

# **Décharges suisses - Gestion après fermeture**

**Résumé du rapport Finsterwalder  
Umwelttechnik GmbH (2014): Bewertung von  
Deponiestandorten, Teil III - Auswertung  
(Evaluation de l'état des décharges, partie III -  
analyse)**

**Berne, le 02.08.23**

**Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)**

# Impressum

## Mentions légales

**Mandant:** Office fédéral de l'environnement (OFEV), division déchets et manières premières, CH-3003 Berne

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

**Mandataire:** Kellerhals + Haefeli SA

**Auteurs:** Clémentine Schürmann, Julien Gobat, Dieter Böhi

**Accompagnement OFEV:** Clara-Marine Pellet

**Remarque:** Le présent rapport a été réalisé sur mandat de l'OFEV. Seul le mandataire porte la responsabilité de son contenu.

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
<b>0. Avant-propos</b>	<b>1</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2. Interdépendance des facteurs pris en compte</b>	<b>2</b>
2.1. Importance des combinaisons de facteurs	2
2.1.1. Résultats de l'analyse des valeurs limites d'émissions	2
2.2. Influence de la largeur de la décharge dans la direction d'écoulement de l'eau souterraine sur l'apport de polluants dans l'eau souterraine	4
2.3. Influence de la hauteur moyenne de la décharge sur les émissions	5
2.4. Influence de l'épaisseur de la barrière géologique naturelle sur les émissions	5
2.5. Influence du type de sous-sol (barrière géologique naturelle et couche d'étanchéité de fond) sur les émissions	6
2.6. Influence du rendement de l'aquifère sur la pollution de l'eau souterraine	6
<b>3. Evaluation de l'état des décharges selon le principe de suivi après désaffectation vs selon le principe de prévoyance</b>	<b>7</b>
<b>4. Synthèse</b>	<b>10</b>
<b>A. Importance et influence du choix d'un site de décharge</b>	<b>11</b>
<b>B. Importance et influence des mesures de confinement</b>	<b>12</b>
<b>5. Documents utilisés</b>	<b>13</b>

## Décharges suisses – Gestion après fermeture

### Résumé du rapport Finsterwalder Umwelttechnik GmbH (2014): Bewertung von Deponiestandorten, Teil III - Auswertung (Evaluation de l'état des décharges, partie III - analyse)

---

#### 0. Avant-propos

Ce résumé en français du rapport « Bewertung von Deponiestandorten – Teil III – Auswertung » de Finsterwalder Umwelttechnik GmbH (voir annexe 1) a été commandé par l'Office fédéral de l'Environnement (OFEV), division déchets et matières premières, dans le but de mettre à disposition des cantons romands les informations pertinentes s'y trouvant.

Le rapport de « Bewertung von Deponiestandorten – Teil III – Auswertung » constitue le troisième et dernier d'une série de trois rapports. Le premier décrit les éléments de base pour l'évaluation de l'état d'une décharge, voir [1], le second définit « l'exemple de décharge type », voir [2]. Le troisième présente les résultats des modélisations d'émissions effectuées en se basant sur les éléments des deux premiers rapports. Quand cela est nécessaire ou pertinent, des informations provenant des deux premiers rapports sont reprises dans le présent document.

Le rapport « Bewertung von Deponiestandorten – Teil III – Auswertung » a été rédigé en 2014 alors que l'OTD [3] était encore en vigueur. Les informations et termes repris dans le présent résumé sont ainsi ceux du document original et se réfèrent à l'état des connaissances et au cadre légal en vigueur lors de sa rédaction. Les termes utilisés dans le présent rapport sont ceux du document original. Quand cela est pertinent, les termes actuels de l'OLED, voir [4], ont été rajoutés, avec mention dans le texte.

En cas de doute sur la traduction ou l'interprétation du contenu, le document original (en allemand) fait foi. Toute responsabilité concernant le document original sera déclinée.

#### 1. Introduction

Au vu du nombre de paramètres entrant en compte dans l'évaluation d'une décharge, il n'est pas possible d'élaborer une directive générale pouvant évaluer tous les sites d'une manière homogène.

En se basant sur un « exemple de décharge type », il est cependant possible de définir des tendances générales sur l'évolution des émissions d'un site, voir [1]. Une tendance ne permet par contre pas de définir les valeurs réelles des émissions d'un site. Pour ce faire, il est nécessaire de caractériser ce site dans le détail. Ceci demande une analyse des valeurs limites d'émissions <sup>1</sup>.

L'évaluation de l'état d'une décharge dépend des valeurs limites d'émissions définies par les autorités ainsi que de la durée de la phase de gestion après fermeture, qui selon l'OTD va de 15 à 50 ans. Les valeurs limites d'émission permettent de déterminer si une décharge s'approche de l'état-limite, qui est le moment où la décharge produit un maximum d'émissions.

Comme le développement qui suit le démontre, une durée de la phase de gestion après fermeture de 15 à 50 ans n'est pas toujours suffisante pour atteindre l'état-limite. La situation est particulièrement critique si la décharge évaluée est construite de manière inhomogène et que le suivi pendant exploitation a consisté uniquement en des mesures d'émissions ponctuelles. Dans de tels cas, il n'est pas possible de définir l'état d'une décharge de manière fiable.

## **2. Interdépendance des facteurs pris en compte**

### **2.1. Importance des combinaisons de facteurs**

Les facteurs considérés pour évaluer l'état d'une décharge s'influencent les uns les autres. Une multitude de combinaisons existent (>1000, voir [2]). Les facteurs principaux sont présentés dans les chapitres suivants. Ces chapitres montrent qu'il n'est pas possible de prouver la pertinence et l'efficacité de la rétention de substances avec un schéma d'évaluation simplifié.

#### **2.1.1. Résultats de l'analyse des valeurs limites d'émissions**

L'évaluation de l'état d'une décharge se base sur la modélisation d'une décharge type avec les caractéristiques suivantes<sup>2</sup> :

- Hauteur moyenne de la décharge : 30 m
- Largeur de la décharge perpendiculairement à la direction d'écoulement de l'eau souterraine : 200 m
- Barrière géologique naturelle : 2 m
- Perméabilité moyenne de l'étanchéification du fond : 2 qualités différentes :  $k = 1.0 \times 10^{-9}$  m/s (B1) et  $k = 1.64 \times 10^{-10}$  m/s (B2).
- Perméabilité moyenne du confinement de surface  $k = 7.7 \times 10^{-10}$  m/s (O1)

---

<sup>1</sup> L'analyse des valeurs limites d'émissions est décrite dans la partie I du rapport, p. 6, voir [1]

<sup>2</sup> Le document [2] décrit dans les détails les facteurs considérés, leurs variations ainsi que les combinaisons possibles. Pour plus de détails sur la décharge type décrite dans le présent document, se référer à [2].

- Substratum géologique constitué de gravier sableux avec une teneur non négligeable en particules fines (G1) avec une perméabilité moyenne de  $1.0 \times 10^{-7}$  m/s. La couche d'étanchéité minérale a une perméabilité moyenne de  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s (E1). Ces qualités de la barrière géologique naturelle et de la couche d'étanchéité minérale correspondent aux exigences selon l'OTD.
- Durée d'exploitation de la décharge : 30 ans

Le résultat de la modélisation pour la décharge type et avec les conditions les plus défavorables est présenté à la Figure 1

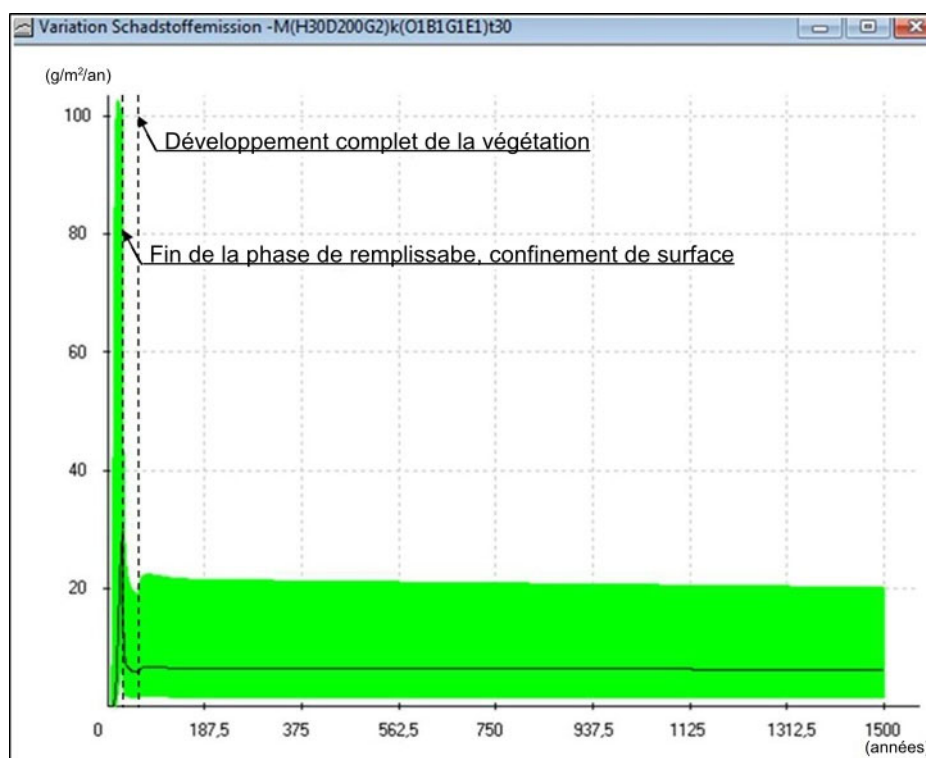


Figure 1: Résultats de la modélisation pour le cas de la décharge type. L'axe horizontal représente le temps en années, l'axe vertical les émissions totales en  $g/(m^2 \cdot an)$ . La limite supérieure de la plage en vert correspond aux valeurs maximales possibles, la limite inférieure aux valeurs minimales possibles. La ligne noire correspond aux valeurs les plus probables

Selon cette modélisation, la valeur d'émission maximale dans l'eau souterraine est de  $102.5 g/(m^2 \cdot an)$ . Elle est atteinte après 19.9 années d'exploitation, ceci pendant la phase d'exploitation. Dans ce cas, l'évolution des émissions avec une valeur maximale après 19.9 années s'explique par une trop faible capacité de rétention des émissions, due à une trop grande perméabilité à la base de la décharge par rapport aux conditions du site.

