



melchior + wittpohl
Ingenieurgesellschaft

Deponie Bornhausen Stilllegung und Nachsorge

Stellungnahme zu gutachterlichem Konzept

Auftraggeber:

Kreiswirtschaftsbetriebe Goslar (KAÖR)

Bornhardtstraße 13

38644 Goslar

Hamburg, den 28.02.2012

Dieser Bericht umfasst das Deckblatt, 18 Seiten und 1 Anlage. Er darf nur ungekürzt an Dritte weitergegeben werden.

Geschäftsführende Gesellschafter
Dr. habil. Stefan Melchior
Dipl.-Ing. Wolfgang Wittpohl
Beratende Ingenieure VBI

Bankverbindung
Hamburger Sparkasse
BLZ: 200 505 50
Konto: 1238 116 964

Hamburg
Karolinenstraße 6
20357 Hamburg
info@mplusw.de

Wörrstadt
Hermannstraße 65
55286 Wörrstadt
woerrstadt@mplusw.de



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung.....	1
2	Verwendete Unterlagen	1
3	Fragestellungen	3
4	Ergebnisse der Prüfung	3
4.1	Wasserhaushalt.....	3
4.1.1	Allgemeines	3
4.1.2	Grundlagen des HELP-Modells	4
4.1.3	Prüfung der Eingabedaten in das HELP-Modell	5
4.1.4	Ergebnisse der HELP-Berechnungen.....	7
4.1.5	Vergleich der Berechnungen mit denen der Deponie Morgenstern.....	9
4.2	Setzungen	10
4.3	Plausibilitätsprüfung der Kostenansätze im IFAS-Gutachten	11
4.4	Gasemissionen.....	17
5	Zusammenfassende Bewertung.....	18



1 Veranlassung

Für die westlich des Harzes gelegene ehemalige Siedlungsabfalldeponie Bornhausen (Betrieb 1974 bis 2000) wurden im Jahr 2011 ein Bericht zur Untersuchung der temporären Oberflächenabdichtung [3] und ein Bericht zur Stilllegung und Nachsorge [2] im Auftrag der Kreiswirtschaftsbetriebe Goslar erstellt. In einem Vermerk des Landkreises Goslar vom 23.01.2012 [1] wurde aufgrund von Zweifeln an einzelnen Ergebnissen und Aussagen in dem IFAS-Gutachten [2] empfohlen, die Gutachten von einem unabhängigen Gutachter auf Plausibilität prüfen zu lassen.

Die melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft wurde mit Schreiben vom 08.02.2012 beauftragt, die Gutachten zu sichten und eine Stellungnahme zu den im o.g. Vermerk aufgeworfenen Fragen zu erarbeiten und dabei die Wasserhaushaltsberechnungen mit denen der Deponie Morgenstern zu vergleichen, für die die melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft 2011 ähnliche Untersuchungen durchgeführt hat (vgl. [4]).

2 Verwendete Unterlagen

Folgende Unterlagen wurden bei der Erstellung des vorliegenden Gutachtens verwendet bzw. ausgewertet:

- [1] Landkreis Goslar (2012): Auszug eines Vermerks der PG Morgenstern zur Deponie Bornhausen vom 23.01.2012, 2 S.
- [2] IFAS (2012): Stilllegung und Nachsorge der Deponie Bornhausen, Landkreis Goslar. Gutachterliches Konzept unter Berücksichtigung flankierender Maßnahmen zur Verbesserung des Deponieverhaltens des Ingenieurbüros für Abfallwirtschaft Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg, vom 04.01.2012 im Auftrag der Kreiswirtschaftsbetriebe Goslar. 178 S. + Anhang
- [3] GGU (2011): Bornhausen, Deponie, Temporäre Oberflächenabdichtung. Probenahme und Laboruntersuchungen. Laborbericht 7871/2011 der Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH, Braunschweig, vom 21.07.2011 im Auftrag der Kreiswirtschaftsbetriebe Goslar. 8 S. + Anlagen
- [4] melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft (2011): Deponie Morgenstern. Wasserhaushaltsuntersuchungen. Untersuchungsbericht im Auftrag des Landkreises Goslar vom 15.07.2011. 55 S. + Anlagen
- [5] Melchior, S. (2010): Rekultivierungsschichten - Geltende Anforderungen, Stand der Technik und Praxiserfahrungen. In: Gebert, J. & E.-M. Pfeiffer (Hrsg.): Mikrobielle Methanoxidation in Deponie-Abdeckschichten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 63, 25-42



- [6] DGGT E 2-31 (2006): GDA-Empfehlung E 2-31 Rekultivierungsschichten. Bautechnik 9/2006, 28 S. (*Neuaufgabe 2010 im Druck*)
- [7] DGGT E 2-30 (2003): GDA-Empfehlung E 2-30 – Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien, 29 S.
- [8] Berger, K. (2004): Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Modell. Technische Dokumentation zu HELP 3.80 D. Änderungen gegenüber HELP 3.07. Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, 10 S.
- [9] Schroeder, P.R. & K. Berger (2004): Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Modell: Benutzerhandbuch für die deutsche Version 3. Unter Mitarbeit von N.M. Aziz, C.M. Lloyd & P.A. Zappi. 4. überarbeitete Auflage, Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, 117 S.
- [10] Berger, K. (1998): Validierung und Anpassung des Simulationsmodells HELP zur Berechnung des Wasserhaushalts von Deponien für deutsche Verhältnisse. Schlussbericht, Umweltbundesamt, Fachgebiet III 3.6, Berlin
- [11] Berger, K. (2000): Neues zur Entwicklung des HELP-Modells und zu Möglichkeiten und Grenzen seiner Anwendung. In: Ramke, Berger & Stief (Hrsg.): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Tagung am 8. September 2000 in Hamburg. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 47, 19 – 50
- [12] AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Ad-hoc-AG Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 5. Auflage, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, 438 S.
- [13] DIN 4220 (2008): Bodenkundliche Standortbeurteilung – Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen). Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin, 50 S.
- [14] BMU (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Kartenwerk herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter Projektleitung der Bundesanstalt für Gewässerkunde und dem Institut für Hydrologie der Universität Freiburg i. Br.
- [15] DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK-Merkblätter 238, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), Bonn, 135 S.
- [16] Vermessungsbüro Reimer (2011): Ehemalige Mülldeponie Bornhausen. Nachweis über die Höhen der Kontrollpunkte des Vermessungsbüros Reimer, Goslar, vom 15.04.2011, 2 S.



