



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



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

# Skládkový workshop Liberec-Žitava 2016

*Skládka jako poslední možnost*

Aktuální otázky

vyplývající z hierarchie nakládání s odpady

3.-4. listopadu 2016



# Deponieworkshop Liberec-Zittau 2016

*Deponie als letzte Möglichkeit*

Aktuelle Fragen,

die sich aus der Abfallhierarchie ergeben

03.-04. November 2016



12. Skládkový workshop Liberec-Žitava

## **Skládka jako poslední možnost**

Aktuální otázky vyplývající z hierarchie nakládání s odpady

12. Deponieworkshop Liberec-Zittau

## **Deponie als letzte Möglichkeit**

Aktuelle Fragen, die sich aus der Abfallhierarchie ergeben

## **Podpora**

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

## **Förderung**

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

odborný editor: Lukáš Zedek

technický editor: Kamil Nešetřil

překlady provedl: Sven Dietrich

Sborník byl připraven s využitím typografického systému  $\LaTeX$ .

# Obsah

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

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

# Inhaltsverzeichnis

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

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



**Aplikovaná geologie a další témata**

**Angewandte Geologie, Sonstiges**



# Následné využití lokality skládky Gò Cát v Ho Āi Minově městě

## Nachnutzung des Deponiestandortes Gò Cát in Ho Chi Minh City

André Gerth, Anja Hebner, Kathrin Kopielski<sup>1</sup>, Petra Schneider<sup>2</sup>

### Abstrakt

Vita 34 zpracovala pro skládku domovního odpadu Gò Cát v Ho Āi Minově městě ve Vietnamu vyhodnocení variant následného využití. V centru pozornosti bylo ekologické a ekonomické následné využití dané lokality. Předmětem preferované varianty byla profesionální izolace a zakrytí skládky včetně výsadby rostlin s intenzivním růstem za účelem výroby energie v kombinaci se zřízením a provozem centra pro zhodnocování biomasy. Vodní režim a obsah plynu byl modelován pro tři scénáře: pro skládku bez, s částečným a s profesionálním zakrytím. Z průzkumu současného zakrytí skládky vyplynulo, že je nutno provést zkapacitnění jímacího zařízení plynu. Díky tomu a v důsledku kvalifikovaného zakrytí tělesa skládky bude do budoucna možné efektivně využívat skládkového plynu. Bylo zpracováno doporučení pro profesionální ukončení, následnou péči a ekonomické následné využití lokality skládky pro zhodnocování biomasy (energetické zhodnocení bioodpadů a energetických trav). Toto doporučení bylo doplněno o odhad nákladů. Tyto náklady byly porovnány s potenciální výši investic do bioplynového zařízení a se z toho vyplývajícími příjmy. Kromě toho byl vyzkoušen alternativní systém izolace s využitím recyklovaného materiálu.

### Kurzfassung

von

Für die Hausmülldeponie Gò Cát in Ho Chi Minh City (HCMC) in Vietnam hat die Vita 34 eine Variantenbetrachtung zur Nachnutzung durchgeführt. Im Fokus stand dabei eine ökologische und ökonomische Nachnutzung des Standortes. Gegenstand der Vorzugsvariante ist die professionelle Abdichtung und Abdeckung der Deponie einschließlich Bepflanzung mit massewüchsigen Pflanzen zur Erzeugung von Energie, kombiniert mit der Errichtung und dem Betrieb eines Biomasseverwertungszentrums. Der Gashaushalt wurde evaluiert und der Wasserhaushalt wurde für drei Szenarien modelliert, die Deponie ohne, mit partieller und mit professioneller Abdeckung. Die Untersuchungen zum aktuellen Deponiezustand haben ergeben, dass die Gasfassung ertüchtigt werden muss. Damit und durch die qualifizierte Abdeckung des Deponiekörpers wird zukünftig eine effizientere Verwertung des Deponiegases möglich. Es wurde eine Empfehlung für den professionellen Abschluss, Nachsorge und wirtschaftliche Nachnutzung des Deponiestandortes für die Biomasseverwertung (energetische Verwertung von Bioabfällen und Energiegräsern) erstellt und mit einer Kostenabschätzung untersetzt. Diese wurde den potentiellen Investitionskosten für eine Biogasanlage und den resultierenden Einnahmen gegenüber gestellt.

<sup>1</sup>Vita 34 AG Geschäftsbereich BioPlanta, Deutscher Platz 5a, D-04103 Leipzig, info@vita34.de

<sup>2</sup>Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, D-39114 Magdeburg, petra.schneider@hs-magdeburg.de

## 1 Ausgangssituation

Mit dem rasanten Wachstum der Bevölkerung ist eine Ausdehnung der Städte, insbesondere der Metropole HCMC in Vietnam verbunden. Dies stellt besondere Herausforderungen an die Ver- und Entsorgung. Eines der zu bewältigenden Probleme ist das Abfallmanagement und die damit im Zusammenhang stehenden Abfalldeponien. In der Vergangenheit wurde Hausmüll mehrheitlich deponiert. Insbesondere zahlreiche (Alt-)Deponien entsprechen nicht dem Stand der Technik. D.h. in vielen Fällen sind die Stilllegung, der Deponieabschluss und die langfristige Nachsorge nicht adäquat geregelt. Eine Abdeckung stillgelegter Deponien mit Folie erfolgte oftmals nicht oder nur in unzureichendem Maße [1]. Damit verbunden sind potentiell erhebliche Gefahren für die Umwelt. Unter den lokalen klimatischen Bedingungen, vor allem während der Monsunperioden, tragen die hohen Niederschläge zu einem verstärkten Eindringen von Niederschlag in den Deponiekörper und Bildung von Sickerwasser in der Deponie bei. Dies bedingt eine signifikante Schadstoffverlagerung über den Sickerwasserpfad, d.h. Mobilisierung und Verlagerung von Schadstoffen in das Grund- und Oberflächenwasser. Durch die unzureichende Oberflächenabdeckung sind zudem Emissionen über den Luftpfad (Deponiegas) verbunden.