D'une manière générale, un dépassement de l'une des valeurs limite d'émissions dans l'eau souterraine n'est souhaité ni pendant la phase d'exploitation, ni après fermeture de la décharge.

En faisant varier un à un les facteurs ci-dessus, il est possible de montrer que, dans certaines conditions, la quantité d'émissions peut être réduite. Par exemple, par une :

- augmentation de l'épaisseur de la barrière géologique de 2 à 10 m. Ceci amène une diminution des émissions, avec une valeur maximale de 22.0 g/(m<sup>2</sup>·an) atteinte après 230 ans.
- diminution de la perméabilité de l'étanchéité de fond de 1.0 x 10<sup>-9</sup> m/s (B1) à 1.64 x 10<sup>-10</sup> m/s (B2). La valeur maximale d'émission de 21.30 g/(m<sup>2</sup>·an) est atteinte sous les conditions les plus défavorables, après 230 ans.
- diminution de la perméabilité du confinement de surface de k = 7.7 x 10<sup>-10</sup> m/s (O1) à k = 3.35 x 10<sup>-10</sup> m/s (O2). Ceci amène une diminution des émissions dans l'eau souterraine à 10.74 g/(m<sup>2</sup>·an).

Ces exemples montrent qu'il existe une corrélation entre les caractéristiques d'une décharge et ses émissions. En particulier, l'épaisseur de la barrière géologique ainsi que la qualité de l'étanchéité de fond et du confinement de surface sont importantes. Il va de soi que toutes les caractéristiques d'un site doivent être prises en compte et qu'elles interagissent entre elles.

Dans les chapitres qui suivent, il est montré comment la variation de certains facteurs influencent les émissions de cette décharge type. Les valeurs d'émissions données sont issues de l'analyse des valeurs limites d'émissions.

Toutes les modélisations ci-dessous ont été effectués pour la décharge type, à l'exception de la modélisation portant sur l'influence du type de sous-sol (paragraphe 2.5).

## **2.2. Influence de la largeur de la décharge dans la direction d'écoulement de l'eau souterraine sur l'apport de polluants dans l'eau souterraine**

La modélisation a été réalisée pour les largeurs suivantes : 0, 200, 300 et 400 m, ainsi que pour les deux qualités de couches d'étanchéité de fond B1 (k = 1.0 x 10<sup>-9</sup> m/s) et B2 (k = 1.64 x 10<sup>-10</sup> m/s).

Les résultats montrent que plus la largeur de la décharge dans la direction d'écoulement de l'eau souterraine est importante, plus les émissions de polluants dans l'aquifère sont importantes. L'augmentation est linéaire et vérifiée pour les deux types de couche d'étanchéité de fonds. Pour une largeur de 0 m, il n'y a aucune émission.

Les polluants issus du corps de la décharge qui atteignent l'eau souterraine en-dessous du corps s'additionnent dans l'eau souterraine sur toute la largeur de la décharge dans la direction de l'écoulement de l'eau souterraine. Plus le corps de la décharge est large parallèlement à l'écoulement de l'eau souterraine, plus la quantité de polluants pouvant s'accumuler est importante.

### **2.3. Influence de la hauteur moyenne de la décharge sur les émissions**

La modélisation a été réalisée pour les hauteurs moyennes suivantes : 0, 2, 5, 10, 20, 30 et 40 m, ainsi que pour les deux qualités de couches d'étanchéité de fond B1 et B2.

Pour une hauteur de 0 m, il n'y a aucune émission. A partir de 2 m de hauteur, les émissions augmentent de façon linéaire avec l'épaississement de la décharge. A partir de 10 m, les émissions atteignent un plateau et ne sont plus influencées par une augmentation de la hauteur de la décharge. Cette tendance est vérifiée pour les deux types de couches d'étanchéité de fond.

Le volume de la décharge influence la durée et l'évolution des émissions. Plus la décharge est volumineuse, plus le temps d'émission est long.

### **2.4. Influence de l'épaisseur de la barrière géologique naturelle sur les émissions**

La modélisation a été réalisée pour les épaisseurs suivantes de barrière géologique : 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 20 m, ainsi que pour les deux qualités de couches d'étanchéité de fond B1 et B2.

Les résultats de la modélisation montrent que :

- Pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B1 ( $1.0 \times 10^{-9}$  m/s), les émissions diminuent avec une augmentation de l'épaisseur de la barrière géologique. Pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B2 ( $1.64 \times 10^{-10}$  m/s), les émissions ne montrent pas de variation en fonction de l'épaisseur de la barrière géologique
- Pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B1, le maximum d'émission est atteint dans les 30 années suivant le début de la phase d'exploitation de la décharge pour une épaisseur de la barrière géologique comprise entre 2 et 9 m. A partir de 10 m d'épaisseur, le maximum d'émissions est atteint après plus de 200 ans. Pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B2, le maximum d'émissions survient après une durée augmentant linéairement avec l'épaisseur de la barrière géologique (env. 240 ans pour 2 m, 300 ans pour 4 m).

Ceci montre que pour une période d'exploitation de 30 ans et pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B1, les émissions maximales seront atteintes au cours des 30 premières années. La valeur maximale d'émissions diminue en fonction de l'épaisseur de la barrière géologique, avec un plafonnement inférieur à partir d'env. 10 m.



Pour une barrière géologique de 10 mètres et plus (couche d'étanchéité de fond de qualité B1), ainsi que pour une barrière géologique d'épaisseur égale (couche d'étanchéité de fond de qualité B2), les émissions restent faibles et leur maximum est atteint après la fermeture de la décharge (>200 ans).

## **2.5. Influence du type de sous-sol (barrière géologique naturelle et couche d'étanchéité de fond) sur les émissions**

Selon l'OTD (voir [3]), pour un compartiment à mâchefers, « ...il devra en outre être prouvé qu'il existe une barrière géologique naturelle, pour une grande part homogène et d'une épaisseur d'au moins 2 m (coefficient de perméabilité moyen  $k$  de  $1,0 \times 10^{-7}$  m/s au plus dans toutes les directions) et qu'elle sera complétée par au moins trois couches de pose minérales homogènes appliquées l'une après l'autre selon les règles de l'art du génie civil, dont l'épaisseur totale est d'au moins 60 cm (coefficient de perméabilité moyen  $k$  de  $1,0 \times 10^{-8}$  m/s au plus) ». <sup>3</sup>

La modélisation a été réalisée pour les conditions suivantes : largeur de la décharge perpendiculairement à la direction d'écoulement de l'eau souterraine 200 m, épaisseur de la décharge 30 m, épaisseur de la barrière géologique 2 m, qualité de l'étanchéité de surface O1. La durée d'exploitation du site est de 30 ans. Pour la modélisation, les paramètres suivants ont été utilisés : sous-sol de type G1E1, G2E1, G2E2<sup>4</sup>, ainsi que pour les deux qualités de couches d'étanchéité de fond B1 et B2.

Les tendances suivantes sont déduites de la modélisation :

- Les émissions pendant la période d'exploitation d'une décharge sont gouvernées par la qualité de la couche d'étanchéité de fond et la couche d'étanchéité de surface.
- L'épaisseur du sous-sol (barrière géologique et couche d'étanchéité minérale) influence la capacité de sorption du sous-sol. L'épaisseur du sous-sol influence également la valeur maximale d'émission et le moment auquel cette concentration maximale est atteinte.
- La qualité et la perméabilité de la couche d'étanchéité minérale n'ont pas d'influence sur les émissions.

## **2.6. Influence du rendement de l'aquifère sur la pollution de l'eau souterraine**

La modélisation a été réalisée pour les rendements de l'aquifère suivants : 50, 100, 200, 300, 400, 450 500 et 550 m<sup>3</sup>/(m·a), ainsi que pour les deux qualités de couches d'étanchéité de fond B1 et B2

---

<sup>3</sup> OTD, article 30. Dans le présent rapport, l'auteur donne une épaisseur d'au moins 60 cm pour un coefficient de perméabilité moyen  $k$  de  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s. Selon l'OLED, article 1.2.3 : « ... si le sous-sol est complété par trois couches minérales homogènes, mises en place l'une après l'autre dans les règles de l'art du génie civil, dont l'épaisseur totale est d'au moins 80 cm et le coefficient  $k$  moyen de  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s »

<sup>4</sup> Définitions voir [1] .