3 Fragestellungen

Folgende Fragenkomplexe aus [1] sollen bearbeitet werden:

1. Ist die Aussage in [2] plausibel, dass Sickerwasseranfall und Abfuhr in einem Gleichgewicht sind? Wie verhält sich der **Wasserhaushalt** der Deponie Bornhausen zum Wasserhaushalt Morgenstern?
2. Sind die zu erwartenden **Setzungen** von bis zu 1,2 m ein gewichtiger Grund mit der abschließenden Oberflächenabdichtung zu warten? Warum hat der Gutachter die Setzungsmessungen aus 2010 und 2011 nicht hinzugezogen? Ist nicht vielmehr eine zeitnahe Abdichtung auch mit einer sofortigen Verminderung von Setzungen verbunden? Wäre also eine zeitnahe Abdichtung möglich?
3. Sind die **Kostenbetrachtungen** nachvollziehbar? Sind bei sofortiger Abdichtung ggf. langfristig Kosteneinsparungen zu erzielen (kürzerfristige Reduzierung der Sickerwassermengen und Behandlungskosten)? Ist bei der Kostenbetrachtung nicht auch der Einbau einer niveauregulierten Pumpe und ein Sickerwasserspeicher einzuplanen?
4. Kann bei unverzüglicher Abdichtung ggf. auf den Neubau der Gasbrunnen verzichtet werden und die **Gasemission** durch eine Methanoxidationsschicht unterbunden werden?

4 Ergebnisse der Prüfung

Bei der Durchsicht der Gutachten [2], [3] wurden die Schwerpunkte auf die vier unter Abschnitt 3 genannten Fragenkomplexe zum Wasserhaushalt sowie zu Setzungen, Kosten und Gasemissionen gelegt, die im Folgenden in eigenständigen Unterabschnitten behandelt werden.

4.1 Wasserhaushalt

4.1.1 Allgemeines

In dem Gutachten [2] wird der Wasserhaushalt der gesamten Deponie Bornhausen auf der Grundlage von Untersuchungen der vorhandenen temporären Oberflächenabdeckung, die in [3] beschrieben wird, und einer ganzen Reihe an Annahmen mit dem Modell HELP in der Version 3.80 D simuliert (vgl. hierzu Abschnitt 4.1.2). Für die Simulation des Wasserhaushalts der Deponie Bornhausen wurden in [2] drei Rechenläufe für Böschungsbereiche mit



2 m Boden (3 ha), Böschungsbereiche mit 1,4 m Boden¹ (1 ha) und den Plateaubereich mit bis zu 0,5 m Boden (2 ha) über 8 Jahre durchgeführt. Die HELP-Kontrolldatei mit den Eingabedaten und den mittleren jährlichen Ausgabedaten ist für die drei Läufe vollständig dokumentiert.

4.1.2 Grundlagen des HELP-Modells

Simulationsmodelle für den Wasserhaushalt oder den Wasserfluss in der ungesättigten, verdunstungsbeeinflussten Bodenzone werden mit unterschiedlichen Modellierungsschwerpunkten u. a. von der Agrarmeteorologie, der Bodenkunde, der Hydrologie und von Ingenieurwissenschaften entwickelt. In der Literatur werden zahlreiche derartige Modelle beschrieben, die allerdings häufig Forschungsmodelle sind und nicht für die Anwendung in der Praxis konzipiert wurden.

Für die Simulation des Wasserhaushalts von Oberflächenabdichtungssystemen auf Deponien bietet sich insbesondere das HELP-Modell (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) an, da es speziell hierfür entwickelt wurde, eine Vielzahl von Prozessen modelliert, wenn auch z. T. nur auf sehr elementare Weise, die Eingabedaten leicht verfügbar sind, es eine relativ umfangreiche Benutzerunterstützung bietet und intensiv untersucht wurde.

HELP wurde in den USA von Paul Schroeder und Mitarbeitern entwickelt (einschlägige Zitate in [11]) und durch Klaus Berger an deutsche Verhältnisse angepasst und mit einem Benutzerhandbuch versehen [9]. [11] liefert eine umfangreiche Dokumentation sowie grundlegende Untersuchungen zum HELP-Modell, so dass hier auf eine Beschreibung der Modellierungsverfahren für die verschiedenen Prozesse verzichtet werden kann. Seit Ende 2011 ist die neue HELP-Version 3.90 D verfügbar.

HELP ist ein quasi-zweidimensionales hydrologisches Modell des Wasserhaushalts und der Wasserflüsse von Deponien. Es kann folgende Prozesse berücksichtigen: Speicherung von Niederschlag auf der Oberfläche, Schneeschmelze, Oberflächenabfluss, Infiltration, Evapotranspiration, Wachstum der Vegetation, Speicherung von Wasser im Boden, Dränabfluss, Rezirkulierung von Dränagewasser, ungesättigte vertikale Versickerung und die Durchsickerung durch mineralische Dichtschichten, Kunststoffdichtungsbahnen oder Kombinationsdichtungen.

HELP berücksichtigt einige wesentliche Prozesse jedoch nicht, z.T. weil sie noch Forschungsgegenstand sind wie Verdunstung durch Gehölzbestand, Makroporenfluss in der Rekultivierungsschicht, Alterung von Dichtungen und Wassertransport in Kapillarsperren, z. T. um das Modell einfach handhabbar zu halten. HELP besitzt verglichen mit manchen Forschungsmodellen eine relativ geringe bodenphysikalische Fundierung.

¹ Die 1,4 m Boden beziehen sich auf die Dokumentation der HELP-Berechnungen. In der Auswertung im Gutachten sind im Gegensatz zur eigentlichen Simulationsrechnung für einen der beiden Böschungsbereiche 0,8 m Boden angegeben. Diese wurden in der Berechnung offensichtlich jedoch nicht angesetzt.



HELP ist dennoch, bei Beachtung der genannten Einschränkungen, ein relativ gut geeignetes Werkzeug für die Bearbeitung einer Reihe von praktischen Aufgabenstellungen: (1) für den Vergleich der hydrologischen Wirksamkeit unterschiedlich aufgebauter Abdichtungssysteme, (2) für die Optimierung einzelner Schichten, (3) für die Abschätzung von spezifischen Risiken z. B. älterer Abdichtungssysteme und (4) für die Abschätzung der Verdunstung im Rahmen der von den Regelwerken geforderten Nachsorge. Für die Bearbeitung anderer Aufgabenstellungen ist HELP dagegen weniger geeignet, (a) für die Abschätzung der langfristigen Wirksamkeit von Abdichtungssystemen, v. a. da das Alterungsverhalten nicht berücksichtigt wird, und (b) die Ermittlung besonders sensitiv wirkender und damit beim Bau besonders überwachungsbedürftiger Parameter, da die Genauigkeitsanforderungen dafür hoch sind und eine differenziertere Modellierung erfordern.

Die Anwendung von HELP oder eines anderen Modells erfordert eine genaue Kenntnis des Modells und seiner Beschränkungen sowie eine kritische Beurteilung der Ergebnisse. Eine exakte Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit der Realität sollte nicht erwartet werden. Empfehlungen zur Anwendung des HELP-Modells in Deutschland und generelle Empfehlungen zur Anwendung von Wasserhaushaltsmodellen werden in [7] gegeben.

Für die vorliegende Fragestellung nach dem Wasserhaushalt insbesondere der Deponieabdeckung und der Bildung von Sickerwasser ist HELP grundsätzlich geeignet.

