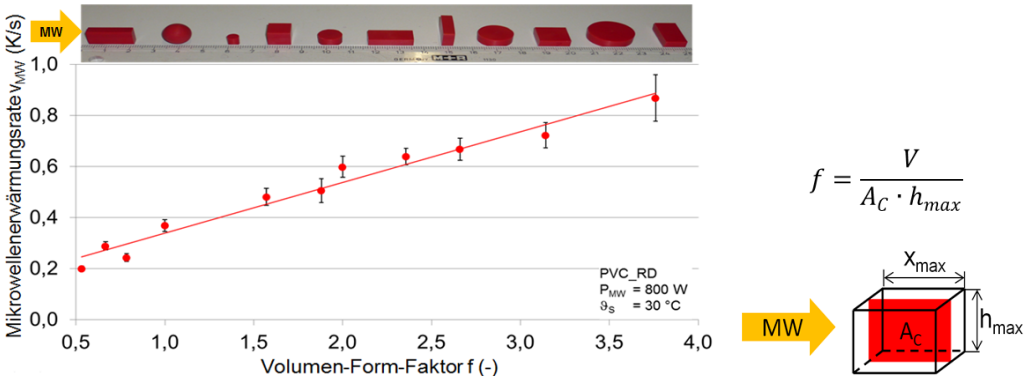


Abbildung 13: Mikrowellenerwärmungsraten in Abhängigkeit vom Volumen-Form-Faktor, Berechnung des Volumen-Form-Faktors und Bestimmung des Volumen-Form-Faktors [28].

Es ist zu sehen, dass je größer der Volumen-Form-Faktor ist, desto höher ist auch die Mikrowellenerwärmungsrate. Die Probekörper 1, 6, 7 und 11 im Bild über dem Diagramm besitzen die gleichen Abmessungen und sind lediglich unterschiedlich zur einfallenden Mikrowellenstrahlung ausgerichtet. Auch das wirkt sich stark auf die Mikrowellenerwärmungsraten aus. [28]

Mittels 3D-Druck wurden Probekörper aus PLA hergestellt, die unterschiedliche Füllgrade aufweisen. Die Proben haben unterschiedlich große Hohlräume, die mit Luft gefüllt sind (Luftvolumenanteil: 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 %). Die durchgeführten Mikrowellenerwärmungsversuche zeigten, dass je höher der Füllgrad ist, d. h. je größer der Anteil an eingeschlossener Luft in der Probe, desto geringer ist die Mikrowellenerwärmungsrate. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Luft eine geringe Dichte aufweist und die Moleküle nur geringfügig miteinander wechselwirken. Die Erwärmung durch Mikrowellen beruht auf den Reibungsverlusten zwischen den ständig

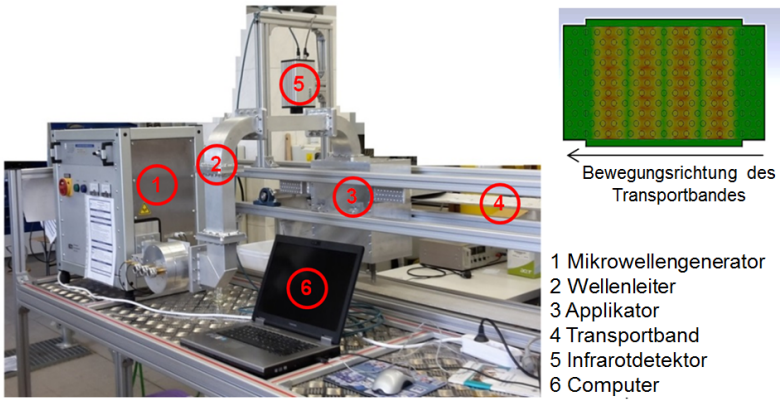


Abbildung 14: Versuchsaufbau und Verteilung des elektromagnetischen Feldes im Applikator HR3 [31].

umorientierten Molekülen. Die Erwärmung findet daher hauptsächlich im PLA statt. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Mikrowellenerwärmung einer Probe auf einer Überlagerung der dielektrischen Eigenschaften aller enthaltenen Komponenten beruht. Dies eröffnet die Möglichkeit, Teilchen voneinander zu unterscheiden, die das gleiche Kunststoffmatrixmaterial, jedoch unterschiedliche Füllstoffe aufweisen. Dies betrifft z. B. glas- oder naturfaserverstärkte Kunststoffe. [25] Ein Risiko besteht bei der Erwärmung von Kunststoffen mit elektrisch leitenden Einschlüssen, z. B. Kohlenstofffasern. Innerhalb der Einschlüsse bewegen sich die freien Ladungsträger zu den Grenzflächen (Raumladungs- oder Grenzflächenpolarisation) [33]. Wenn die Feldstärke dabei lokal stark erhöht wird, können Funkenentladungen auftreten, die zu Bränden führen können.