Für die Folgenutzung von Hausmülldeponien in Vietnam liegen keine Erfahrungen und Konzepte vor. In dem deutsch-vietnamesischen Verbundprojekt SAFEUSE wurden am Beispiel der innerstädtischen Hausmülldeponie Gò Cát in Ho Chi Minh City (HCMC) best-practice-Maßnahmen zur nachhaltigen Schließung und Bewirtschaftung identifiziert. Es wurde eine umfangreiche Variantenuntersuchung zu möglichen geeigneten Nachnutzungsoptionen vorgenommen, welche technische, ökonomische, ökologische und soziale Aspekte einer Folgenutzung berücksichtigt, um die Deponie gleichzeitig in einen emissionsarmen Zustand zu überführen. Die Deponie Gò Cát wurde im Dezember 2000 errichtet und umfasst eine Deponiefläche von rund 17,5 ha, zzgl. 7,5 ha für Infrastruktur mit Betriebsgebäuden und einer Behandlungsanlage für das Sickerwasser der Deponie. Die Höhe des Deponiekörpers beträgt rund 15 m über und reicht bis ca. 7 m unter Geländeoberkante. Insgesamt wurden rund 5,4 Mio. t Müll abgelagert (Abbildung 1). Die Ablagerung des Mülls erfolgte abschnittsweise von Norden nach Süden. Der Ablagerungsbereich 1 ist der jüngste, der Bereich 5 der älteste.

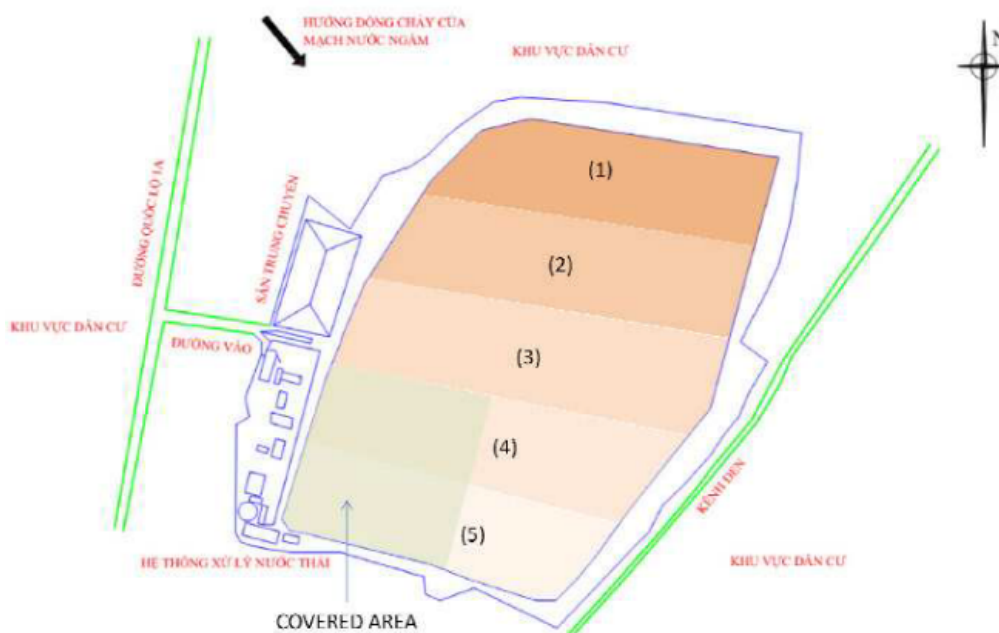


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Deponie mit Kennzeichnung der Ablagerungsbereiche 1-5.

Bei den eingelagerten Abfällen handelt es sich um unbehandelten und nicht vorsortierten Hausmüll. Eine Klassifizierung der eingelagerten Abfälle erfolgte bisher nicht. Laut dem Betreiber der Deponie, Ho Chi Minh City Urban Environment Co. Ltd. (CITENCO), beläuft sich der Anteil an organischem Gehalt in der Abfallfraktion auf ca. 60 – 77%. Der Anteil, der auf Kunststoffe entfällt kann nicht klassifiziert werden. Der Schichtenaufbau der Deponie, gemäß Planung des niederländischen Unternehmens Vermeer aus dem Jahr 1995, ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die Basisabdichtung der Deponie besteht aus einer ca. 1 m mächtigen Tonlage und einer HDPE Geomembran. Oberhalb wurde eine ca. 0,3 m mächtige Kiesdrainage eingebaut. Die eingelagerten Abfälle sind ca. 22 m mächtig und bestehen aus insgesamt 6 Schichten. Jede Schicht umfasst je zwei Lagen Abfall zu je 1,75 m, die temporär mit einer Lage aus Erdstoff zu jeweils 0,15 m abgedeckt wurden. Seit der Schließung von Gò Cát im Juli 2007 erfolgte eine partielle Abdeckung der Deponie mit Geomembran. Diese bedeckt ca. 50% der Ablagerungsbereiche 4 und 5 bzw. etwa ein Viertel der Deponie. Eine Verschweißung der Folie erfolgte nicht. Die Folie liegt an vielen Stellen nur lose auf (Abbildung 3). Infolge des verstärkten Eindringens von Sickerwasser ist das Gasfassungssystem der Deponie stark beeinträchtigt. An vielen Stellen der Deponie treten Gasleckagen auf und es bilden sich Aufwölbungen unterhalb der Folie durch austretendes Deponiegas.