La modélisation a permis de mettre en évidence les tendances suivantes :

- Plus le rendement de l'aquifère est important, plus la concentration en polluants dans l'aquifère diminue

Le cas du sulfate a été pris en exemple. Selon l'OEaux, voir [5], la limite de sulfate dans le secteur Au de protection des eaux est de 20 mg/l. Selon la modélisation, cette limite ne peut être respectée pour aucun des rendements pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B1. Pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B2, la limite de 20 mg/l peut être respectée à partir d'un rendement de 200 m<sup>3</sup>/(m·a). Dans le secteur üB, la limite selon l'OEaux pour le sulfate est de 80 mg/l. Selon la modélisation, cette limite peut être respectée pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B1 à partir d'un rendement de 250 m<sup>3</sup>/(m·a). Pour une couche d'étanchéité de fond de qualité B2, la limite de 80 mg/l est respectée pour tous les cas modélisés.

### **3. Evaluation de l'état des décharges selon le principe de suivi après désaffectation vs selon le principe de prévoyance**

L'OTD définit une période de surveillance de 50 ans pour les compartiments à mâchefers. Cette période peut être réduite s'il est prouvé qu'il n'a plus lieu de compter avec des émissions néfastes pour l'environnement. Cette surveillance doit cependant au minimum durer 15 ans. Pendant la période de surveillance, des contrôles et la maintenance régulière des installations sont à effectuer.

La méthode proposée ici pour caractériser l'état d'une décharge devrait permettre de déterminer s'il faut s'attendre à des émissions néfastes après la période de gestion après fermeture de 50 ans. La modélisation de la décharge type est présentée à la Figure 2.

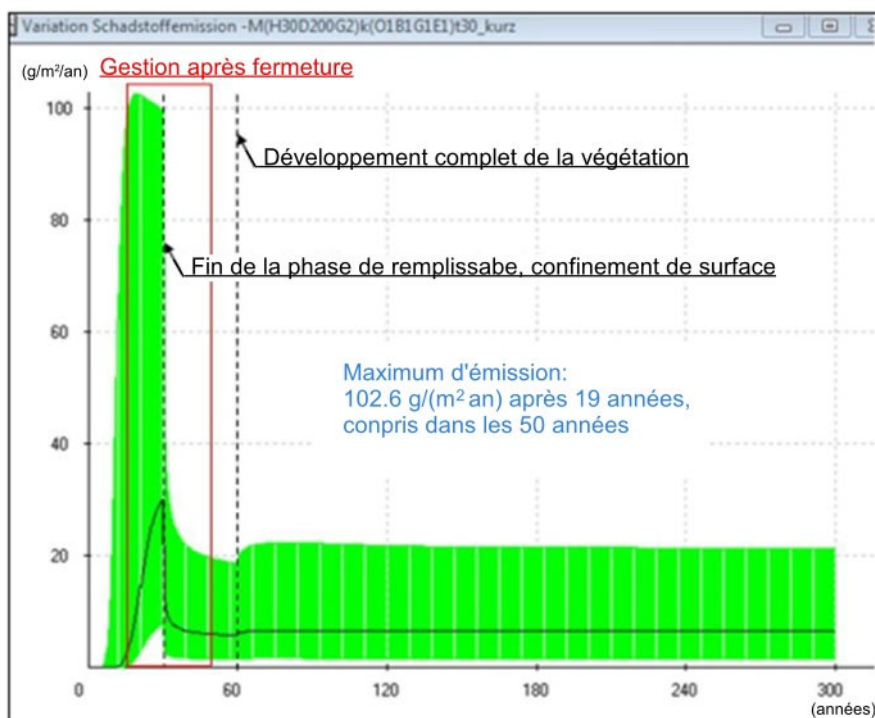


Figure 2: Résultats de la modélisation pour le cas de la décharge type. L'axe horizontal représente le temps en années, l'axe vertical les émissions totales en g/(m<sup>2</sup>·an). La limite supérieure de la plage en vert correspond aux valeurs maximales possibles, la limite inférieure aux valeurs minimales possibles. La ligne noire correspond aux valeurs les plus probables. La période de gestion après fermeture est indiquée par un encadré rouge.

Cette modélisation montre que le maximum d'émission est atteint après env. 19 ans et atteint 102.5 g/(m<sup>2</sup>·an).

Pour un site avec une barrière géologique d'une épaisseur de 10 m (2m pour la décharge type, voir figure 2), l'évolution des émissions est différente, voir Figure 3.

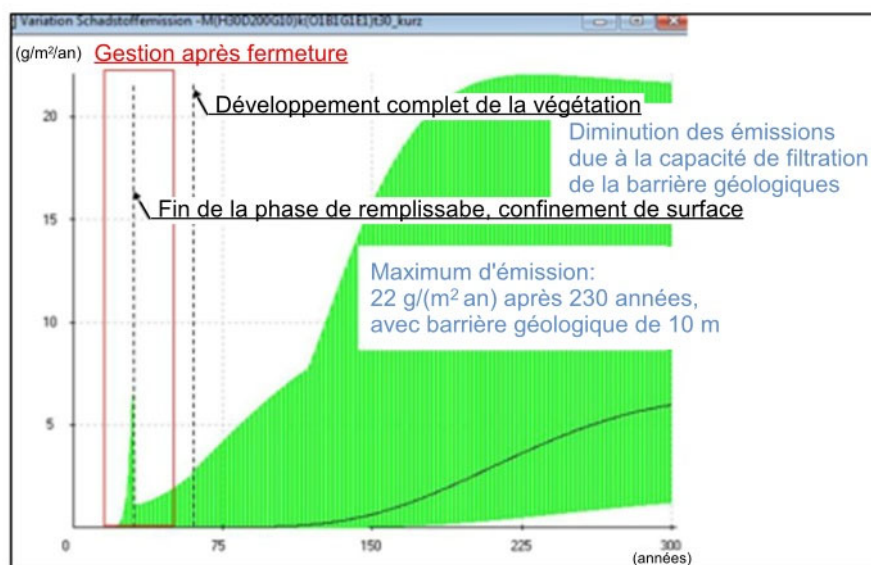


Figure 3: Résultats de la modélisation pour le cas de la décharge type, avec une épaisseur de barrière géologique de 10 m. L'axe horizontal représente le temps en années, l'axe vertical les émissions totales en  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})$ . La limite supérieure de la plage en vert correspond aux valeurs maximales possibles, la limite inférieure aux valeurs minimales possibles. La ligne noire correspond aux valeurs les plus probables. La période de gestion après fermeture est indiquée par un encadré rouge.

Pour une décharge type avec une barrière géologique de 10 m, la concentration des émissions est maximale après environ 230 ans d'exploitation. Dans ce cas, il est nécessaire de prévoir des mesures préventives lors de la phase de planification<sup>5</sup>.

Pour la même décharge (10 m de barrière géologique) mais une couche d'étanchéité de fond et de couverture de qualité 2, il n'est pas possible de déterminer à quel moment la concentration des émissions est maximale, voir Figure 4. Selon la modélisation, la concentration maximale des émissions est atteinte après 670 ans. Ceci n'est pas acceptable dans l'optique où une décharge doit pouvoir sortir de la phase de surveillance. La concentration maximale des émissions doit être comparable aux normes en vigueur. Dans ce cas il est également nécessaire de prévoir des mesures préventives lors de la planification de la décharge<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Il est important de noter que la valeur maximale d'émission n'est pas atteinte à la fin de la gestion après fermeture.

<sup>6</sup> Dans ce cas également, la valeur maximale d'émission n'est pas atteinte à la fin de la gestion après fermeture.

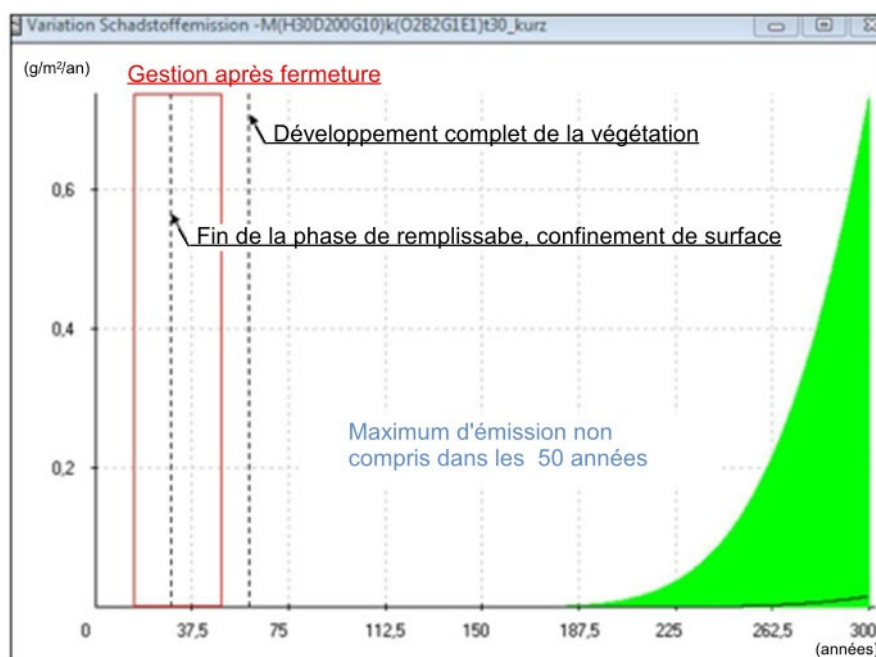


Figure 4 Résultats de la modélisation pour le cas de la décharge type, avec une épaisseur de barrière géologique de 10 m. L'axe horizontal représente le temps en années, l'axe vertical les émissions totales en  $g/(m^2 \cdot an)$ , échelle 25x plus petite que sur la figure 3. La période de gestion après fermeture est indiquée par un encadré rouge.