4.1.3 Prüfung der Eingabedaten in das HELP-Modell

HELP benötigt für die Wasserhaushaltsberechnung einer Oberflächenabdeckung folgende Eingangsdaten und -parameter:

- Klimadaten (Niederschlag, Lufttemperatur, Globalstrahlung, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit)
- Bodendaten (Schichtaufbau, Bodenart, Wassergehalt, Gesamtporenvolumen, Feldkapazität, permanenter Welkepunkt, Wasserdurchlässigkeit)
- Vegetationsdaten (Tiefe der Verdunstungszone, Blattflächenindex, Beginn und Ende der Vegetationsperiode)

Die in [2] verwendeten Eingabedaten für Klima und Vegetation sind plausibel. Der Niederschlag wurde auf Tagesbasis von der nahe gelegenen Station Seesen verwendet. Für Lufttemperatur und Globalstrahlung wurden synthetische Daten aus HELP eingesetzt, was für die Globalstrahlung durchaus üblich ist, da Globalstrahlung sowieso nur an wenigen Stationen in Deutschland gemessen wird. Als Temperaturdaten hätte man auch direkt die Messdaten aus Seesen verwenden können, die vermutlich die Verhältnisse am Standort besser repräsentieren. Die Herkunft der verwendeten Eingangsdaten für relative Luftfeuchtigkeit und Wind ist nicht dokumentiert. Bei der relativ hohen mittleren Windgeschwindigkeit ist nicht klar, ob eine Umrechnung auf die für HELP erforderliche Angabe in 2 m über dem Boden erfolgt ist. Mögliche Abweichungen dieser Parameter führen jedoch erfahrungsgemäß zu keinen so großen



Fehlern bei der Berechnung, dass im vorliegenden Fall grundsätzlich andere Bewertungen möglich wären.

Wesentlich sensitiver wirken Bodendaten auf die Simulationsergebnisse von HELP. Grundlage der verwendeten Bodendaten sind die Untersuchungen in 10 Schürfen, die in [3] beschrieben sind. Aus den Bodendaten der 10 Schürfe mit je zwei Beprobungstiefen wurden drei unterschiedliche Varianten des Bodenaufbaus extrahiert und in drei Simulationsläufen berechnet:

- Böschungen mit 2,0 m Bodenabdeckung in 4 Schichten (3 ha der Fläche)
- Böschungen mit 1,4 m Bodenabdeckung in 4 Schichten (1 ha der Fläche)
- Plateau mit 0,5 m Bodenabdeckung in 2 Schichten (2 ha der Fläche)

Die Eingabedaten der unteren Schichten orientieren sich direkt an den Daten aus [3], während die Daten der oberen Schichten mit „Vegetationsparametern“ angepasst wurden, die nicht vollständig dokumentiert und so nicht nachvollziehbar sind.

Neben den Schichtmächtigkeiten der einzelnen Schichten wirken sich vor allem die zwei Größen nutzbare Feldkapazität und Wasserdurchlässigkeit besonders stark auf die Simulationsergebnisse aus. Die nutzbaren Feldkapazitäten als Differenzen aus Feldkapazitäten und permanenten Welkepunkten wurden im Labor bestimmt und weitgehend in das Modell übernommen. Sie sind für die beschriebenen Böden relativ hoch, liegen jedoch im plausiblen Bereich.

Die Wasserdurchlässigkeiten wurden ebenfalls im Labor an ungestörten Proben in Triaxialzellen bei einem Seitendruck von 70 kN/m^2 ermittelt. Erfahrungsgemäß liegen diese Labor-daten bei Rekultivierungsschichten gegenüber den Verhältnissen in situ oft deutlich zu niedrig. Durch die Probenahme, Bearbeitung im Labor und die Aufbringung eines für den Versuch erforderlichen Seitendrucks bei Sättigung und Messung der Probe werden meist in situ vorhandene durchgehende Porensysteme verändert und die Durchlässigkeit der Proben geht oft um mehrere Zehnerpotenzen zurück. Vergleichende Messungen in situ wurden im vorliegenden Fall nicht durchgeführt. Als Eingabedaten in HELP wurden daher sehr niedrige Wasserdurchlässigkeiten von bis zu $3,9 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ als arithmetisches Mittel aus den unter 1 m Tiefe entnommenen Proben verwendet. Das für Durchlässigkeitsbeiwerte anzuwendende harmonische Mittel hätte mit $9,9 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ sogar einen noch niedrigeren Eingangswert ergeben. Insgesamt liegen 5 Messwerte zur Beschreibung des Oberbodens und 4 Messwerte aus dem Unterboden vor. Neben methodischen Fragen zur Anwendbarkeit der Triaxialmethode (s.o.) stellt sich die Frage nach der Repräsentativität der Proben.

Grundsätzlich können so niedrige Werte bei stark verdichteten bindigen Böden auch in Rekultivierungsböden auftreten, die jedoch zu deutlicher Stauwasserbildung führen. Diese ist bei der Bodenaufnahme nicht beschrieben worden.



4.1.4 Ergebnisse der HELP-Berechnungen

Der Schichtenaufbau des HELP-Modells wurde in den drei Rechenläufen wie folgt gewählt:

- Bewuchs (sehr guter Grasbewuchs)
- Bodenabdeckung (0,5 m bis 2 m in 2 bis 4 Schichten aufgeteilt)
- Müllkörper (10 m bis 20 m in 1 bzw. 2 Schichten aufgeteilt)
- Basisdränage (0,3 m)
- Basisdichtung (0,6 m)

Als Ergebnis werden von HELP bei diesem Aufbau Niederschlag, potentielle und tatsächliche Verdunstung, Oberflächenabfluss, Dränage und Aufstau auf der Basisdichtung sowie Durchsickerung der Basisdichtung und Wassergehaltsänderungen im Gesamtsystem ausgegeben. Die Ergebnisse der HELP-Berechnungen aus [2] sind in der Tabelle 1 als Jahresmittel der acht berechneten Jahre von 2003 bis 2010 zusammengestellt.

Bei den Ergebnissen fallen zunächst die sehr ähnlichen Wasserhaushaltsdaten der beiden berechneten Böschungsbereiche auf, die sich von dem berechneten Plateaubereich deutlich unterscheiden. Die beiden Böschungsbereiche sind mit einem Bodenaufbau der Abdeckung von 2,0 m und 1,4 m Mächtigkeit berechnet. Für den Wasserhaushalt spielen die unteren 0,6 m jedoch kaum eine Rolle, da sie an der Verdunstung rechnerisch nicht beteiligt sind. In der Beschreibung von [2] wird die Berechnung mit 0,8 m statt mit 1,4 m angegeben. Wäre die Berechnung mit 0,8 m tatsächlich durchgeführt worden, wäre der Unterschied im Wasserhaushalt zwischen den beiden Böschungsbereichen vermutlich auch größer.

Die in HELP auf der Grundlage der oben beschriebenen Annahmen für Klima, Boden und Vegetation berechneten Daten führen zu einer relativ hohen tatsächlichen Verdunstung von 500 mm/a bei einer potentiellen Evapotranspiration von 655 mm/a. Der hydrologische Atlas von Deutschland [14] weist für dieses Gebiet eine potentielle Verdunstung als Grasreferenzverdunstung von etwa 525 mm/a aus. Eine niedrigere potentielle Verdunstung im Modell würde automatisch auch zu einer niedrigeren tatsächlichen Verdunstung und damit zu einem höheren Abfluss führen.