Für Sortieranwendungen ist der für die Grundlagenuntersuchungen verwendete Applikator HR2 aufgrund der geringen Abmessung des Erwärmungsbereichs von ca. 2,5 x 2,5 cm und der Wasserlast, die einen hohen Energieverlust verursacht, nur bedingt einsetzbar. Aus diesem Grund wurden am iTN ein neuer Applikator (HR3) und ein ganzer Versuchsaufbau für die Sortierung (s. Abbildung 14) entwickelt.

Der Applikator HR3 ist ein Hohlraumresonator, durch den ein teflonbeschichtetes Glasfasergewebeförderband mit einer Breite von 17,5 cm geführt wird. Die Konstruktion gewährleistet die Bildung von 4 Feldstärkemaxima quer zur Förderrichtung. Im Gegensatz zum HR2 erfolgt die Infrarotdetektion nicht direkt während der Mikrowellenerwärmung. Die Partikeltemperatur wird gemessen, nachdem die Partikel den Applikator verlassen haben. Um das Sortiersystem zu testen und die Auswirkungen der Mikrowellenkonkurrenz zu untersuchen (Temperatur hängt von der stofflichen Zusammensetzung des zu sortierenden Materials ab), wurden Proben (Zylinder, 20 x 5 mm) in drei Reihen auf das Förderband gelegt, wie in Abbildung 15 gezeigt. Variante 1 enthält nur eine Kunststoffsorte. Die Varianten 2 bis 8 enthalten eine Kombination aus zwei verschiedenen Kunststoffen.

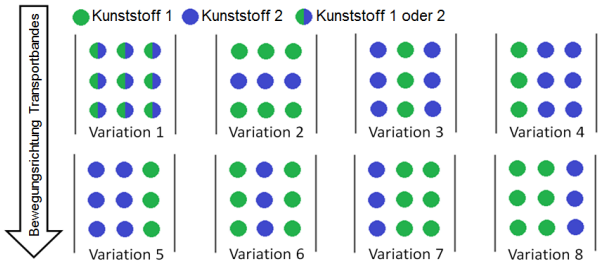


Abbildung 15: Platzierung der Probekörper auf dem Transportband [34].

Es wurden Versuche mit PVC, PA6 und POM durchgeführt. Die Ergebnisse der Mikrowellenerwärmungsexperimente sind in Abbildung 16 dargestellt.

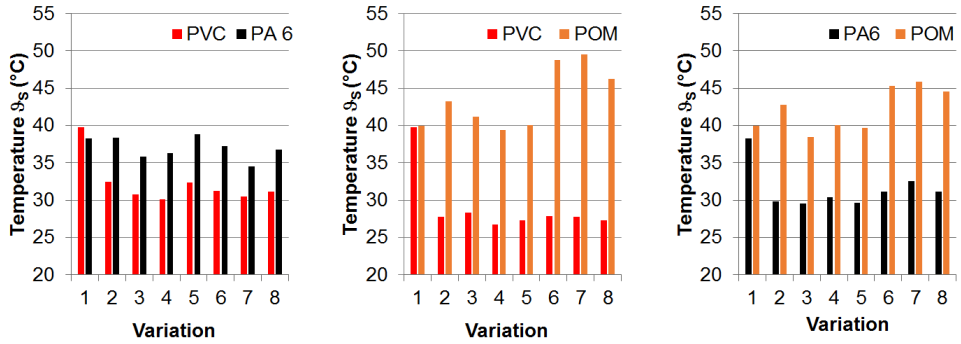


Abbildung 16: Ergebnisse der Mikrowellenerwärmungsversuche bei Variation der Teilchenplatzierung (v = 5,88 cm/s, P_{MW} = 800 W) [34].