#### 4. Synthèse

Jusqu'à présent, dans le domaine de la gestion des décharges, un lien concret entre les exigences environnementales des autorités (valeurs limites pour les polluants) et les données réelles d'une décharge dans l'optique d'amener la preuve d'efficacité des mesures de stabilisation mises en œuvre fait défaut. Ce lien doit suivre le principe de prévoyance, en tenant compte des interactions entre la décharge prévue et les sites possibles de celle-ci. Pour que ce principe soit applicable, il est nécessaire de pouvoir caractériser l'état d'une décharge (y. compris ses émissions et son état de stabilité).

L'élaboration d'une instruction pratique homogène qui définit la marche à suivre pour la sécurisation de toutes les décharges n'est pas possible dans le cadre d'une ordonnance. Le nombre de paramètres qui influencent les valeurs limites à prendre en compte est trop important.

Dans ce contexte, il serait avisé d'élaborer une ordonnance qui définit les valeurs-but, comme par exemple : les valeurs limites des émissions, la distance minimale entre le fond de la décharge et le toit de la nappe souterraine, la durée d'exploitation maximale et les mesures pour éviter les eaux de lixiviation dans le sous-sol après la fermeture de la décharge.

Les modélisations effectuées ont montré que la capacité de rétention des émissions doit être efficace pendant une longue durée. La qualité des matériaux utilisés pour mesures de sécurisations est déterminante et devrait toujours être irréprochable. Les systèmes de sécurisation mis en place doivent être protégés contre un risque d'endommagement de l'extérieur. Les mesures mises en œuvre devraient si possible ne plus demander de maintenance après la fermeture d'une décharge. Le vieillissement des systèmes et matériaux est à prendre en compte.

Pour une période de surveillance d'un site allant de 15 à 50 ans, il n'est pas possible de déterminer l'état d'une décharge uniquement à l'aide de mesures ponctuelles de la qualité de l'eau souterraine. Le maximum des émissions peut être atteint après la période de surveillance.

Pour qu'une décharge puisse sortir de la phase de gestion après désaffectation, les mesures de surveillance et de maintenance doivent ne plus être nécessaires. Si des valeurs d'émission maximales ont été définies lors de la phase de planification de la décharge et sont atteintes pendant la phase d'exploitation (y.c. une éventuelle phase de gestion après désaffectation), les mesures ou contrôles ne sont alors plus nécessaires.

Pour sortir de la phase de gestion après désaffectation, les conditions suivantes doivent être réunies :

- Les critères de désaffectation doivent être atteints, (voir [1], chapitre 1)
- L'analyse des valeurs limites d'émissions doit être réitérée avec les valeurs après la mise en place du système de confinement et de stabilisation

Chaque décharge comporte un risque potentiel au vu des matériaux qu'elle contient. La décharge est à considérer comme un système comprenant les matériaux entreposés et des mesures de stabilisations. Ce système est lié à un site particulier et est unique. Ce système doit être adapté au site, de manière à influencer l'environnement local le moins possible. Une évaluation de l'état d'une décharge doit toujours être effectuée en comparaison avec son projet initial.

Pour exploiter au mieux une décharge, dans le temps comme dans l'espace, les caractéristiques du site de la décharge sont déterminantes. Les mesures de confinement mises en œuvre jouent également un rôle important pour la durée d'exploitation, y compris la phase de gestion après fermeture. Les points principaux concernant le site à choisir et les mesures de confinement sont résumés dans les points A et B ci-dessous.

### **A. Importance et influence du choix d'un site de décharge**

L'aspect de la protection des eaux souterraines et des eaux de surfaces est crucial lors du choix d'un site de décharge. Les exigences concernant la qualité de l'eau sont définies dans l'ordonnance sur la protection des eaux, OEaux, voir [5]. Dans l'ordonnance sur les déchets OLED, voir [4], des critères concernant l'épaisseur et la perméabilité de la barrière géologique sont définis. Les constatations suivantes sont importantes :

- La perméabilité de la barrière géologique doit toujours être plus importante que celle de la couche d'étanchéité de fond
- Une valeur minimale de 2.6 m pour l'épaisseur de la barrière géologique (y compris la couche d'étanchéité minérale) est une valeur raisonnable pour que cette couche puisse servir de filtre absorbant.
- Il n'est pas nécessaire que la couche d'étanchéité soit constituée d'au moins 0.6 m où 0.8 m (selon l'OTD ou l'OLED) d'un matériau ayant une perméabilité inférieure à  $10^{-9}$  m/s. Cette couche peut en principe répondre à la qualité de la barrière géologique
- La présence d'un aquifère de haut rendement est un paramètre favorable, permettant de réduire la concentration des émissions par dilution. Une décharge devrait, si possible, ne pas être positionnée avec la largeur maximale parallèle à la direction d'écoulement des eaux souterraines
- La barrière géologique joue le rôle de filtre absorbant et retarde de cette manière l'arrivée des polluants dans l'eau souterraine. Plus cette barrière est de granulométrie fine, plus la capacité absorbante est importante.
- Les exigences des autorités concernant les valeurs limites d'émissions définissent la qualité des mesures de stabilisations à mettre en œuvre. Plus les exigences sont strictes, plus ces mesures sont contraignantes. Il n'est pas possible d'atteindre un niveau d'émissions nul. La décharge doit être planifiée de manière à pouvoir respecter les exigences en matière d'émissions. Les exigences demandées, peuvent engendrer une limitation du volume de la décharge ou alors du type de matériaux (substances mobiles) entreposés. Ces critères peuvent donc être déterminants pour le choix d'un site de décharge.
- Les caractéristiques locales du site de la décharge doivent également être prises en compte. Par exemple, les aspects hydrauliques du système d'étanchéification, les aspects mécaniques tels que l'érosion ou la présence de racines sont importants. Les aspects climatiques tels que la quantité de précipitation doivent également faire partie de la planification d'une décharge (des quantités faibles de précipitation sont à favoriser). La longévité des systèmes techniques doit être adaptée aux conditions spécifiques d'un site.

## **B. Importance et influence des mesures de confinement**

Les émissions d'une décharge sont déterminées par la qualité de la couche d'étanchéité de surface et de la couche d'étanchéité de fond. De ce fait, il est indispensable que la qualité de la réalisation de la couche de surface soit identique à celle de l'étanchéité de fond. Il est nécessaire de procéder au contrôle de la qualité de ces deux couches. Plus la perméabilité de la couche de fond est faible, plus la perméabilité de la couche de surface doit être faible, pour éviter de créer une accumulation d'eau à la base de la décharge, et favoriser une augmentation de la lixiviation dans le sous-sol resp. la percolation vers le bas. Ceci n'est pas toujours techniquement réalisable. L'unique alternative aux mesures de stabilisations est le traitement des eaux de percolation avant leur rejet, ce qui peut durer selon les conditions, plusieurs centaines d'années.

En conclusion :

- Si la couche d'étanchéité de fond est trop perméable, il est possible que le maximum d'émission soit atteint pendant la phase d'activité de la décharge. Dans ce cas, la durée d'exploitation de la décharge est un critère déterminant.
- Si la couche d'étanchéité de fond est trop perméable, il est possible de réduire les émissions après fermeture de la décharge par la mise en place d'une couche d'étanchéité de surface avec un dimensionnement approprié au site en question. Cette mesure a une influence directe sur la mobilité des polluants.
- Le dimensionnement des couches d'étanchéité de surface et de fond doit se faire de manière à ce que seule une accumulation limitée des lixiviats à la base de la décharge soit possible.
- La définition de valeurs minimales sur l'épaisseur des couches d'étanchéité n'est pas pragmatique. Le dimensionnement de l'étanchéité est à définir au cas par cas et dépend en premier lieu des spécificités du site. Les conditions limites du site doivent pouvoir garantir que le site est approprié et que les mesures mises en œuvre sont appropriées et efficaces.

Si l'objectif est de trouver une solution où les valeurs limite d'émissions définies par les autorités sont respectées tout en prenant en compte les paramètres économiques de la réalisation de mesures de stabilisation, une étude de variantes pour chaque site est inévitable. De cette manière les mesures de stabilisations proposées sur le marché peuvent être comparées et évaluées.