Am auffälligsten ist der mit etwa 135 mm/a hohe Oberflächenabfluss an den Böschungen. Dieser Abfluss entspräche nur auf den Böschungen einer Abflussmenge von 5.400 m³ /a, die auf bewachsenen Flächen nur bei wenigen einzelnen Niederschlagsereignissen auftreten würden. In dieser Größenordnung würden Oberflächenabflüsse erkennbare Spuren in Form von Erosion, Hangquellen oder deutlichen Abflüssen im Oberflächenentwässerungssystem hinterlassen. Ob dies wirklich der Fall auf der Deponie Bornhausen ist, kann an dieser Stelle nicht bewertet werden. Im Vergleich zur ähnlich aufgebauten Deponie Morgenstern ist ein hoher Oberflächenabfluss bei gut bewachsener Bodenabdeckung selbst an den Böschungen eher unwahrscheinlich. Ohne bzw. bei reduziertem Oberflächenabfluss würde in den Berechnungen die Versickerung deutlich ansteigen.



Die rechnerische Annahme einer Rekultivierungsschicht von 0,5 m im Plateaubereich, die nach den Bildern in [3] eher sehr günstig angenommen ist, führt in der Simulationsrechnung zu einer gegenüber den mächtigen Böden der Böschungen nur geringen Abnahme der Verdunstung um etwa 25 mm/a auf 476 mm/a. Bei Annahme einer geringeren mittleren Mächtigkeit würde die Versickerung im Plateaubereich deutlich steigen.

Unter der Oberflächenabdeckung wird im Modell der Müll, die Basisdränage und die Basisdichtung abgebildet. Die Basisabdichtung wird als sehr dicht mit einer geringen Durchlässigkeit von im Mittel 2×10^{-11} m/s und die Dränage mit einem für eine Dränage relativ niedrigen kf-Wert von 4×10^{-5} m/s angenommen. Der Müllkörper wird mit einer Durchlässigkeit von 1×10^{-6} m/s angenommen. Die Annahmen für die Durchlässigkeiten sind nicht belegt.

Die angenommenen Durchlässigkeiten steuern im Wesentlichen den zeitlichen Verlauf der Abflüsse nach Niederschlagsereignissen und sorgen für eine temporäre Zwischenspeicherung von Wasser im System, die in der Ergebnisausgabe von HELP in Form von Wassergehaltsänderungen in der Bilanz angegeben werden. Grundsätzlich speichert der Müllkörper langfristig rechnerisch kein zusätzliches Wasser, da die Simulation mit Wassergehalten der genommenen Schichten bei etwa Feldkapazität startet. Zum Startzeitpunkt der acht Jahre langen Simulation auf Tagesbasis sind die Schichten somit schon so feucht, dass sie das Wasser gerade gegen die Schwerkraft halten. In einer langjährigen Betrachtung kann die Wasserspeicherung daher vernachlässigt werden, da zusätzliches Wasser immer nur für eine Zeit im System bleibt und dann der Schwerkraft folgend abfließt.

Durch die Annahme einer relativ schwachen Dränleistung der Basisdränage kommt es im Modell zu einem deutlichen Aufstau an der Deponiebasis, der sich zwischen den drei Varianten deutlich unterscheidet. In der Summe speichert dieser Aufstau in der Dränage rechnerisch etwa 11.000 m³ Sickerwasser. Allein der Unterschied dieses Aufstaus in den Varianten von etwa 100 mm macht eine Sickerwassermenge auf die Gesamtfläche der Deponie berechnet von 6.000 m³ Sickerwasser aus.

Zusammenfassend führen die Annahmen für die HELP-Berechnungen zu einer relativ niedrigen Versickerungsrate in der Deponieabdeckung und damit unter der Annahme einer dichten Basisabdichtung zu einem relativ niedrigen Dränabfluss auf der Basis. Setzt man eine deutliche Spannweite der in das Modell einfließenden Annahmen voraus, kann die Versickerung aus der Abdeckung auch deutlich höher ausfallen. Damit müsste der Dränabfluss auf der Basisdichtung dann deutlich höher sein oder ein Teil des Wassers versickert durch die Basisdichtung.



HELP-Ergebnisse Jahresmittel 2003-2010	Böschung 2 m Boden (3 ha)	Böschung 1,4 m Boden (1 ha)	Plateau 0,5 m Boden (2 ha)
Niederschlag in mm	833	833	833
Oberflächenabfluss in mm	137	134	0
potentielle Verdunstung in mm	656	656	656
tatsächliche Verdunstung in mm	500	500	476
Dränabfluss auf Basisdichtung in mm	142	175	273
Durchsickerung Basisdichtung in mm	1	1	1
durchschnittliche Aufstauhöhe auf Basisdichtung in mm	141	169	253
Wassergehaltsänderung des Gesamtaufbaus in mm	54	23	82

Tabelle 1 Zusammenstellung der Ergebnisse der HELP-Berechnungen aus [2]

4.1.5 Vergleich der Berechnungen mit denen der Deponie Morgenstern

Die Wasserhaushaltsberechnungen der Oberflächenabdeckung der Deponie Morgenstern beruhen auf einer Kombination aus Feldansprache der Böden und Feldversuchen sowie Laborversuchen, Simulationsrechnungen mit HELP 3.80 D und zum Vergleich zwei weiteren Wasserhaushaltsmodellen. Wesentlicher Unterschied in der Ermittlung der Eingangsdaten für die Wasserhaushaltsmodellierung war die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in situ mit einem Tension-Infiltrometer und zum Vergleich Bestimmung der Durchlässigkeit im Labor an ungestörten Proben mit Festwandzellen. Bei aller Inhomogenität und hohem Steingehalt, die auch die Abdeckböden auf der Deponie Morgenstern aufwiesen, stimmte die in situ und im Labor ermittelte Wasserdurchlässigkeit relativ gut überein. Sie war bei den dort verwendeten Böden deutlich höher, als sie für die Deponie Bornhausen bestimmt und in den Berechnungen angenommen wurde. Ein nennenswerter Oberflächenabfluss konnte auf der Deponie Morgenstern auch an den Entwässerungssystemen nicht nachgewiesen werden.

Ein weiterer grundsätzlicher Unterschied der HELP-Berechnung liegt im Systemaufbau der Simulationsrechnungen. Für die Deponie Morgenstern wurden nur die Oberflächenabdeckung und das aus ihr nach unten absickernde Wasser berechnet, da durch die Untersuchung der Abdeckung für diese gute Berechnungsgrundlagen vorhanden waren. Für die Deponie Bornhausen wird in [2] dagegen zusätzlich zur Deponieabdeckung auch der Müllkörper, die Basisdränage und die Basisdichtung mit simuliert, für die jedoch nur vage Annahmen getroffen werden können.