Bei Variante 1, bei der nur Probekörper aus einer Kunststoffsorte aufgelegt wurden, ist die gemessene Temperatur der Partikel nahezu materialunabhängig und liegt zwischen 38 °C und 40 °C. Nur wenn Probekörper aus verschiedenen Materialien zusammen erhitzt werden, kommt es zu größeren Temperaturunterschieden. Je größer die Unterschiede zwischen den generellen Mikrowellenerwärmbarkeiten der Kunststoffe sind (s. Abbildung 12), desto größer sind die Temperaturunterschiede. POM ist durch Mikrowellen besser erwärmbar als PA6 und PA6 besser als PVC. Der Temperaturunterschied zwischen POM und PVC ist tendenziell größer als zwischen POM und PA6 und der Temperaturunterschied zwischen PA6 und POM ist größer als zwischen PA6 und PVC. Es kann auch beobachtet werden, dass die absolute Temperatur des weniger mikrowellenerwärmbaren Kunststoffs umso niedriger ist, je größer der Unterschied der Mikrowellenerwärmbarkeiten des kombinierten Kunststoffe ist. Die Temperatur von PVC in Kombination mit POM ist signifikant niedriger als in Kombination mit PA6. Bei der thermosensitiven Sortierung muss eine feste Temperatur als Trennkriterium vorgegeben werden. Partikel, deren Temperatur oberhalb der Abscheidetemperatur liegt, werden der einen Fraktion, diejenigen mit niedrigerer Temperatur der anderen Fraktion zugeordnet. Je nach Materialzusammensetzung des zu sortierenden Materials muss eine andere Trenntemperatur gewählt werden. Dies setzt mindestens die Kenntnis der durchschnittlichen Zusammensetzung des zu sortierenden Materials voraus [34].

Durch das thermosensitive Sortieren können nicht nur verschiedene Arten von Kunststoffen voneinander unterschieden werden. Auch die Sortierung verschiedener Elastomere und Hölzer ist möglich. Mikrowellenerwärmungsversuche mit Probekörpern (Zylinder, 20 x 5 mm) aus den Elastomeren EPDM/SBR, NBR/SBR, NR/SBR und den Hölzern Eiche, Buche, Kiefer zeigten, dass sich die Hölzer mit 85-90 °C deutlich stärker erwärmen als die Elastomere mit 46-62 °C. Eine Unterscheidung und somit Sortierung ist daher prinzipiell möglich. Es wurden weitergehende Versuche mit zerkleinerten Kiefer- und EPDM/SBR-Proben durchgeführt. Die Partikel unregelmäßiger Form wurden auf einen Partikelgrößenbereich zwischen 3,15 und 5 mm, einen für die Praxis relevanten Korngrößenbereich, klassiert. Die Ergebnisse der Mikrowellenerwärmungstests mit zufällig angeordneten Partikeln auf dem Transportband sind in Abbildung 17 dargestellt. [31]