## 5. Documents utilisés

- [1] Finsterwalder Umwelttechnik: BAFU: Bewertung von Deponiestandorten – Teil I – Grundlagen, rapport du 15.01.2015
- [2] Finsterwalder Umwelttechnik: BAFU: Bewertung von Deponiestandorten – Teil II – Anwendungsbeispiel, rapport du 19.12.2014
- [3] OTD (=TVA) Ordonnance du 10 décembre 1990 sur le traitement des déchets, révisée le 1<sup>er</sup> juillet 2011 (RS 814.600), plus en vigueur
- [4] OLED (=VVEA) : Ordonnance du 4 décembre 2015 sur la limitation et l'élimination des déchets, révisée le 1<sup>er</sup> janvier 2023 (814.600)
- [5] OEaux, Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux, révisée le 1<sup>er</sup> février 2023 (814.201)
- [6] Office fédéral de l'environnement, l'environnement pratique, sites contaminés, confinement d'anciennes décharges à assainir, état de la technique, possibilités et limites, aide à l'exécution, 2007



- [7] Office fédéral de l'environnement, l'environnement pratique, déchets et matières premières, décharges, un module de l'aide à l'exécution relative à l'ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED), 2019

KELLERHALS + HAEFELI SA



C. Schürmann



D. Böhi

Traduction : Clémentine Schürmann, MSc en géologie  
Julien Gobat, MSc en hydrogéologie

Contrôle Dr. Dieter Böhi, Dr. es. Sciences en géologie

Berne, 02.08.2023  
CS/jk 13462

## ANNEXES

Annexe 1: Rapport Finsterwalder Umwelttechnik: BAFU: Bewertung von Deponiestandorten  
– Teil III: Auswertung du 19.12.2014 (rapport original en allemand)

**Annexe 1**

**Rapport Finsterwalder Umwelttechnik: BAFU: Bewertung von  
Deponiestandorten – Teil III: Auswertung  
du 19.12.2014 (rapport original en allemand)**

# **Bewertung von Deponiestandorten**

## **Teil III – Auswertung**

**Stand 19.12.2014**

*Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)*

## **IMPRESSUM**

### **Auftraggeber:**

Bundesamt für Umwelt (BAFU)  
Abt. Abfall und Rohstoffe  
CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

### **Auftragnehmer:**

Finsterwalder Umwelttechnik GmbH&Co.KG  
D-83233 Bernau / Hittenkirchen

**Autor:** Dr. Ing. Klemens Finsterwalder

**Begleitung BAFU:** André Laube

**Hinweis:** Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>Grundlegendes .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Wechselbeziehungen der Einflussgrößen .....</b>	<b>4</b>
2.1	Bedeutung der Kombinationen einzelner Einflussgrößen.....	4
2.1.1	Ergebnisse der Emissionsgrenzwertanalyse .....	4
2.2	Einfluss der Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung auf die Grundwasserfracht .....	10
2.3	Einfluss der mittleren Schütthöhe der Deponie auf den Emissionsgrenzwert .....	10
2.4	Einfluss der Mächtigkeit der geologischen Barriere auf den Emissionsgrenzwert ...	12
2.5	Einfluss der Art des Untergrundes (geologische Barriere und Einbauschicht) auf den Emissionsgrenzwert.....	15
2.6	Einfluss der Ergiebigkeit des Grundwasserstroms auf die Belastung des GWL .....	16
<b>3.</b>	<b>Bedeutung der Bewertung von Deponiestandorten gemäß dem Prinzip Nachsorge vs. dem Prinzip Vorsorge.....</b>	<b>18</b>
<b>4.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>21</b>

## 1. Grundlegendes

Die Anzahl der Parameter und ihre Kombinationen zur Bewertung von Deponiestandorten sind so vielfältig, so dass eine einheitliche und allgemeingültige Vorgabe nicht möglich ist. Es ist jedoch, abgeleitet aus dem Anwendungsbeispiel möglich, eine Trendentwicklung für die nachfolgend genannten Zusammenhänge darzustellen. Bestimmte Zusammenhänge sind anzuwenden und gelten auch für reale Deponiestandorte. Jedoch gelten die angeführten Zahlenwerte der Auswertung nur für die Eigenschaften des Anwendungsbeispiels. Eine zahlenmäßige Ableitung für einen beliebigen Standort aus den nachfolgenden Diagrammen ist nicht möglich, da für Deponiebauwerke weder lineare Gesetzmäßigkeiten noch feste Rahmenbedingungen vorliegen. Hier ist anzumerken, dass jeweils eine standortspezifische Bemessung zur Bewertung der Eignung und Wirksamkeit erforderlich ist. Mit der Emissionsgrenzwertanalyse werden die Emissionsgrenzwerte abhängig von den Randbedingungen des Standorts und den Eigenschaften der Deponiesicherungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der Streuung der Eingangsdaten ermittelt. Dies ersetzt den im Bauwesen üblichen Ansatz, bei dem der Grenzzustand über Sicherheitsbeiwerte zum Gebrauchszustand definiert wird. Der Grenzzustand ist u.a. dadurch definiert, welche Bedingungen die Genehmigungsbehörde für die Entlassung aus der Nachsorge fordert (vgl. Teil II, Kapitel 1.1). Dazu gehört z. B. die Festlegung von Auslöseschwellenwerten für den GWL bzw. gemäß revidierter TVA eine Nachsorgedauer von 15 bis 50 Jahren. Wie die folgenden Ausführungen zeigen werden, kann dieser Beobachtungszeitraum zu kurz sein, dass in jedem Einzelfall der Grenzzustand zur Einhaltung der Zielvorgaben erfasst werden kann. Das bedeutet ferner, dass auf Basis von punktuellen Messungen ein Wirkungsnachweis nicht zuverlässig möglich ist. Für ein inhomogenes Deponiebauwerk müsste dann die Voraussetzung gelten, dass die in der Vergangenheit empirisch festgestellten Messreihen aufgrund von Regelmäßigkeiten in die Zukunft fortgeführt werden können.

## 2. Wechselbeziehungen der Einflussgrößen

### 2.1 Bedeutung der Kombinationen einzelner Einflussgrößen

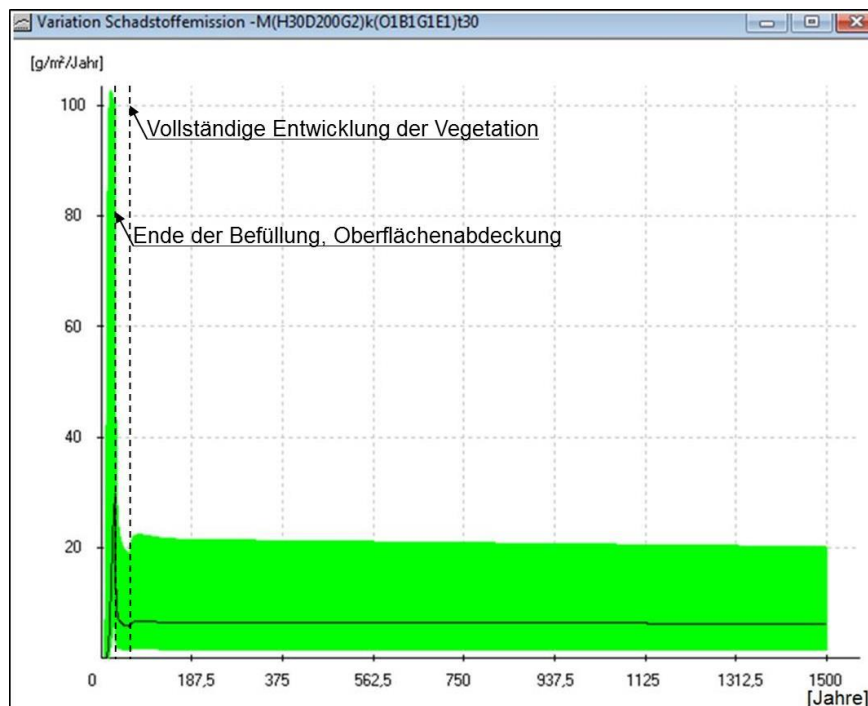
Aus der Kombinationen aller Eigenschaften ergeben sich mehr als > 1.000 Variationen für das Anwendungsbeispiel. Aus dieser Fülle von Möglichkeiten wurden die für die Bewertung repräsentativen Beispiele ausgewählt. Alle Angaben aus den Kombinationen sind mit DESi Variation berücksichtigt (Eigenschaften und ihre Datenstreuung zu allen in Teil II, Kapitel 2.2, 2.4 und 4.1 genannten Schichten). Hierzu zählen u.a. Angaben zu Schichtmächtigkeit, Kornzusammensetzung oder Sorptionskapazität. Damit die Zusammenhänge besser verstanden werden, soll an nachfolgend dargestellten Kombinationen die wesentlichen Einflüsse besprochen werden. Die Nachweisführung zur Eignung und Wirksamkeit ist mit einem einfachen Bewertungsschema nicht möglich, wie die folgenden Kapitel zeigen.

#### 2.1.1 Ergebnisse der Emissionsgrenzwertanalyse

Die Auswertung für das Anwendungsbeispiel ist für folgende Grundbedingungen erfolgt: mittlere Schütthöhe der Deponie beträgt 30 m, die max. Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung beträgt 200 m, die geologische Barriere hat eine Mächtigkeit von 2 m, die Qualität der Basis- und Oberflächenabdeckung entspricht den Eigenschaften der TVA (O1, B1), die Eigenschaften für den Untergrund (geologische Barriere und Einbauschicht) entsprechen dem Standort 1 (G1) bzw. der Qualität 1 (E1) (vgl. Teil II, Kapitel 2.1 und 4.4). Die Betriebsdauer der Befüllung beträgt 30 Jahre.

Der maximale Emissionsgrenzwert in den Grundwasserleiter beträgt 102,5 g/(m<sup>2</sup>·a). Dieser Wert kann, unter Überlagerung der ungünstigen möglichen Bedingungen, nach einer Dauer

von 19,9 Jahren auftreten, d.h. noch innerhalb der Befüllphase (0 – 30 Jahre). Die Ursache dieses Emissionsgrenzwertes liegt in einer zu schwachen Stoffrückhaltung im Bereich der Basis der Deponie, verursacht durch eine zu hohe Durchlässigkeit bezogen auf die Randbedingungen des Standorts. Ein Einstau an Sickerwasser an der Deponiebasis tritt für dieses Beispiel innerhalb der Befüllphase nicht ein. Die Ergebnisse der Analyse zu den Stoffemissionen sind in Bild 2.1.1.1 dargestellt. Die obere Grenze beschreibt jeweils die Maximalwerte, die untere die Minimalwerte und eine Linie im Diagramm den Bereich mit der höchsten Wahrscheinlichkeit (siehe Teil I, Kapitel 3.1). Es ist jedoch für eine Bewertung eines Deponiestandortes unerheblich, ob und wann ein Emissionsgrenzzustand jemals erreicht wird. Das Ziel ist die Nachweisführung, dass für einen Standort die Zielwerte der Behörde auch unter Überlagerung der ungünstigen möglichen Bedingungen (Emissionsgrenzwerte niedrige Wahrscheinlichkeit) für beliebige Zeiträume dauerhaft unterschritten werden.