Für die Bewertung des gesamten Wasserhaushalts der beiden Deponien ist die Absickerung aus der Deponieabdeckung die entscheidende Größe. Aufgrund fehlender Grundlagen nehmen die Wahl der Annahmen für die Berechnung der anderen Schichten (Müll, Basisdränage und -dichtung) eine Bewertung bereits vorweg. Sie müssen daher sehr umfassend und kritisch interpretiert werden und eine Spanne möglicher Ergebnisse aufzeigen.

4.2 Setzungen

Der Verlauf der Setzungen ist in der Abbildung 1 auf der Grundlage der Setzungsdifferenzen zur vorangegangenen Messung aus [16] grafisch einschließlich der Daten 2010 und 2011 aufgetragen.

Die gemessenen Setzungen zeigen einen zeitlich unsteten Verlauf aller Messstellen. Nach deutlichen und auch erwartungsgemäß verlaufenden Setzungen zwischen 2003 und 2008 stagniert die Setzung des Deponiekörpers scheinbar in den Jahren 2009 und 2010, um im Jahr 2011 eine umso deutlichere Setzung zu erfahren. Dieser Zeitverlauf ist unüblich und nicht plausibel. Hier sollten die Änderung von Bezugspunkten, bauliche Veränderungen im Bereich der Bezugspunkte oder sonstige Veränderungen mit Einfluss auf die Vermessung geprüft werden. Der Verlauf der Setzungen ist zum derzeitigen Stand der Datenlage nicht für eine Extrapolation des Setzungsverlaufs auswertbar. Die Verläufe sind an allen Messstellen mit einer Ausnahme (Punkt 10) jedoch sehr ähnlich, so dass räumlich offenbar nur geringe Setzungsdifferenzen auftraten.

Die in Abbildung 1 dargestellten, gemessenen Setzungen liegen insgesamt zwischen 13 cm und 47 cm in den letzten 7 Jahren (im Mittel ca. 2 bis 7 cm pro Jahr). Grundsätzlich kann bei den Setzungen einer Hausmülldeponie über 10 Jahre nach Einlagerungsende von deutlich abklingenden Setzungen ausgegangen werden, die aus der Messdatenlage so jedoch nicht erkennbar sind. Der Verlauf der abklingenden Deponiegasproduktion, die im folgenden Abschnitt behandelt wird, bestätigt diesen angenommenen Verlauf der Setzungen für die Deponie Bornhausen, da ein Großteil der Setzungen auf dem mikrobiologischen Abbau von organischer Substanz unter Bildung von Deponiegas zurückgeführt werden kann.

Bei der Aufbringung einer Oberflächenabdichtung werden die Setzungen zunächst durch die Aufbringung der zusätzlichen Auflast verstärkt und klingen dann langsam weiter ab. Verglichen mit dem Bau von Oberflächenabdichtungen anderer Hausmülldeponien sind Setzungen in der oben beschriebenen Größenordnung bautechnisch gut beherrschbar, sofern die noch zu erwartenden Setzungen bei der Planung einer Oberflächenabdichtung einschließlich Bauablauf berücksichtigt werden.

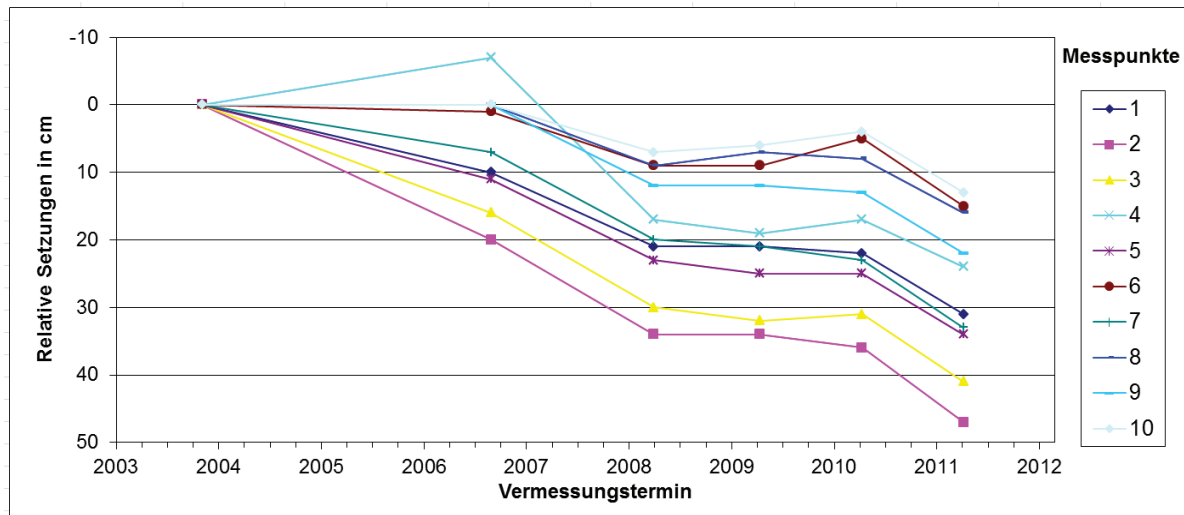


Abb. 1 Vermessungsdaten 2003 bis 2011

4.3 Plausibilitätsprüfung der Kostenansätze im IFAS-Gutachten

Die Plausibilität der von IFAS in [2] angesetzten Kosten für das von IFAS vorgeschlagene Konzept der aeroben in-situ-Stabilisierung einschließlich einer standortangepassten Oberflächenabdichtung wird anhand der in Tabelle 9.2 auf Seite 151 des Gutachtens angesetzten Hauptpositionen 1 bis 7 überprüft.

	Ansätze €, netto für Stilllegungs- und Nachsorgekosten bis 2021 ohne Berücksichtigung von Preissteigerung, Inflation und Abzinsung	Kostenansatz IFAS für Konzept In-Situ-Stabilisierung
1	Sickerwasserentsorgung	3.710.000
2	Deponiegasfassung / -behandlung	250.000
3	Temporäre Abdeckung	460.000
4	Sickerwasserinfiltration	360.000
5	Aerobe In-Situ-Stabilisierung	700.000
6	Standortangepasste OAD	3.600.000
7	Unterhaltung OAD	49.800

Tabelle 2 Hauptkostenansätze IFAS-Gutachten (Auszug aus [2])



Zunächst wird exemplarisch für die Sickerwasserentsorgung die Ermittlung der Kosten bis zum Jahre 2021 über die einzelnen auf den Seiten 146 und 147 angegebenen Invest- und Betriebskosten in Tabelle 3 nachvollzogen.