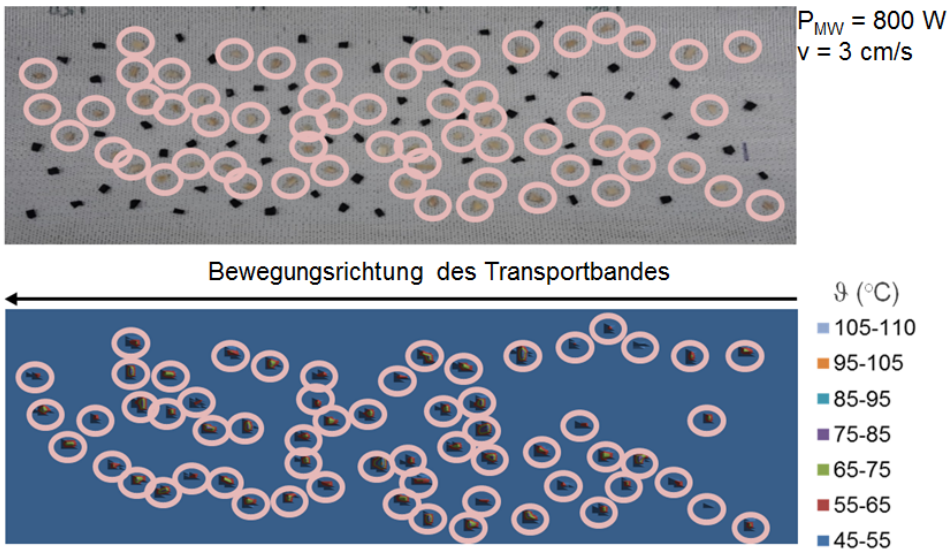


Abbildung 17: Teilchen aus Kiefer und EPDM/SBR auf dem Transportband (o.) und dazugehöriges Wärmebild (u.) nach der Mikrowellenerwärmung [31].

In Abbildung 17 (oben) ist eine Fotografie der Partikel zu sehen, die zufällig auf dem Förderband platziert wurden. Darunter befindet sich das dazugehörige Wärmebild nach der Mikrowellenerwärmung, in dem nur Temperaturen von 45 °C und mehr angezeigt werden. Markiert (rosa Kreise) sind die Kiefernpartikel in beiden Bildern. In diesem praxisorientierten Partikelgrößenbereich ist daher eine Sortierung zwischen Kiefer und EPDM/SBR möglich, wenn als Trennkriterium eine Temperatur von 45 °C gewählt wird. Es ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse auch auf andere Kombinationen von Holz und Elastomeren übertragbar sind [31].

4 Zusammenfassung

Der Anteil an Kunststoffabfall, der dem Recycling zugeführt wird und der Anteil, der dann tatsächlich stofflich verwertet wird, sind derzeit mit 46,7 % und 30,6 % noch recht gering. Werden die Produktionsabfälle, die üblicherweise eine bekannte stoffliche Zusammensetzung und keine Gebrauchsspuren/Verschmutzungen aufweisen außer Acht gelassen, werden also nur der Post-Consumer-Anteil betrachtet, so stehen die Anteile nur noch bei 38,8 % bzw. 17,3 %. Auch die Verbringung von Abfällen ins Ausland, wobei der wahre Verbleib dieser Abfälle anschließend nicht mehr nachvollzogen werden kann, stellt sich als problematisch heraus. Es ist daher anzustreben, so viele Abfälle wie möglich einer effizienten Sortierung vor Ort (im Entstehungsland) zuzuführen, um möglichst hohe Recyclingraten und Reinheiten der Sortierprodukte zu erzielen. Mit derzeitigen Sortiermethoden lassen sich diese Ziele jedoch noch nicht erfüllen. Es ist daher notwendig, bestehende Sortierverfahren weiterzuentwickeln und Sortierverfahren mit weiteren Trennmerkmalen zu entwickeln. Am Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (iTN) der Hochschule Zittau/Görlitz wurden und werden verschiedene Verfahren für die Kunststoffsortierung entwickelt und getestet. Zu ihnen gehören für die Kunststoffsortierung bekannte Verfahren wie die NIR-Sortierung und ihre Weiterentwicklung, die MIR-Sortierung, aber auch noch nicht angewendete Verfahren wie die Sortierung nach thermischen und dielektrischen Eigenschaften und die RFID-Sortierung. Alle die Verfahren haben ihre Vor- und Nachtteile und sind primär für spezielle Zielprodukte, z. B. MIR für dunkle Kunststoffe oder CFK, anwendbar. Die weitere Forschung auf dem Gebiet der Kunststoffsortierung innerhalb des Recyclings ist daher bei Weitem noch nicht abgeschlossen.

Literaturverzeichnis

[1] CONVERSIO MARKET & STRAGETY GMBH: *Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017 - Kurzfassung*. – https://www.bvse.de/images/news/Kunststoff/2018/181011_Kurzfassung_Stoffstrombild_2017.pdf

[2] HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (HRSG.); BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (BUND) (HRSG.): *Plastikatlas 2019: Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff*. – https://www.boell.de/de/2019/05/14/plastikatlas?dimension1=ds_plastikatlas

[3] FÜSSLER, A.: *EAN-RFID - Ein neuer Standard steht zur Wahl*. 2002. – Coorganisation, Heft 3, S. 38-49

[4] WULF, R.: *Untersuchungen zum automatischen Klauben von Kunststoffabfallprodukten mit Hilfe von Transpondern*. 2005. – Diplomarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz