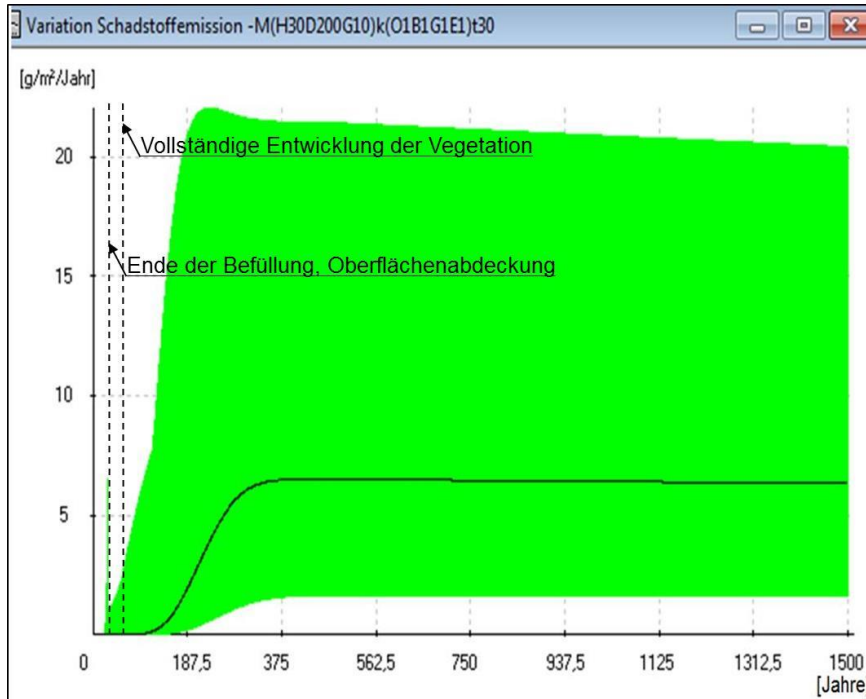


**Bild 2.1.1.1:** Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse für das Beispiel  $M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t30 - G1 = 2m$ .

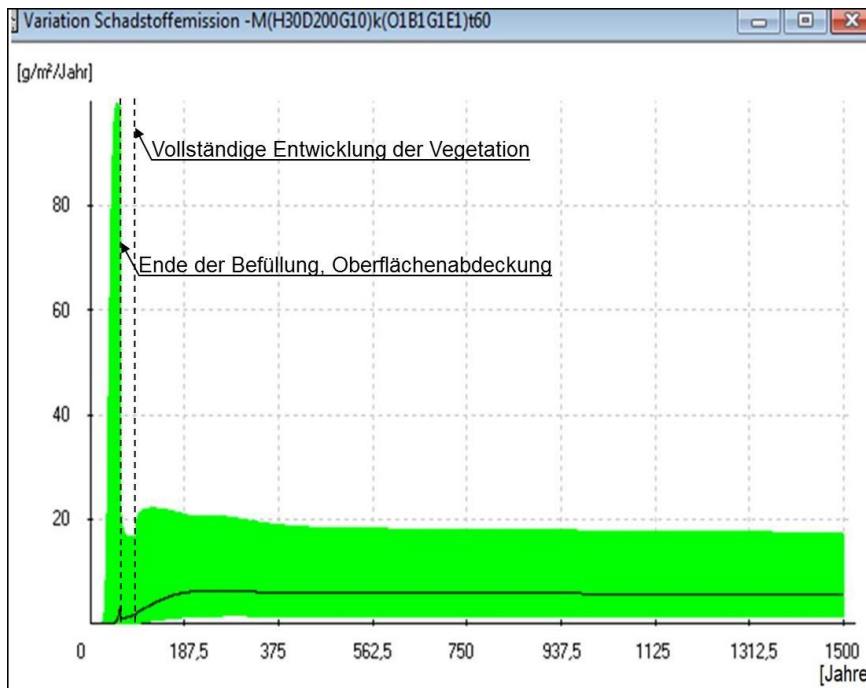
Eine Verbesserung lässt sich durch eine andere Standortwahl (Vergrößerung der Mächtigkeit der geologischen Barriere von 2 m auf 10 m) bewerkstelligen (siehe Bild 2.1.1.2). Dadurch lässt sich der maximale Emissionsgrenzwert auf  $22,0 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  verringern. Der Emissionsgrenzwert tritt nach etwa 230 Jahren auf. Jedoch ist hierbei zu berücksichtigen, dass eine Verlängerung des Betriebszustandes der Befüllung von 30 Jahren auf 60 Jahren wiederum eine Erhöhung des maximalen Emissionsgrenzwertes bewirkt.

Nach etwa 54 Jahren liegt der maximale Emissionsgrenzwert bei  $99,6 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , siehe Bild 2.1.1.3). Eine grundsätzliche Lösung ist nur durch eine Verringerung der Durchlässigkeit der Basis möglich (siehe hierzu Bild 2.1.1.5).

Eine Verbesserung nach Schließung der Deponie auf die Emissionen in der Folgezeit (Halbierung) kann durch eine Verwendung einer Oberflächenabdichtung mit geringerer Durchlässigkeit erzielt werden (siehe Qualität 2, Teil II, Kapitel 4.4), siehe Bild 2.1.1.4.

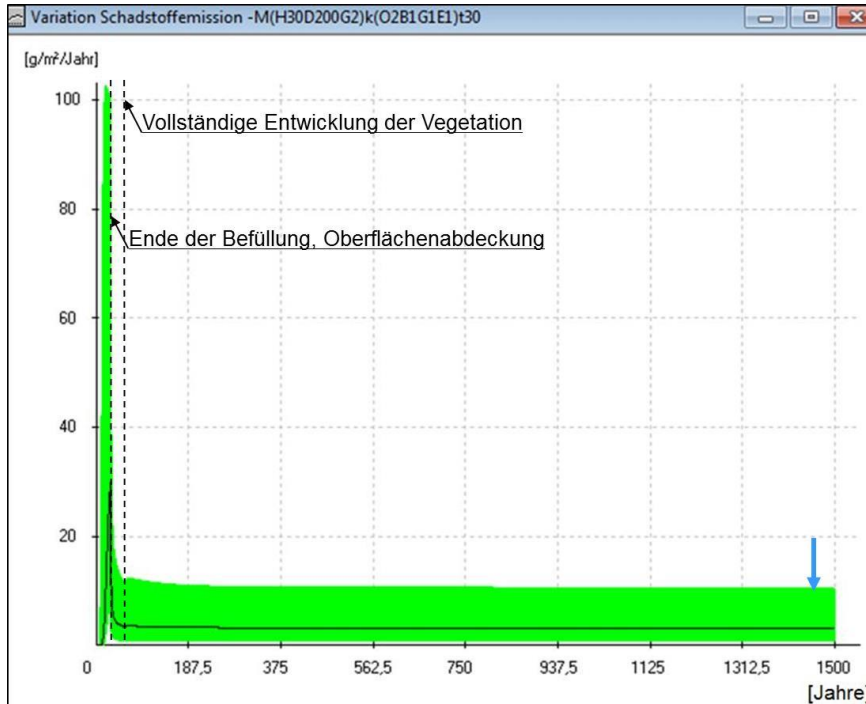


**Bild 2.1.1.2:** Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse für das Beispiel M(H30D200G10)k(O1B1G1E1)t30 – G1=10 m.



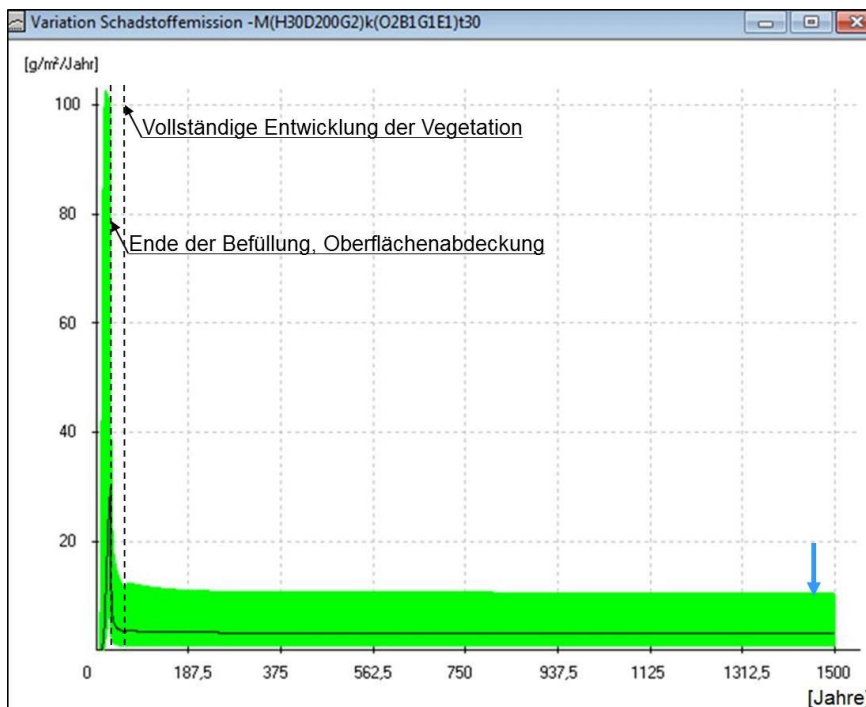
**Bild 2.1.1.3:** Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse für das Beispiel M(H30D200G10)k(O1B1G1E1)t60 – Betriebszustand Befüllung= 60Jahre.