	Neubau SiWa- Schacht	Reparatur, Wartung, Unterhalt	SiWa-Reinigung (35 €/m³)	
	€	€	m ³	€
2012	600.000	10.000	13.000	455.000
2013		10.000	13.000	455.000
2014		10.000	10.000	350.000
2015		10.000	8.000	280.000
2016		10.000	8.000	280.000
2017		10.000	8.000	280.000
2018		10.000	8.000	280.000
2019		10.000	8.000	280.000
2020		10.000	6.000	210.000
2021		10.000	4.000	140.000
Summe	600.000	100.000		3.010.000
	3.710.000			

Tabelle 3 Kostenansätze Sickerwasserentsorgung (Auszug aus [2])

Die in Tabelle 9.2 des IFAS-Gutachtens (vgl. Auszug in Tabelle 3) angegeben Zahl von 3.710.000 € ist die Summe der Invest- und Betriebskosten der einzelnen Jahre im Sinne von Nominalkosten, d.h. eine Diskontierung zur Berücksichtigung von Abzinsungen von laufenden Betriebskosten oder Investkosten zu späteren Zeitpunkten ist nicht enthalten. Einflüsse aus Inflation und Kostensteigerung sind ebenfalls nicht enthalten.

Bei der nachfolgenden Plausibilitätsprüfung der Kostenansätze bleiben Einflüsse aus Inflation, Kostensteigerung und insbesondere Abzinsung ebenfalls unberücksichtigt.

Es werden nachfolgende Anmerkungen zu den Kostenansätzen für die Hauptpositionen gemacht:

1. Sickerwasserentsorgung

Es bleibt zu prüfen, ob sich die spezifischen Kosten für die Sickerwasserbehandlung bei abnehmender Sickerwassermenge durch die gegebenenfalls eingeschränkte Auslastung der Behandlungsanlage erhöhen. Als Ansatz für die Plausibilitätsprüfung wird ein Wert von 40 € ab 2015 gewählt, woraus Kosten von 3,96 Mio. € resultieren.



2. Deponiegasfassung und -behandlung

Die Annahme von 11 neu herzustellenden Gasbrunnen sowie 2 neu herzustellenden Gassammelstationen einschließlich der damit verbundenen Kostenangaben in der Tabelle auf Seite 78 des Gutachtens sind plausibel insbesondere im Hinblick auf den geplanten Einsatz der Gasbrunnen für die spätere in-situ-Stabilisierung.

3. Temporäre Abdeckung

Die temporäre Abdeckung wird offensichtlich mit 23 €/m² von IFAS angesetzt. Die auf Seite 148 des Gutachtens angegebenen Unterhaltungskosten von 0,5 % der Investkosten erscheinen niedrig, diese sind zudem in der Kostenzusammenstellung offensichtlich nicht berücksichtigt. Der EP von 23 €/m² erscheint unter Berücksichtigung der hierin enthaltenen Unterpositionen Bewuchsentfernung, Profilierung einschl. Einbau von mineralischen Abfällen, Einbau von 20 – 30 cm Feinplanum sowie Kunststoffolie niedrig. Als Ansatz für die Plausibilitätsprüfung wird ein Wert von 40 €/m² als Invest und 1 % jährlich für die Instandhaltung gewählt, woraus Kosten von 770.000 € resultieren.

4. Sickerwasserinfiltration

Die im Gutachten von IFAS angesetzten Kosten von 200.000 € Invest für die Infiltrationsbrunnen sowie 20.000 € Betriebskosten pro Jahr erscheinen plausibel.

5. Standortangepasste OAD

Es erschließt sich nicht, warum unter Beachtung des Deponierechts bei zuvor durchgeführter in-situ-Stabilisierung eine Oberflächenabdichtung ohne mineralische Komponente genehmigungsfähig sein soll, während ohne zuvor durchgeführte in-situ-Stabilisierung eine Oberflächenabdichtung selbstverständlich mit mineralischer Komponente herzustellen ist (siehe Systemvergleich auf Seite 132 des Gutachtens).

Auch wenn in der Kostenermittlung auf Seite 148 des Gutachtens 49 €/m² angesetzt werden (im Gegensatz zu den auf Seite 132 in der Grafik dargestellten 39 €/m²) erscheint die angesetzte Kostendifferenz von 20 €/m² für die spezifischen Kosten einschließlich 20 % Nebenkosten (80 €/m² für die Abdichtung gemäß DepV, 60 €/m² für die sog. standortangepasste Abdichtung) sehr hoch. (Es sei angemerkt, dass jede Abdichtung *standortangepasst* konzipiert und ausgeführt werden sollte.)

Als Ansatz für die Plausibilitätsprüfung wird ein Wert von 70 €/m² als Invest gewählt, woraus Kosten von 4,2 Mio. € resultieren.



6. Unterhaltungskosten OAD

Der Ansatz von 0,5 % Unterhaltungskosten pro Jahr ist grundsätzlich plausibel, allerdings erschließen sich nicht die auf Seite 151 des Gutachtens angegebenen 49.800 €. Rechnerisch ergeben sich auf der Basis des Invests von je 1,2 Mio. € in den Jahren 2019, 2020 und 2021 zusammen 36.000 €.

Der Vergleich der Kostenansätze von IFAS mit den Plausibilitätsansätzen für die Pos. 1 bis 7 führt zu um ca. 1 Mio. € erhöhten Kosten für die Variante mit der in-situ-Stabilisierung.

		A	B
	Ansätze €, netto für Stilllegungs- und Nachsorgekosten bis 2021 ohne Berücksichtigung von Preissteigerung, Inflation und Abzinsung	Kostenansatz IFAS für Konzept In-Situ-Stabilisierung	Plausibilitätsanpassung für Konzept In-Situ-Stabilisierung
1	Sickerwasserentsorgung	3.710.000	3.960.000
2	Deponiegasfassung / -behandlung	250.000	250.000
3	Temporäre Abdeckung	460.000	723.000
4	Sickerwasserinfiltration	360.000	360.000
5	Aerobe In-Situ-Stabilisierung	700.000	660.000
6	Standortangepasste OAD	3.600.000	4.200.000
7	Unterhaltung OAD	36000	42.000
		9.116.000	10.195.000

Tabelle 4 Vergleich der Kostenansätze von IFAS mit den Plausibilitätsansätzen

Vergleich mit einer sofortigen Abdichtung

Alternativ zum Konzept einer in-situ-Stabilisierung mit einer in den Jahren 2019 bis 2021 aufgetragenen *standortangepassten* OAD werden nachfolgend die Kosten für das Konzept einer sofortigen OAD ermittelt, die ohne vorherige in-situ-Stabilisierung eingebaut wird.

Signifikant unterscheidet sich das Konzept einer sofortigen OAD wie folgt in den o.g. Positionen vom Konzept der in den Jahren 2019 bis 2021 aufgetragenen *standortangepassten* OAD:

1. Sickerwasserentsorgung

Es ist anzunehmen, dass die Sickerwassermengen bereits ab dem Jahr 2013 signifikant abnehmen, so dass in der Summe deutlich reduzierte Kosten für die Sickerwasserreinigung anfallen.



Es ergeben sich Kosten für die Sickerwasserreinigung von 2,975 Mio. €.

2. Deponiegasfassung und -behandlung

Die Investitionen für die Anpassung der Gasfassung werden in gleicher Größenordnung wie im Konzept IFAS angesetzt.

3. Temporäre Abdeckung

Die Sinnhaftigkeit einer temporären Abdeckung entfällt, da unmittelbar die endgültige Abdeckung hergestellt wird.