[5] BMWA- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT (HRSG.): *Einsatz eines transpondergestützten Verfolgungssystems für Getränkemehrweggebinde*. 2002. – BMWA- Studie: „Prüfung der Optimierung des Mehrwegsystems in kleineren und mittleren Unternehmen des Getränkehandels“, Eigenverlag, Berlin

[6] KUTZBACH, C. J.: *Transponder sollen Barcode langfristig ersetzen*. 2001. – Computer Zeitung, Heft 40, S.18 ff

[7] FINKENZELLER, K.: *RFID-Handbuch - Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten*. 2002. – 3. Aufl., Carl Hanser Verlag, München, Wien

[8] ARNOLD, D.: *Was ist dran an der RFID-Euphorie? Fördern und Heben*. 2004. – Heft 5, S. 298-301

[9] HASCHER, W.: *Identifikation mit Mini-Chips*. 2003. – Elektronik, Heft 19, S. 50-55

[10] RTT SYSTEMTECHNIK GMBH (HRSG.): *Grundlegende technische Beschreibung der UNISORT®-Systeme zur automatischen Sortierung von Kunststoffen*. 2001. – Informationsschrift, RTT Systemtechnik GmbH Zittau, Zittau

[11] USAMI, M. ; OHKI, M.: *The μ-Chip - An Ultra-small 2.45 GHz RFID-Chip for Ubiquitous Recognition Applications*. 2003. – Internal Report, Hitachi Corp., Japan

[12] SCHOENHER, J. I. ; REICHMANN, M. ; BALOUN, T. A. ; ZOCHER, M. ; SCHUBERT, G.: *Sortieren mit Hilfe von RFID-Systemen*. 2006. – Tagungsbeitrag, „Sensorgestützte Sortierung 2006“, Aachen

[13] MARTENS, H. ; GOLDMANN, D.: *Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis*. 2016. – 2. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden

[14] GÜNZLER, H. ; GREMLICH, H.-U.: *R-Spektroskopie. Eine Einführung*. 2003. – 4., vollst. überarb. Aufl., Wiley-VCH, Weinheim

[15] BECKER, W. ; SACHSENHEIMER, K. ; KLEMENZ, M.: *Detection of black plastics in the middle infrared spectrum (MIR) using photon Up-conversion technique for polymer recycling purposes*. – Polymers, Jahrgang 9, Heft 9. 2017

[16] GUTTE, E.: *Sortieren von carbonfaserverstärkten und unverstärkten Kunststoffen*. 2018. – Bachelorarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz

[17] BISCHOF, C. ; POSSART, W.: *Adhäsion – Theoretische und experimentelle Grundlagen*. 1983. – Akademie-Verlag, Berlin

[18] BLETSCH, S.: *Untersuchungen zum Haftverhalten von Kunststoffen an beheizten Oberflächen im Hinblick auf die Entwicklung eines Sortierverfahrens für Kunststoffgemische*. 1995. – Dissertation, RWTH Aachen, Verlag Mainz, Wissenschaftsverlag, Aachen

[19] ALTMANN, F.: *Zur selektiven Trennung von Kunststoffen aus Kabelreststoffen durch Nutzung thermischer Verhaltensunterschiede*. 1999. – Praxissemesterarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz

[20] SOMMER, A.: *Untersuchungen zum Anschmelzverhalten von Kunststoffen im Rahmen einer rückstandsfreien Verwertung von Kabelrecyclingreststoffen*. 2000. – Diplomarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz

[21] SCHULZENSOHN, S.: *Untersuchungen zur Trennung ausgewählter Kunststoffsorten mit Hilfe eines Thermoadhäsions-Trommelscheiders*. 2000. – Praxissemesterarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz

[22] BALOUN, T. A.: *Sortieren von Kunststoffen durch Thermoadhäsion an einem neuartigen Scheider*. 2002. – Diplomarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz

[23] BALOUN, T. ; SCHOENHERR, J. I. ; ZOCKER, M. ; SCHUBERT, G.: *Untersuchungen zum Thermoadhäsionssortieren*. 2005. – Tagungsbeitrag, „4. Kolloquium Sortieren“, TU Berlin, Berlin