**Bild 2.1.1.4:** Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse für das Beispiel M(H30D200G2)k(O2B1G1E1)t30 – Oberflächenabdichtung der Qualität 2.

Eine weitere Verbesserung für den Zustand der Befüllung kann durch eine Verwendung einer Basisabdichtung mit geringerer Durchlässigkeit erzielt werden (siehe Qualität 2, Teil II, Kapitel 4.4). Der maximale Emissionsgrenzwert in den Grundwasserleiter beträgt dann 21,3 g/(m<sup>2</sup>·a). Dieser Wert kann, unter Überlagerung der ungünstigen möglichen Bedingungen, nach einer Dauer von ca. 230 Jahren auftreten (vgl. Bild 2.1.1.5).

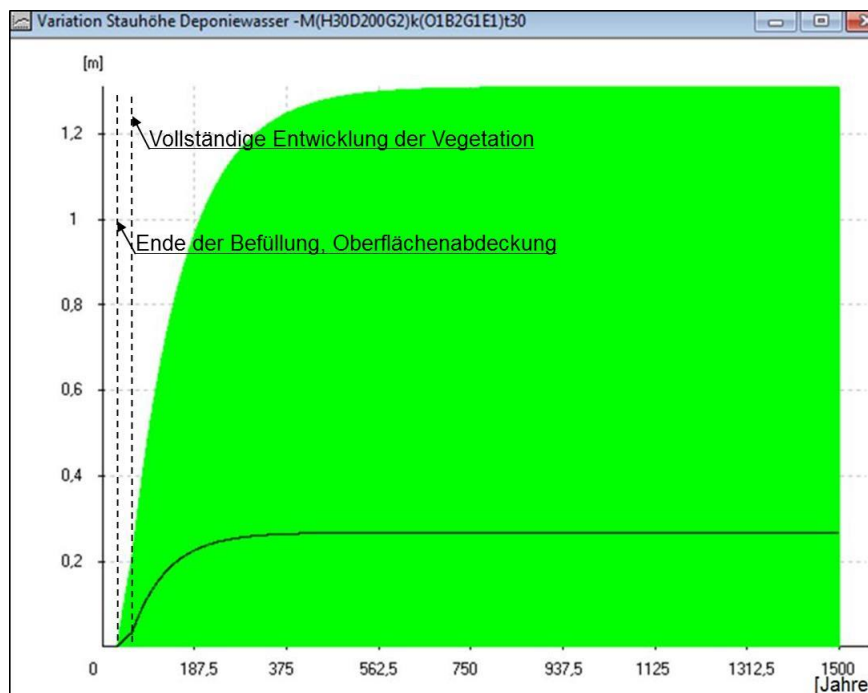


**Bild 2.1.1.5:** Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse für das Beispiel M(H30D200G2)k(O1B2G1E1)t30 - Basisabdichtung der Qualität 2.

Auffällig ist, dass es große Unterschiede in den Emissionsgrenzwerten zwischen den Qualitäten 1 und 2 der Basisabdichtung gibt (siehe Bilder 2.1.1.1 und 2.1.1.5). Die Ursache liegt in dem unterschiedlichen Verhalten im Zeitraum der Befüllung. In diesem Zeitraum wirkt die Basisabdichtung auch als Konvektionsdichtung. Das bedeutet, dass der Unterschied nur von dem höheren Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) von der Basisabdichtung der Qualität 1 (B1) verursacht wird. In diesem Zustand ist noch keine Oberflächenabdichtung aufgebracht.

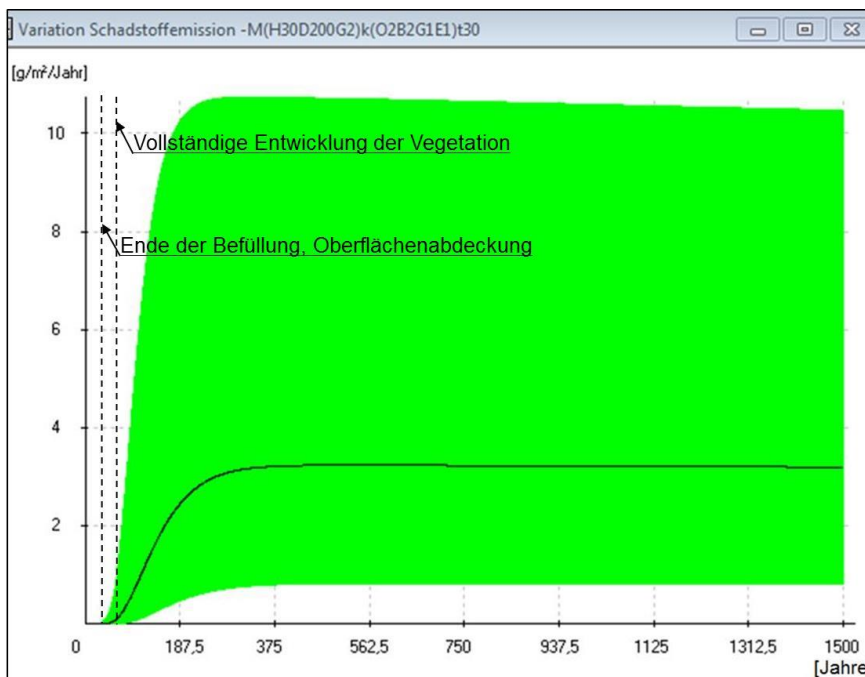
Dies wird durch die Beobachtung der Emissionsgrenzwerte im weiteren Verlauf bestätigt, weil der Wertebereich nach dem Betriebszustand der Befüllung wieder für beide Qualitäten (B1 und B2) übereinstimmt.

In dem Zeitraum nach dem Betriebszustand der Befüllung ist für beide Fälle (B1 und B2) ein Abfließen von Sickerwasser unterbunden. Das ist die Voraussetzung zur Wartungsfreiheit nach der Schließung (vgl. Teil II, Tabelle 4.2.1, Auslöseschwellen Vorfluter). Dies führt in der diskutierten Darstellung dazu, dass für die Basisabdichtung der Qualität 1 kein Einstau an der Basisabdichtung entstehen kann, wohl aber bei der Basisabdichtung der Qualität 2 mit einer geringeren Durchlässigkeit. Hierbei ist anzumerken, dass es sich ebenfalls um Grenzzustände, unter Überlagerung der ungünstigen möglichen Bedingungen handelt, die eintreten können, aber nicht eintreten müssen (Bild 2.1.1.6). Der maximal mögliche Einstau im Grenzzustand beträgt dabei 1,26 m.

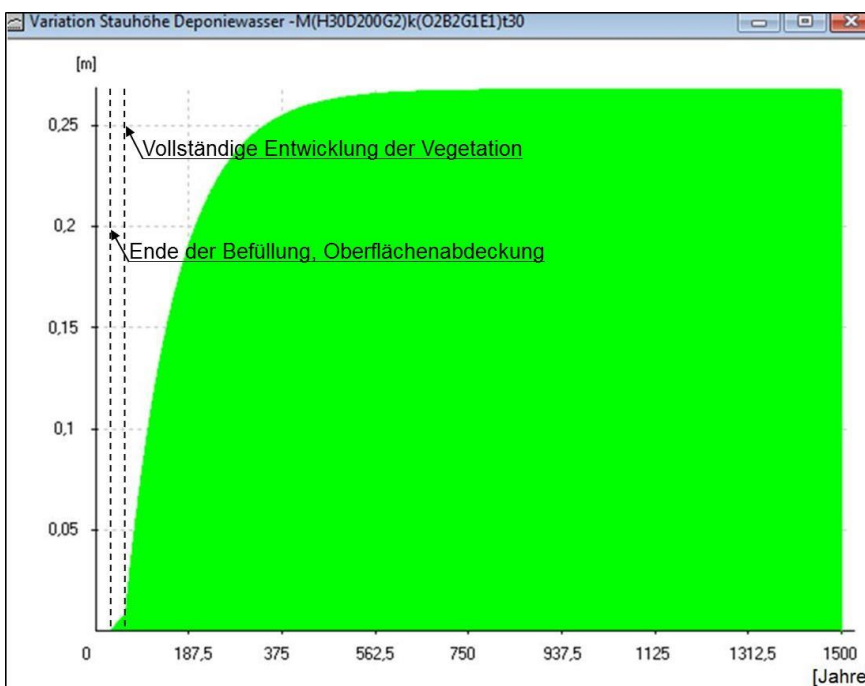


**Bild 2.1.1.6:** Ergebnis zu Stauhöhe Deponiewasser für das Beispiel  $M(H30D200G2)k(O1B2G1E1)t30$  = max. 1,26 m - Basisabdichtung der Qualität 2.

Einen Einstau könnte man eliminieren oder verkleinern, indem man die Durchlässigkeit der Oberflächenabdichtung, welche nach der Befüllung errichtet wird, entsprechend vermindert. Durch Aufbringung einer Oberflächenabdichtung der Qualität 2 (siehe Teil II, Kapitel 4.4) ergibt sich folgender Verlauf der Emissionsgrenzwerte (Bild 2.1.1.7). Die Emissionsgrenzwerte werden auf einen max. möglichen Betrag von  $10,74 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  halbiert und der mögliche Einstau auf der Deponiebasis wird auf 0,27 m verringert (Bild 2.1.1.8).