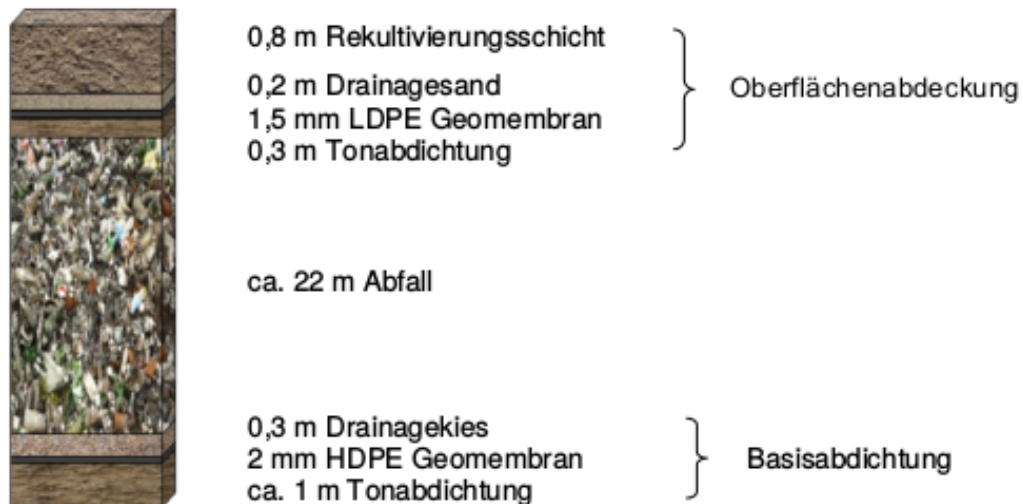


Abbildung 2: Geplanter Schichtenaufbau der Deponie Gò Cát.

Untersuchungen haben ergeben, dass das im Deponiekörper enthaltene Sickerwasser die Kapazität der Sickerwasserbehandlungsanlage insbesondere während der Regenzeit signifikant übersteigt. Die Behandlungskapazität liegt bei rund 400 m<sup>3</sup>/d. In Trockenzeiten fallen ca. 300 - 400 m<sup>3</sup>/d, in Regenzeiten ca. 2.000 - 2.500 m<sup>3</sup>/d Sickerwasser an. Mit der Schließung der Deponie wird eine Reduzierung der Sickerwasserrate angestrebt. Dazu wurde eine Empfehlung für eine qualifizierte Oberflächenabdeckung der Deponie erstellt. Zudem wurde der Wasserhaushalt der Deponie für den Ist-Zustand sowie nach professioneller Oberflächenabdeckung modelliert. Für die Folgenutzung von Gò Cát ist eine Begrünung der Deponie mit massewüchsigen Energiepflanzen vorgesehen. Mit der Errichtung einer Biogasanlage können die Erträge sowie weiter Biomasseströme zur klimafreundlichen Produktion von Energie genutzt werden.



Abbildung 3: Partielle Abdeckung der Deponie Gò Cát mit lose aufgelegter Folie.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Modellierung des Wasserhaushaltes

Der Wasserhaushalt der Deponie Gò Cát wurde durch die C&E Consulting und Engineering GmbH für drei Szenarien modelliert:

- Szenario 1: Deponie im unabgedeckten Zustand (worst-case Szenario),
- Szenario 2: Deponie im Ist-Zustand (50% Abdeckung der Parzellen 4 und 5 mit Folie, entspricht ca. 1/4 Gesamtdeponiefläche),
- Szenario 3: Deponie nach qualifizierter Oberflächenabdeckung.

Die Berechnung des Wasserhaushaltes basiert auf folgender Gleichung:

$$N = E_{Tr} + A_O + A_I + A_D + A_{SW} + (R - B) \quad (1)$$

Demnach beschreibt der Gesamtniederschlag ( $N$ ) die Summe aus realer Evapotranspiration ( $E_{Tr}$ ), Oberflächenabfluss ( $A_O$ ), Lateralabfluss der Rekultivierungsschicht ( $A_I$ ), Abfluss der Drainageschicht ( $A_D$ ) sowie der Abdichtung ( $A_{SW}$ ) und der Änderung der Wasserbilanz in der Oberflächenabdichtung ( $R - B$ ).

Für die Modellierung des Wasserhaushaltes wurde das Computerprogramm HELP 3.95 (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) verwendet. Es wurde für die Modellierung des Wasserhaushaltes offener und geschlossener Deponie entwickelt und berücksichtigt geotechnische Daten des Deponiekörpers, wie z.B. Schichtenabfolge, Schichtmächtigkeit, Neigung, Länge der Drainageschicht und Deponie(teil-)fläche. Zudem fließen Bodenkenndaten (Porosität, gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, Feldkapazität und Welkepunkt) sowie Vegetationskennzahlen (Bewuchs, Blattflächenindex und Dauer der Wachstumsperiode) in das Modell ein. Außerdem werden klimatische Faktoren, wie Temperatur, Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit bei der Modellierung des Wasserhaushaltes berücksichtigt [2]. Hierfür erfolgte eine Auswertung der Klimadaten für den Zeitraum 1999 – 2013 einer der Deponie nahegelegenen Wetterstation (HCMC Flughafen).