[24] BALOUN, T. A. ; SCHOENHERR, J. I. ; SCHUBERT, G.: *Untersuchungen zum thermischen Sortieren von Kunststoffen*. 2003. – Tagungsbeitrag, „3. Kolloquium Sortieren – Innovationen und Anwendungen“, TU Berlin

[25] LABBERT, M. ; BALOUN, T. ; CLEMENZ, P. ; SCHOENHERR, J.I.: *Sorting of Conventional, Fiber-reinforced, and Biodegradable Plastics*. 2018. – Tagungsbeitrag, “7th International Symposium on Energy from Biomass and Waste”, Venedig, Italy, October 15.-18.10.2018, CISA Publisher, Session D4/3, Paper 186

[26] DETLEFSEN, J. ; SIART, U.: *Grundlagen der Hochfrequenztechnik*. 2009. – Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München

[27] METAXAS, A. C. ; MEREDITH, R. J.: *Industrial Microwave Heating*. 1993. – Publisher Peter Pegrenius Ltd, London

[28] LABBERT, M. ; BALOUN, T. A. ; SCHOENHERR, J. I. ; KUYUMCU, H. Z.: *Developments in Plastics Sorting using Microwave Heating and Infrared Detection*. 2014. – Tagungsbeitrag, “Sensor Based Sorting 2014”, RWTH Aachen, Aachen

[29] LABBERT, M. ; BALOUN, T. A. ; SCHOENHERR, J. I. ; KUYUMCU, H. Z.: *Studies on Thermo-Sensitive Sorting of Plastics*. 2012. – Tagungsbeitrag, “Sensor Based Sorting 2012”, RWTH Aachen, Aachen

[30] LABBERT, M. ; BALOUN, T. A. ; SCHOENHERR, J. I. ; KUYUMCU, H. Z.: *Characterization and Identification of Plastics through Microwave Treatment and Temperature Measurement*. 2013. – Tagungsbeitrag, “OCM 2013 - Optical Characterization of Materials Conference”, Karlsruhe

[31] LABBERT, M. ; BALOUN, T. A. ; SCHOENHERR, J. I. ; WINKLER, C ; ZOCHER, M.: *Verfahrens- und Apparateentwicklung zum Thermosensitiven Sortieren*. 2016. – Tagungsbeitrag, „Aufbereitung und Recycling“, UVR-FIA GmbH, Freiberg

[32] CHEN, M. ; SIOCHI, E. J. ; WARD, T. C. ; MCGRATH, J. E.: *Basic Ideas of Microwave Processing of Polymers*. 1993. – Polymer Engineering and Science, Vol. 33, Issue 17, pp. 1092-1109

[33] PRODROMAKIS, T. ; PAPAVASSILIOU, C.: *Engineering the Maxwell-Wagner Polarization Effect*. 2009. – Applied Surface Science, Vol. 255, Issue 15, pp. 6989-6994

[34] REUTER, M.: *Sortieren von Kunststoffen mittels Mikrowellen unter Berücksichtigung des Konkurrenzproblems*. 2018. – Praxissemesterarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz

Postersession

Posterová sekce

AZ CONSULT® spol. s r.o.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

GEO-TOOLS

Technická realizace a úskalí vyhodnocování stability svahů v závislosti na typu zeminy, sklonu svahu, délce svahu a hloubce hladiny podzemní vody

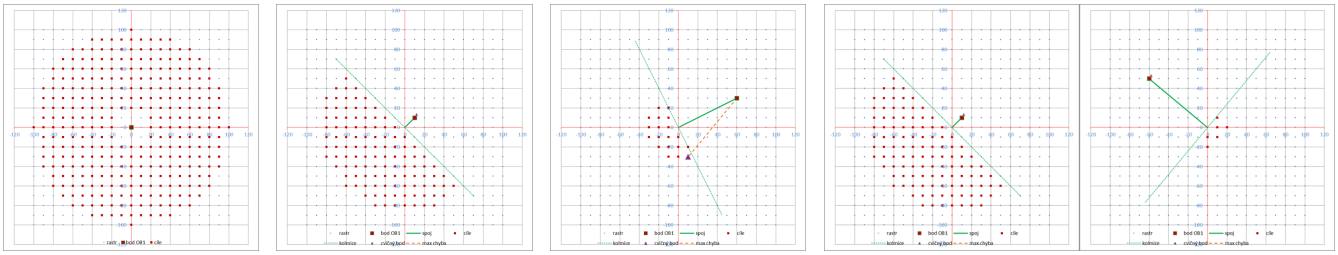
Technische Verwirklichung und Schwierigkeiten beim Einschätzen der Böschungsstabilität abhängig von Bodentyp, Neigung, Böschungslänge und Grundwasserstand