4. Sickerwasserinfiltration

Kosten für Sickerwasserinfiltrationen fallen nicht an.

5. Standortangepasste OAD

Die spezifischen Kosten für die Oberflächenabdichtung werden mit 90 €/m² angesetzt. Hintergrund gegenüber der Erhöhung zu den Preiskalkulationen von IFAS sind die zusätzlichen Kosten, die durch Maßnahmen zur Profilierung und zur Anbindung von Gasbrunnen an die endgültige Oberflächenabdichtung entstehen.

6. Unterhaltungskosten OAD

Der Ansatz von 0,5 % Unterhaltungskosten pro Jahr bleibt aufrecht erhalten. Rechnerisch ergeben sich auf der Basis des Invests von je 1,8 Mio. € in den Jahren 2013, 2014 und 2015 bis zum Jahr 2021 zusammen 216.000 € Unterhaltungskosten.

Der Vergleich aus dem Konzept IFAS mit dem plausibilisierten Konzept IFAS und dem Konzept der sofortigen OAD führt zu folgendem Ergebnis hinsichtlich der bis 2012 entstehenden Nominalkosten in den Pos. 1 bis 7.



		A	B	C
	Ansätze €, netto für Stilllegungs- und Nachsorgekosten bis 2021 ohne Berücksichtigung von Preissteigerung, Inflation und Abzinsung	Kostenansatz IFAS für Konzept In-Situ-Stabilisierung	Plausibilitätsanpassung für Konzept In-Situ-Stabilisierung	Kostenansatz für sofortige Abdichtung
1	Sickerwasserentsorgung	3.710.000	3.960.000	2.975.000
2	Deponiegasfassung / -behandlung	250.000	250.000	250.000
3	Temporäre Abdeckung	460.000	723.000	
4	Sickerwasserinfiltration	360.000	360.000	
5	Aerobe In-Situ-Stabilisierung	700.000	660.000	
6	Standortangepasste OAD	3.600.000	4.200.000	5.400.000
7	Unterhaltung OAD	36000	42.000	216.000
		9.116.000	10.195.000	8.841.000

Tabelle 5 Vergleich der Kostenansätze (s. a. Anlage 1)

Aufgrund der signifikant unterschiedlichen Investzeiträume für die Oberflächenabdichtung (2019 bis 2021 beim Konzept IFAS, 2013 bis 2015 beim Konzept der sofortigen OAD, dementsprechend 6 Jahre Zeitdifferenz im Invest) ist der reduzierte Barwert beim Konzept IFAS zu berücksichtigen. Bei Ansatz eines Zinses von 2,5 % und eines Investzeitpunktes von + 6 Jahren reduziert sich der Nominalwert von 4,2 Mio. € um ca. 14 % auf 3,612 Mio. €. Dementsprechend wären für die Finanzierung der Oberflächenabdichtung gemäß IFAS aktuell 3,612 Mio. € bereit zu stellen, für die Finanzierung der sofortigen Abdichtung aktuell 5,4 Mio. €. Insgesamt ergeben sich Kosten für das plausibilisierte Konzept IFAS von 9,608 Mio. € und das Konzept mit der sofortigen Abdichtung von 8,841 Mio. €, netto.

Die Einzelkosten der Pos. 1 bis 7 für die o.g. Konzepte liegen als Anlage 1 bei.

Sickerwasserspeicher

Die hydrogeologische Situation an der Deponiebasis erfordert es nach den Ausführungen im Abschnitt 4.1 „Wasserhaushalt“, dass dort anstehendes Sickerwasser unmittelbar abgepumpt wird, um jegliches Potential, welches zur Erhöhung der Durchsickerung der Deponiebasis führt, zu reduzieren. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass das abgepumpte Wasser wiederum unmittelbar zur Behandlung oder zur Infiltration weitergeleitet werden kann. Daher sind in beiden betrachteten Konzepten Vorrichtungen einzuplanen, um das Sickerwasser in sinnvollen Volumina zwischenzuspeichern. Die erforderlichen Kosten hierfür sind in den o.g. Kostenbetrachtungen weder im Konzept IFAS noch im Konzept der sofortigen Abdichtung enthalten, da sie in beiden Konzepten annähernd gleichartig ausfallen wer-

den. Tendenziell ist mit höheren Kosten für die Zwischenspeicherung im Konzept IFAS zu rechnen, da hierbei über längere Zeiträume mit größeren Sickerwassermengen umgegangen wird.

4.4 Gasemissionen

In [2] wird unter einer Reihe von Annahmen eine Bandbreite der Gasproduktion für die Deponie Bornhausen im Vergleich zur tatsächlich erfassten Gasmenge angegeben. Die grafische Darstellung dieser Berechnungen sind in der Abbildung 2 dargestellt. Die in sich plausiblen Daten zeigen, dass sich die Gasbildung der Deponie in der asymptotisch auslaufenden Phase mit einem derzeit maximal noch erfassbaren Gasvolumen 50 bis 100 m³/h und einer Methankonzentration von 43 % befindet. Die Gasfassung erfolgt derzeit hauptsächlich noch über 8 von 29 Gasbrunnen. Ein weiterer deutlicher Rückgang der erfassbaren Gasvolumen wird in den nächsten Jahren erwartet.

Die zum jetzigen Zeitpunkt abgeschätzte Gasproduktion liegt an der oberen Grenze für passive Entgasungsmaßnahmen. Sollte kurzfristig eine Oberflächenabdichtung aufgebracht werden, müssten beispielsweise relativ große Methanoxidationsfenster geplant werden.

Vorstellbar wäre allerdings auch eine Kombination aus einer aktiven Gasgewinnung unter der Abdichtung bei gleichzeitiger Einrichtung von Methanoxidationsflächen bei der Herstellung der Abdichtung, die nach wenigen Jahren, wenn die Gasproduktion zurückgegangen ist, ohne zusätzlichen Aufwand durch „Umschalten“ in Betrieb genommen werden können. Dabei kann es zunächst sinnvoll sein, einzelne Gasbrunnen zu erneuern, um die Ausbeute des Gases in der aktiven Phase zu erhöhen.