Aus der Modellierung des Wasserhaushaltes ergibt sich die Wassermenge, die in den Abfallkörper, nach der Passage der Abdichtschicht, eindringt. Dabei müssen die Wasserspeicher-

kapazität des Abfalls und die Menge Wasser, die bei der Mineralisierung des Abfalls umgesetzt wird, berücksichtigt werden [2]. Der seitliche Zufluss für die Deponie Gò Cát ist nicht bekannt und wurde daher bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Zudem wird die Sickerwassermenge berechnet, die über die Drainage unterhalb des Abfallkörpers abgeleitet wird.

## 2.2 Empfehlung für eine professionelle und alternative Oberflächenabdeckung der Deponie

Mit der professionellen Oberflächenabdeckung von Gò Cát soll der Zutritt von Sickerwasser in den Abfallkörper und die damit verbundene Mobilisierung und Migration von Schadstoffen minimiert werden. Gleichzeitig soll der oberflächennahe Transport von Schadstoffen durch Wind- und Wassererosion unterbunden werden. Für Gò Cát wurde eine Empfehlung für eine professionelle Oberflächenabdeckung, unter Berücksichtigung der in der deutschen Deponieverordnung festgesetzten Anforderungen zum Stand der Technik [3], erstellt.

Zudem wurde nach alternativen Materialien als Ersatz für eine Geomembran recherchiert, deren Kosten, v.a. für die Installation sehr hoch ausfallen können. In einem halbtechnischen Versuch wurde Recyclingmaterial aus Ziegelbruch erprobt. Das Material ist ubiquitär verfügbar und besitzt in der Industrie einen geringen Verwertungsgrad. Die Tonminerale, als Hauptbestandteil gebrannten Ziegels, gewährleisten eine dichtende Wirkung.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Ergebnisse der Modellierung des Wasserhaushaltes

Für die Wasserhaushaltsmodellierung wurde ein Feuchtegrad des Abfallkörpers von 30% für alle drei Szenarien vorausgesetzt [4]. Der Wasserhaushalt wurde getrennt für das Plateau sowie für den Böschungsbereich der Deponie berechnet. Die Böschungslänge beträgt durchschnittlich 80 m bei einer Neigung von 33%. Für das Plateau wurde eine Böschungslänge von 200 m mit durchschnittlicher Neigung von 20% vorausgesetzt [4]. In sind die durchschnittlichen Klimaparameter für Gò Cát enthalten, die bei der Modellierung des Wasserhaushaltes Berücksichtigung fanden.

Tabelle 1: Durchschnittliche Klimaparameter für Gò Cát, HCMC zwischen 1999 - 2013.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
<b>Temperatur (°C)</b>	26,5	27,2	28,5	29,4	28,4	27,7	27,2	27,4	27,2	26,9	27,0	26,1
<b>Niederschlag (mm)</b>	6,6	1,0	44,1	95,5	233,6	247,3	233,2	249,2	252,8	304,4	139,7	31,9
<b>Windgeschwindigkeit (km/h)</b>	10,3	10,8	10,9	10,9	10,8	10,8	10,6	10,6	10,5	9,9	10,0	9,9
<b>Luftfeuchte (%)</b>	74,0	68,0	69,0	70,5	80,0	81,3	84,5	86,0	85,8	86,5	81,0	77,0

Hinsichtlich der Vegetationsparameter wurde der maximale Blattflächenindex ohne Bewuchs auf 0 und mit Bewuchs auf 2 festgelegt. Die Vegetationsperiode beträgt 365 Tage. Die Tiefe der verdunstungswirksamen Zone beträgt ohne Bewuchs 2 m, mit Bewuchs 1 m [4].

### 3.1.1 Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 1 (Deponie im ungedeckten Zustand)

Das Szenario 1 beinhaltet die Ergebnisse der Modellierung des Wasserhaushaltes für die Deponie im ungedeckten Zustand. Der berücksichtigte Schichtenaufbau ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Berücksichtigter Schichtenaufbau für die Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 1 [4, 5].

Schichtsequenz	Schichttyp	Porenvolumen [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Feldkapazität bei pF 2,5 [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Welkepunkt bei pF 4,2 [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	k <sub>r</sub> -Wert [m/s]
6 x 3,5 m Abfall	Perkolationsschicht	0,671	0,292	0,077	5,8E-5
5 x 0,15 m Erde	Perkolationsschicht	0,437	0,062	0,024	1,0E-5
0,3 m Kies	Drainageschicht	0,397	0,032	0,013	3,0E-3
2 mm HDPE-Folie	Geomembran	-	-	-	2,0E-15
0,5 m Ton	Mineralische Abdichtung	0,427	0,418	0,367	1,1E-07

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 1 zusammengefasst. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagshöhe beträgt 349.930 m<sup>3</sup>. Rund 600 m<sup>3</sup>/a davon fließen im Plateaubereich und rund 1.330 m<sup>3</sup>/a an der Böschung oberflächlich ab. Die Evapotranspiration in beiden Bereichen der Deponie liegt auf einem vergleichbaren Niveau zwischen rund 92.000 und 94.000 m<sup>3</sup>/a. Der Sickerwasseranteil, der über die Drainage an der Basisabdichtung abgeführt wird beträgt im Bereich des Plateaus 85.830 m<sup>3</sup>/a und an der Böschung 83.290 m<sup>3</sup>/a. Die zu behandelnde Sickerwassermenge beträgt 169.120 m<sup>3</sup>/a.