Lukáš Zedek [1] Jan Kurka [2] Jan Šembera [1]

[1] *Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, Ústav mechatroniky a technické informatiky, Liberec – lukas.zedek@tul.cz*

[2] *AZ Consult, spol. s r.o., Ústínad Labem*

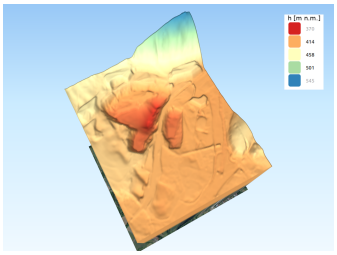
Geometrická koncepce modelu / Geometrisches Konzept zur Simulation



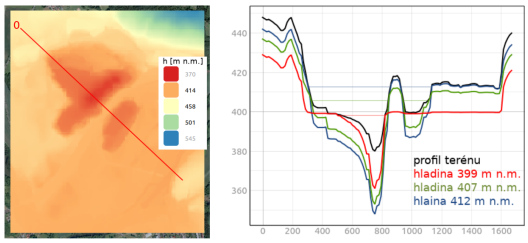
Posuzovaná lokalita / Eingeschätzte Standort



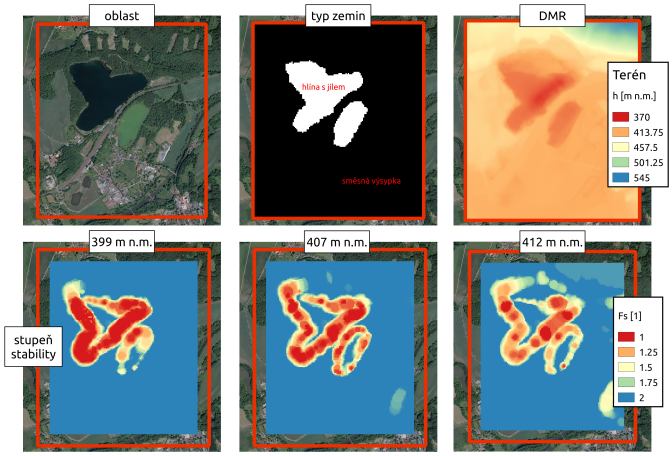
Digitální model reliéfu / Digitales Oberflächenmodell



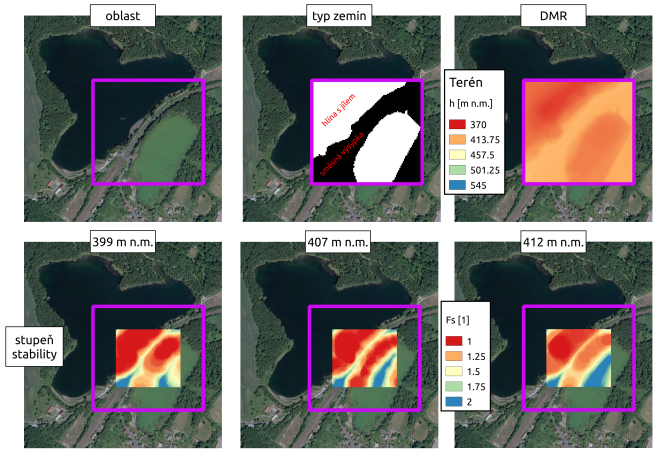
Hladina podzemní vody / Grundwasserspiegel



Výsledky / Ergebnisse



Zjemění sítě / Netzverfeinerung



Podpora / Förderung

Popsaných výsledků bylo dosaženo za podpory Technologické agentury České republiky v rámci projektu **Expertní systém pro monitoring, hodnocení rizik a podporu rozhodování v oblasti využití krajiny (GERIT)** č. p. TH02030069.

Verze:15082019

Kratší svahy / Kürzere Böschungen