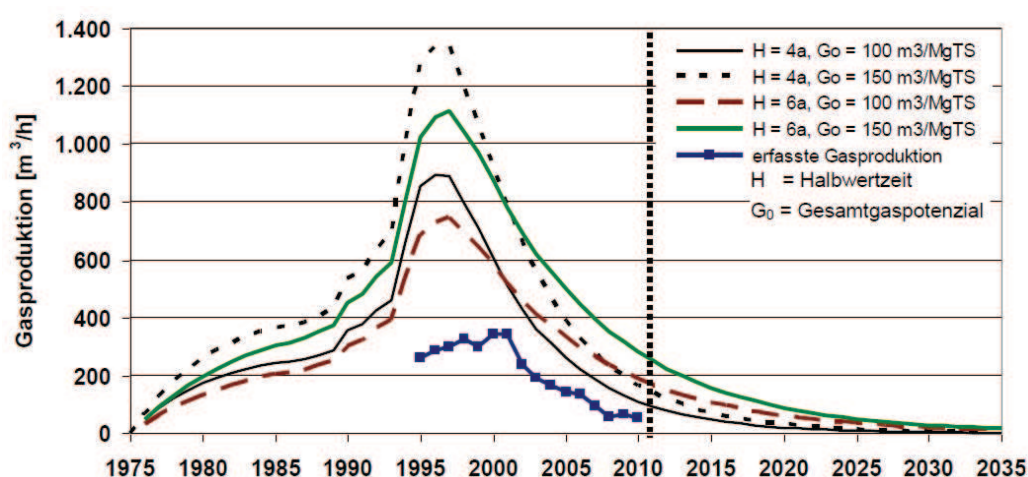


Abb.2 Bandbreite der Gasproduktion aus [2]



5 Zusammenfassende Bewertung

Die Ergebnisse können zusammenfassend wie folgt bewertet werden:

- Die Betrachtungen zum **Wasserhaushalt** zeigen, dass die Versickerung durch die Oberflächenabdeckung aufgrund der oben beschriebenen Annahmen möglicherweise tatsächlich höher ist als es die bestehenden HELP-Berechnungen beschreiben. Folglich ist der Sickerwasseranteil höher als bisher angenommen und das Sickerwasser wird nicht vollständig an der Deponiebasis gefasst und zur Reinigung abgefahren. Ein Teil dieses Sickerwassers könnte die Deponiebasis an einzelnen, nicht nach heutigem Stand der Technik gedichteten Stellen der Basis durchsickern und in das Grundwasser gelangen. Es kann derzeit offensichtlich nicht ausgeschlossen werden, dass nachgewiesene Belastungen im Grundwasser tatsächlich nur von lokalen Schadstellen außerhalb der Deponiebasis stammen, die inzwischen repariert wurden.
- Die **Setzungen** sind zum derzeitigen Stand aufgrund einer nicht plausiblen Datenlage nicht für eine Extrapolation des Setzungsverlaufs auswertbar. Eine Überprüfung der Datenaufnahme und der Bezugspunkte ist erforderlich. Grundsätzlich scheinen die Setzungen offenbar jedoch so weit abgeklungen zu sein, dass unter Berücksichtigung von planerischen Vorgaben die Aufbringung einer Oberflächenabdichtung kurzfristig möglich wäre.
- Plausibilitätsprüfung und Vergleich der **Kosten** der verschiedenen Maßnahmen zeigen auf, dass eine sofortige Aufbringung einer Oberflächenabdichtung gegenüber einer temporären Abdichtung mit Sickerwasserinfiltration und in-situ-Stabilisierung sowie einer späteren Abdichtung nicht zwingend die teurere Variante ist. Es könnte sich sogar als kostengünstiger herausstellen, die Deponie Bornhausen kurzfristig mit einer Oberflächenabdichtung zu versehen.
- Die zurückgehende Gasproduktion hat inzwischen ein Stadium erreicht, das eine passive **Entgasung** grundsätzlich erlaubt. Möglicherweise ist jedoch eine Kombination einer temporären Schwachgasnutzung nach Aufbringung einer Oberflächenabdichtung mit einer bereits bei der Herstellung der Dichtung angelegten Methanoxidationseinrichtung möglich und günstiger.

melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft

Dipl.-Ing. Wolfgang Wittpohl

Dr. Bernd Steinert

Plausibilitätsprüfung Kosten

Kostenansatz IFAS für Konzept In-Situ- Stabilisierung	Neubau SiWa- Schacht	RWU	SiWa-Reinigung (35-40 €/m³)		Gas- brunnen	Gasver- wertung	Belüftung	Temp. Abdeckung	Jährl. Kosten	Infiltration	Jährl. Kosten	OAD	Jährl. Kosten
			m³	€									
2012	600.000	10.000	13.000	455.000	250.000	0		460.000	2.300	200.000			
2013		10.000	13.000	455.000		0			2.300		20.000		
2014		10.000	10.000	350.000		0					20.000		
2015		10.000	8.000	280.000		0	300.000		2.300		20.000		
2016		10.000	8.000	280.000		0	120.000		2.300		20.000		
2017		10.000	8.000	280.000		0	120.000		2.300		20.000		
2018		10.000	8.000	280.000		0	120.000		2.300		20.000		
2019		10.000	8.000	280.000		0		2.300		20.000	20.000	1.200.000	6.000
2020		10.000	6.000	210.000		0		2.300		20.000	20.000	1.200.000	12.000
2021		10.000	4.000	140.000		0		2.300		20.000	20.000	1.200.000	18.000
Summe	600.000	100.000	3.710.000	3.010.000	250.000	0	660.000	460.000	460.000	200.000	160.000	3.600.000	36.000

Plausibilitäts- anpassung für Konzept In-Situ- Stabilisierung	Neubau SiWa- Schacht	RWU	SiWa-Reinigung (35-40 €/m³)		Gas- brunnen	Gasver- wertung	Belüftung	Temp. Abdeckung	Jährl. Kosten	Infiltration	Jährl. Kosten	OAD	Jährl. Kosten
			m³	€									
2012	600.000	10.000	13.000	455.000	250.000	0		700.000	2.300	200.000			
2013		10.000	13.000	455.000		0			2.300		20.000		
2014		10.000	10.000	350.000		0			2.300		20.000		
2015		10.000	8.000	320.000		0	300.000		2.300		20.000		
2016		10.000	8.000	320.000		0	120.000		2.300		20.000		
2017		10.000	8.000	320.000		0	120.000		2.300		20.000		
2018		10.000	8.000	320.000		0	120.000		2.300		20.000		
2019		10.000	8.000	320.000		0		2.300		20.000	20.000	1.400.000	7.000
2020		10.000	6.000	240.000		0		2.300		20.000	20.000	1.400.000	14.000
2021		10.000	4.000	160.000		0		2.300		20.000	20.000	1.400.000	21.000
Summe	600.000	100.000	3.960.000	3.260.000	250.000	0	660.000	700.000	723.000	200.000	160.000	4.200.000	42.000

Kostenansatz für sofortige Abdichtung	Neubau SiWa- Schacht	RWU	SiWa-Reinigung (35-40 €/m³)		Gas- brunnen	Gasver- wertung	Belüftung	Temp. Abdeckung	Jährl. Kosten	Infiltration	Jährl. Kosten	OAD	Jährl. Kosten
			m³	€									
2012	600.000	10.000	13.000	455.000	250.000	0							
2013		10.000	11.000	385.000		0					1.800.000		9.000
2014		10.000	9.000	315.000		0					1.800.000		18.000
2015		10.000	7.000	280.000		0					1.800.000		27.000
2016		10.000	6.000	240.000		0							27.000
2017		10.000	5.000	200.000		0							27.000
2018		10.000	4.000	160.000		0							27.000
2019		10.000	3.000	120.000		0							27.000
2020		10.000	2.000	80.000		0							27.000
2021		10.000	1.000	40.000		0							27.000
Summe	600.000	100.000	2.975.000	2.275.000	250.000	0						5.400.000	216.000