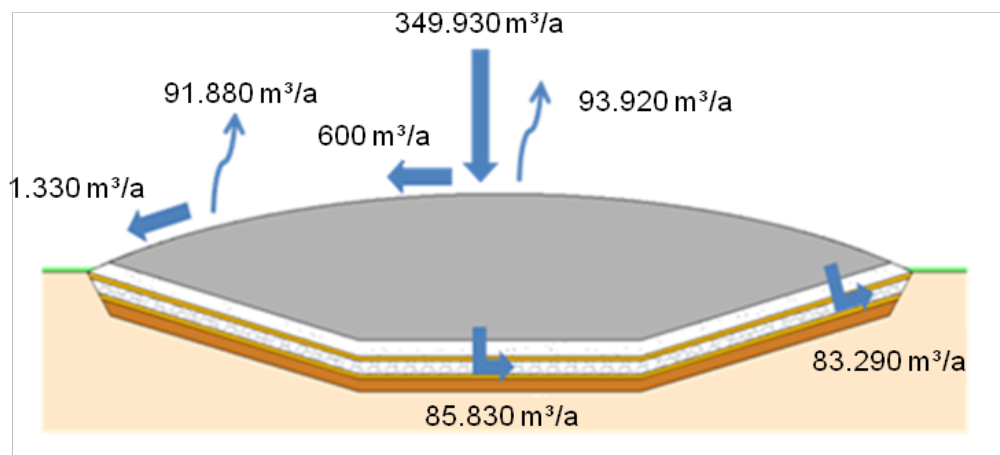


Abbildung 4: Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 1 (Datengrundlage: C&E, 2016)

### 3.1.2 Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 2 (Deponie im Ist-Zustand)

Das Szenario 2 berücksichtigt die Abdeckung der Deponie in den Bereichen 4 und 5 mit Geomembran. Beide Bereiche sind etwa zu 50% abgedeckt. Der für die Modellierung des Wasserhaushaltes -modellierung berücksichtigte Schichtaufbau ist in zusammengefasst.



Tabelle 3: Berücksichtigter Schichtenaufbau für die Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 2 [4, 5].

Schichtsequenz	Schichttyp	Porenvolumen [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Feldkapazität bei pF 2,5 [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Welkepunkt bei pF 4,2 [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	k <sub>r</sub> -Wert [m/s]
0,8 m lehmiger/toniger Sand	Perkolationsschicht	0,437	0,105	0,047	1,7E-5
0,2 m Drainagesand	Drainageschicht	0,437	0,062	0,024	5,8E-5
2 mm HDPE-Folie	Geomembran	-	-	-	2,0E-15
0,3 m Ton	Mineralische Abdichtung	0,451	0,419	0,322	6,8E-9
6 x 3,5 m Abfall	Perkolationsschicht	0,671	0,292	0,077	5,8E-5
5 x 0,15 m Erde	Perkolationsschicht	0,437	0,062	0,024	1,0E-5
0,3 m Kies	Drainageschicht	0,397	0,032	0,013	3,0E-3
2 mm HDPE-Folie	Geomembran	-	-	-	2,0E-15
0,5 m Ton	Mineralische Abdichtung	0,427	0,418	0,367	1,1E-07

Aus den Ergebnissen der Modellierung des Wasserhaushaltes in Abbildung 5 geht hervor, dass durch die teilweise Abdeckung der Deponie Gò Cát der Oberflächenabfluss, sowohl im Plateau- als auch im Böschungsbereich, im Vergleich zu Szenario 1, signifikant erhöht ist. Die Evapotranspiration im Bereich des Plateaus ist ca. 3,5-fach erhöht gegenüber der im Böschungsbereich. Infolge der partiellen Oberflächenabdeckung kommt es zu einer deutlichen Reduzierung des Sickerwasservolumens im Bereich der Böschungen. Hingegen erfolgt eine Erhöhung der zu fassenden Sickerwassermenge im Bereich des Plateaus. Das zu behandelnde Sickerwasservolumen beträgt 137.560 m<sup>3</sup>/a und liegt demnach 31.560 m<sup>3</sup>/a unterhalb der modellierten Sickerwassermenge für Szenario 1.

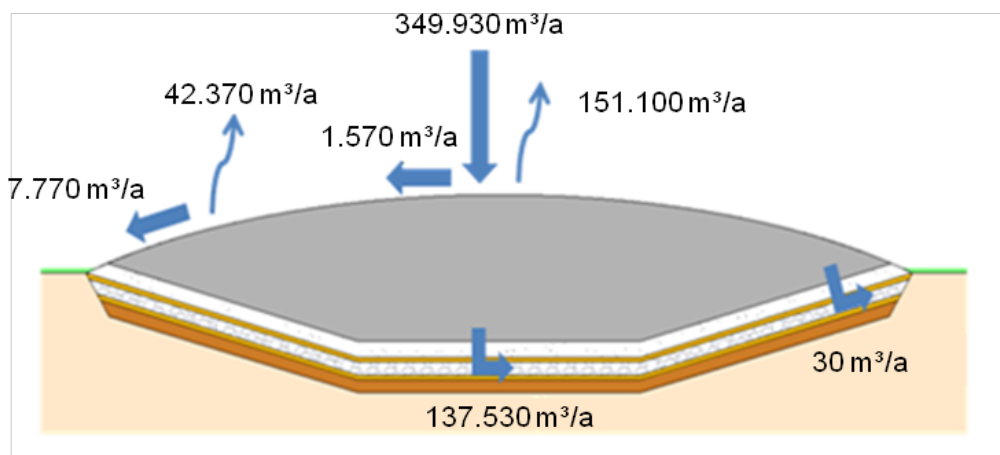


Abbildung 5: Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 2 (Datengrundlage: C&E, 2016)

### 3.1.3 Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 3 (Deponie im abgedeckten Zustand)

Für die Deponie im abgedeckten Zustand wurde ein vollständiger Grasbewuchs berücksichtigt. Der Blattflächenindex beträgt in diesem Fall 2,0. Der für die Modellierung des Wasserhaushaltes berücksichtigte Schichtenaufbau ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Berücksichtigter Schichtenaufbau für die Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 3 [4, 5].

Schichtsequenz	Schichttyp	Porenvolumen [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Feldkapazität bei pF 2,5 [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	Welkepunkt bei pF 4,2 [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	k <sub>r</sub> -Wert [m/s]
0,8 m lehmiger/toniger Sand	Perkolationsschicht	0,437	0,105	0,047	1,7E-5
0,2 m Drainagesand	Drainageschicht	0,437	0,062	0,024	5,8E-5
2 mm HDPE-Folie	Geomembran	-	-	-	2,0E-15
0,3 m Ton	Mineralische Abdichtung	0,451	0,419	0,322	6,8E-9
6 x 3,5 m Abfall	Perkolationsschicht	0,671	0,292	0,077	5,8E-5
5 x 0,15 m Erde	Perkolationsschicht	0,437	0,062	0,024	1,0E-5
0,3 m Kies	Drainageschicht	0,397	0,032	0,013	3,0E-3
2 mm HDPE-Folie	Geomembran	-	-	-	2,0E-15
0,5 m Ton	Mineralische Abdichtung	0,427	0,418	0,367	1,1E-07

Im Ergebnis der Modellierung ergibt sich eine annähernde Gleichverteilung der jährlichen Evapotranspiration im Plateau- und im Böschungsbereich. Rund 99% des gesamten Oberflächenabflusses entfallen auf den Plateaubereich. Die Evapotranspiration im Böschungsbereich liegt deutlich über der im Plateaubereich. Lediglich 207 m<sup>3</sup>/a Sickerwasser vom Plateau und der Böschungen werden über die Drainage an der Basis der Deponie gefasst. Im Gegensatz zum Ist-Zustand der Deponie (Szenario 2) erfolgt eine Verringerung des zu behandelnden Sickerwassers um 137.353 m<sup>3</sup>/a.

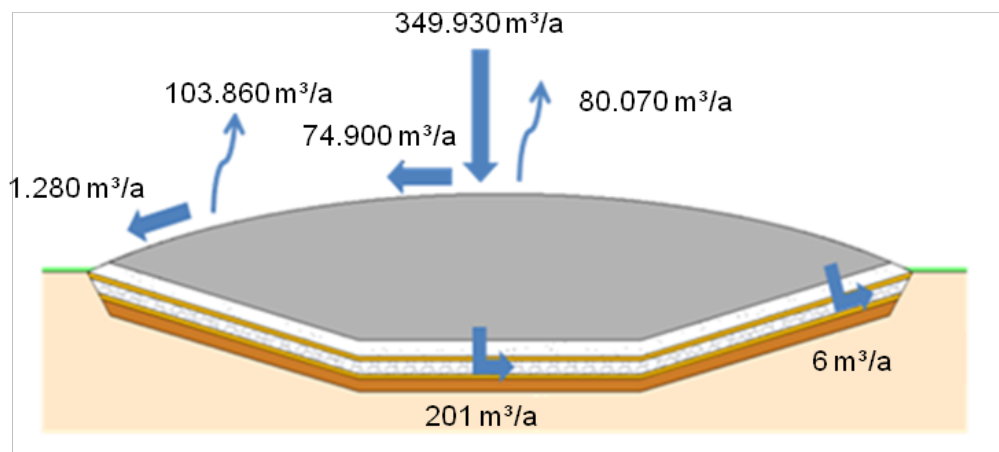


Abbildung 6: Modellierung des Wasserhaushaltes für Szenario 3 (Datengrundlage: C&E, 2016)

### 3.2 Entwicklung einer professionellen Oberflächenabdeckung und Selektion geeigneter Pflanzen für ein green capping

Mit der Installation einer professionellen Oberflächenabdeckung soll die Sickerwasserrate durch den Zutritt von Regenwasser in die Deponie minimiert werden. Dazu wurde die in Tabelle 5 enthaltene Sequenz und Dimensionierung der Schichten empfohlen.

Tabelle 5: Sequenz und Dimensionierung der Schichten für eine professionelle Oberflächenabdeckung der Deponie Gò Cát.

Schichtsequenz	Schichtmächtigkeit
Oberboden mit 20 Vol.-% Kompostzugabe (Rottegrad V)	0,3 m
Boden mit hoher Feldkapazität (z.B. schluffiger Sand), Einbau	0,5 – 1,2 m
Drainageschicht (oder Drainagematte 5 cm)	0,1 – 0,3 m
HDPE - Geomembran	0,25 cm
Optional: Schutzschicht für Geomembran, ggf. mit Geotextil	(0,1 m)
Tonschicht und Profilierungsschicht	0,3 – 0,5 m
<b>Schichtmächtigkeit des Oberflächenabdichtungssystems</b>	<b>1,2 m – 1,9 m</b>

Die Auswahl geeigneter Pflanzen für ein green capping erfolgte anhand spezieller Kriterien:

- Einheimisch
- Perennierend
- Massewachstum
- Vermehrbarkeit
- Eignung zur Hangstabilisierung
- Angepasstheit an vorherrschende klimatische und pedogene Bedingungen
- Wurzeltiefe
- Pflegeintensität und
- Resistenz gegenüber Pflanzenschädlingen und Krankheiten.

Anhand dieser Auswahl wurden Pflanzen selektiert, die eine besondere Eignung als nachwachsende Rohstoffe zur Erzeugung von Biogas aufweisen, wie Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*) und Chinaschilf (*Miscanthus giganteus*). In einem Technikumsversuch wurde der Einfluss unterschiedlicher Substrate (Bodenart, Nährstoffgehalt) und der Sonnenscheindauer auf die Biomasseerträge untersucht. Beide Pflanzenarten zeigen hohe Biomasseerträge auf nährstoffarmen Böden und bei den in Ho Chi Minh City vorherrschenden Beleuchtungsverhältnissen. Mit der Begrünung der Deponie wird eine energetische Verwertung der geernteten Biomasse angestrebt. In Tabelle 6 wurden die für den Standort Gò Cát zu erwartenden Biomasse- und Energieerträge für Zuckerrohr und Chinaschilf ermittelt. Der Energieertrag für Zuckerrohr liegt demnach deutlich oberhalb dem für Chinaschilf.

Tabelle 6: Ernte- und Energieerträge von Zuckerrohr [6] und Chinaschilf [7] für Gò Cát.

	Zuckerrohr	Chinaschilf
durchschnittlicher Ernteertrag [t TM/ha*a]	35	15
mittlerer Energieertrag pro 1 t [kWh]	3.800	4.400
potentieller Energieertrag pro Ernte* [kWh]	2.527.000	1.254.000

\*bezogen auf die Deponiefläche (19 ha)

Für den Standort wurde ein Konzept für die Errichtung einer Einzelbiogasanlage mit einer Generatorleistung von 7.000 kWh/d (2.555.000 kWh/a) erstellt. Für diese Leistung ist eine zusätzliche Substrateinspeisung z.B. mit biologisch abbaubaren Haus-, Landwirtschafts- und Gewerbeabfällen notwendig.

### 3.3 Testung einer alternativen Abdichtung

In einem halbtechnischen Versuch wurde als Ersatz für HDPE-Geomembran Recyclingmaterial als alternative Abdeckung der Oberflächenabdeckung getestet. Eine detaillierte Darstellung des Versuchs und dessen Ergebnisse ist Schneider et al. im vorliegenden Tagungsbericht zu entnehmen. Für den Versuch wurden zwei Testsysteme (Kontrollsystem und System mit alternativer Abdichtung), bestehend aus Kunststoffwannen, mit einer Grundfläche von je einem Quadratmeter errichtet. Die Schichtsequenzen beider Systeme sind in Tabelle 7 enthalten. Die alternative Abdeckung besteht aus 42% Ziegelmehl, 1% Fein- bis Mittelsand, 53% Tonmehl und 3% Bentonit [8].

Tabelle 7: Schichtensequenz und -dimensionierung zur Testung alternativer Abdichtung.

Schichtenaufbau		Mächtigkeit [cm]	
Gras (angesät)		-	
Mutterboden		3,0	
Fein- bis Mittelsand, in Lagen unverdichtet eingebaut		5,0	
Kies (2/4)		3,0	
Testsystem 1 (Kontrollsystem): HDPE-Folie	Testsystem 2: alternative Abdichtung aus Recyclingmaterial	0,25 mm	8,0

Beide Testsysteme wurden im Gewächshaus der Vita 34 entsprechend den tatsächlichen Niederschlägen der Monate Mai bis Dezember 2000 in HCMC beregnet. Aus einer statistischen Auswertung der Klimadaten von HCMC von 1998 bis 2003 geht hervor, dass dieser Zeitraum die Monsunperiode mit dem höchsten Niederschlagsdargebot darstellt. Rund 200 Tage nach dem Einbau der alternativen Abdichtungsschicht wurde keine Perkolation der Dichtungsschicht dokumentiert.

## 4 Finanztechnische Betrachtung

Mit der Installation der professionellen Abdeckung von Gò Cát erfolgt gemäß Wasserhaushaltsmodellierung eine Verringerung der zu behandelnden Sickerwassermengen und damit der

Behandlungskosten. Im Ergebnis der Sickerwassermodellierung mittels HELP fallen für die Deponie im aktuellen Zustand 137.560 m<sup>3</sup>/a zu behandelndes Sickerwasser an. Laut dem Betreiber entfallen darauf ca. 3,9 USD/m<sup>3</sup> Sickerwasser. Jährlich sind demnach 36.484 USD für die Behandlung des Sickerwassers aufzuwenden. Durch die professionelle Abdeckung von Gò Cát erfolgt eine signifikante Reduzierung der zu behandelnden Sickerwassermenge auf 210 m<sup>3</sup>/a. Für dessen Behandlung nach professioneller Abdeckung werden demnach rund 35.665 USD eingespart (siehe Abbildung 7).

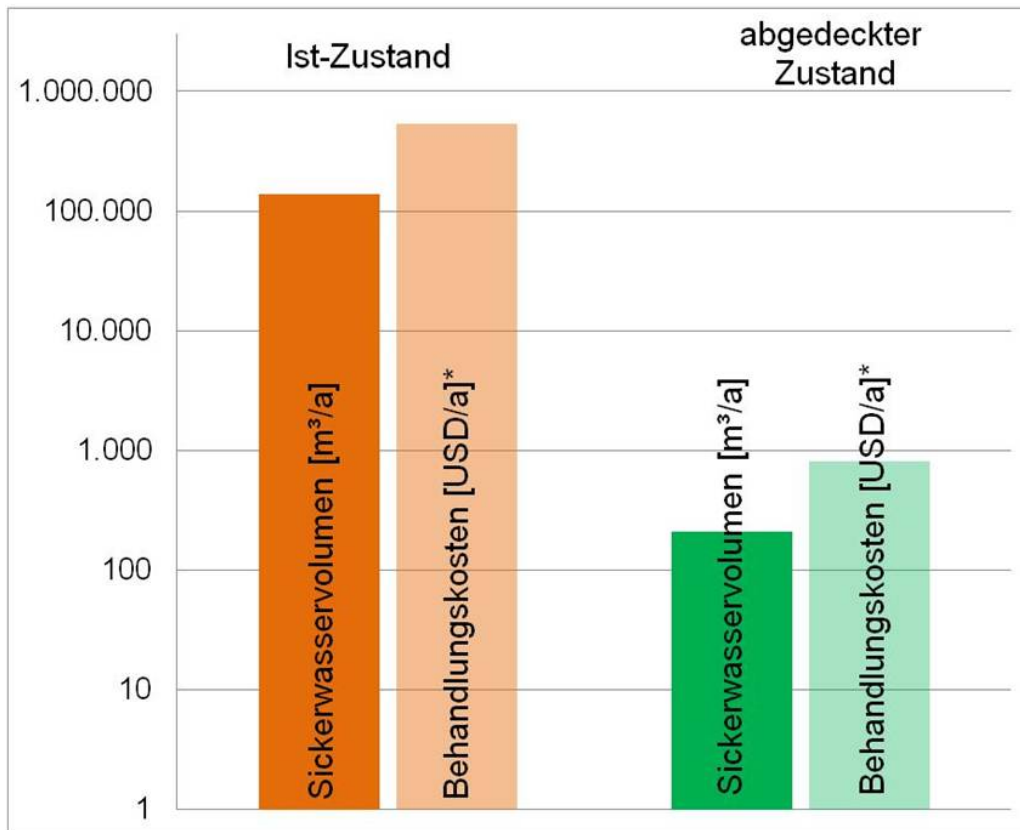


Abbildung 7: Vergleich der zu behandelnden Sickerwassermengen und –kosten zwischen dem Ist-Zustand und abgedecktem Zustand der Deponie o Cát (\*3,9 USD/m<sup>3</sup> Behandlungskosten).

Die Investitionskosten für eine Einzelbiogasanlage wurden auf rund 0,5 Mio. Euro geschätzt. Ausgehend von einer Vergütung von 0,09 USD/kWh für die Netzeinspeisung von Strom aus Biogas (2.555.000 kWh/a) und aus Deponiegas (690.000 kWh/a, gemäß Ertrag in 2014 [4]) ist eine Amortisierung der Investitionskosten für eine Biogasanlage und eine professionelle Abdeckung der Deponie nach spätestens 17 Jahren erreicht. Unter Verwendung der alternativen Abdeckung haben sich spätestens nach 15 Jahren die Investitionskosten amortisiert.

# Literaturverzeichnis

- [1] BAO QUOC, N.: *Gò Cát Landfill Quality Improving Project. Energy Conservation Research and Development Center. 14 pp. 2004*
- [2] BERGER, K. ; SCHROEDER, P. R.: *The hydrologic evaluation of landfill performance model. Version HELP 3.95 D. Institute of Soil Science, University of Hamburg, Germany. 2013*
- [3] 27.04.2009, Anhang 1. v.: *Anforderungen an den Standort, die geologische Barriere, Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien der Klasse 0, I, II, III. 2009*
- [4] C&E: *Variantevergleich der Rekultivierungs- / Abdeckvarianten - Deponie Gò Cát in Ho Chi Minh City, Vietnam. 2015*
- [5] INTECUS: *Optionen des Deponierückbaus und Beste Praktiken - Ergebnisbericht: Analyse des allgemeinen Planungsrahmens. 2014*
- [6] KLEEMANN, M. ; MELISS, M.: *Regenerative Energiequellen. 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg. 1993*
- [7] SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE, LFULG: *Mis-canthus - Anbau auf landwirtschaftlichen Flächen. 2014*
- [8] SCHNEIDER, P. ; MÜLLER, M. ; HEBNER, A. ; KOPIELSKI, K. ; SCHRICKEL, M.: *Möglichkeiten alternativer Deponieabdichtungen mit mineralischen Ersatzbaustoffen im In- und Ausland, Beitrag zum 12. Deponieworkshop Liberec-Zittau. 2016*