**Bild 2.1.1.7:** Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse für das Beispiel M(H30D200G2)k(O2B2G1E1)t30 - Oberflächenabdichtung der Qualität 2.



**Bild 2.1.1.8:** Ergebnis zu Stauhöhe Deponiewasser für das Beispiel M(H30D200G2)k(O2B2G1E1)t30 = max. 27 cm - Oberflächenabdichtung der Qualität 2.

Die Einzelkombinationen, die exemplarisch abgehandelt wurden, zeigen die grundsätzlichen Zusammenhänge. In den nachfolgenden Kapiteln wird dargestellt, wie sich für das Anwendungsbeispiel die Einflussgrößen auf die Zielwerte auswirken. Die Zahlenwerte der Frachten und Emissionen sind Ergebnisse der Emissionsgrenzwertanalysen.

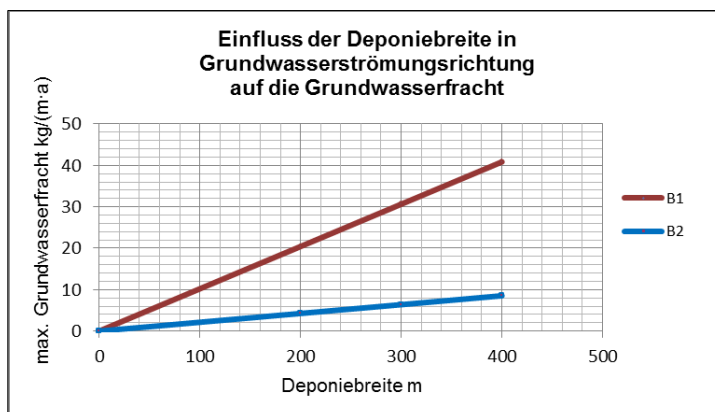
## 2.2 Einfluss der Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung auf die Grundwasserfracht

Die Auswertung für das Anwendungsbeispiel ist für folgende Grundbedingungen erfolgt (Tabelle 2.2.1 und Bild 2.2.1): mittlere Schütthöhe der Deponie beträgt 30 m, die geologische Barriere hat eine Mächtigkeit von 2 m, die Qualität der Oberflächenabdeckung entspricht den Eigenschaften der TVA (O1), die Eigenschaften für den Untergrund (geologische Barriere und Einbauschicht) entsprechen dem Standort 1 (G1) bzw. der Qualität 1 (E1) (vgl. Teil II, Kapitel 2.2 - Standortgeologie und 4.1 - Sicherungssysteme). Die Betriebsdauer der Befüllung beträgt 30 Jahre.

**Tabelle 2.2.1: Einfluss der Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung D, dargestellt für die Qualitäten 1 und 2 der Basisabdichtung.**

H=30 m; G1=2 m; O1; E1	B1	B2
max. Deponiebreite D	Fracht B1	Fracht B2
m	kg/(m·a)	kg/(m·a)
0	0	0
200	20,432	4,2625
300	30,647	6,3938
400	40,862	8,525

Die Auswertung zeigt, dass mit zunehmender Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung die max. Grundwasserbelastung zunimmt (vgl. Teil I, Kapitel 4). Die aus dem Deponiekörper in den GWL eingetragenen Inhaltstoffe summieren sich unter dem Deponiekörper über die Fließlänge in Grundwasserströmungsrichtung auf.



**Bild 2.2.1: Einfluss der Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung D auf die maximale Grundwasserfracht.**

Die Kombinationen der Tabelle 2.2.2 wurden ausgewertet.

**Tabelle 2.2.2: Ausgewertete Kombinationen des Anwendungsbeispiels.**

Nr.	Kombination
1	M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t30
2	M(H30D300G2)k(O1B1G1E1)t30
3	M(H30D400G2)k(O1B1G1E1)t30
4	M(H30D200G2)k(O1B2G1E1)t30
5	M(H30D300G2)k(O1B2G1E1)t30
6	M(H30D400G2)k(O1B2G1E1)t30

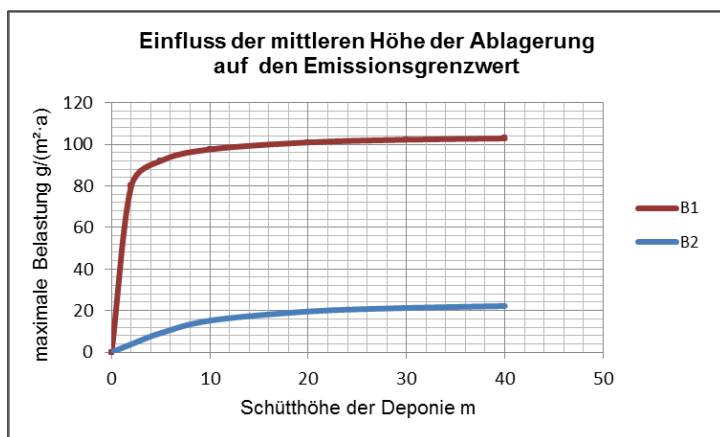
## 2.3 Einfluss der mittleren Schütthöhe der Deponie auf den Emissionsgrenzwert

Die Auswertung für das Anwendungsbeispiel ist für folgende Grundbedingungen erfolgt (Tabelle 2.3.1 und Bild 2.3.1): die max. Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung

beträgt 200 m, die geologische Barriere hat eine Mächtigkeit von 2 m, die Qualität der Oberflächenabdeckung entspricht den Eigenschaften der TVA (O1), die Eigenschaften für den Untergrund (geologische Barriere und Einbauschicht) entsprechen dem Standort 1 (G1) bzw. der Qualität 1 (E1) (vgl. Teil II, Kapitel 2 und 4). Die Betriebsdauer der Befüllung beträgt 30 Jahre.

**Tabelle 2.3.1: Einfluss der mittleren Schütthöhe der Deponie auf die maximale Belastung im Grundwasserleiter (GWL), dargestellt für die Qualitäten 1 und 2 der Basisabdichtung.**

D=200 m; G1=2 m; O1; E1	B1	B2
mittlere Höhe H	Emission B1	Emission B2
m	g/(m <sup>2</sup> ·a)	g/(m <sup>2</sup> ·a)
0	0	0
2	79,912	3,8694
5	92,02	9,2247
10	97,54	15,243
20	100,9	19,596
30	102,2	21,313
40	102,8	22,229



**Bild 2.3.1: Einfluss der mittleren Schütthöhe der Deponie auf die maximale Belastung im Grundwasserleiter (GWL).**

Das Deponievolumen beeinflusst die Dauer und den Verlauf der Emissionsgrenzwerte. Grundsätzlich vergrößert sich der Emissionszeitraum mit wachsender Größe des Volumens (Größe der Emissionsquelle). Die Kombinationen der Tabelle 2.3.2 wurden ausgewertet.

**Tabelle 2.3.2: Ausgewertete Kombinationen des Anwendungsbeispiels.**

Nr.	Kombination
1	M(H5D200G2)k(O1B1G1E1)t30
2	M(H10D200G2)k(O1B1G1E1)t30
3	M(H20D200G2)k(O1B1G1E1)t30
4	M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t30
5	M(H40D200G2)k(O1B1G1E1)t30
6	M(H5D200G2)k(O1B2G1E1)t30
7	M(H10D200G2)k(O1B2G1E1)t30
8	M(H20D200G2)k(O1B2G1E1)t30
9	M(H30D200G2)k(O1B2G1E1)t30
10	M(H40D200G2)k(O1B2G1E1)t30

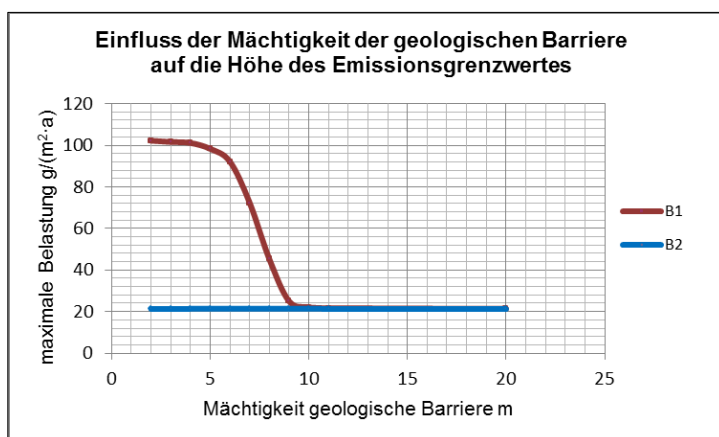
### 2.4 Einfluss der Mächtigkeit der geologischen Barriere auf den Emissionsgrenzwert

Die Auswertung für das Anwendungsbeispiel ist für folgende Grundbedingungen erfolgt (Tabelle 2.4.1 und Bild 2.4.1): die max. Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung beträgt 200 m, die mittlere Schütthöhe der Deponie beträgt 30 m, die Qualität der Oberflächenabdeckung entspricht den Eigenschaften der TVA (O1), die Eigenschaften für den Untergrund (geologische Barriere und Einbauschicht) entsprechen dem Standort 1 (G1) bzw. der Qualität 1 (E1) (vgl. Teil II, Kapitel 2.1 und 4.4). Die Betriebsdauer der Befüllung beträgt 30 Jahre. Das Bild 2.4.2 zeigt Einfluss der Mächtigkeit der geologischen Barriere auf den Zeitpunkt der max. Grundwasserfracht für die beiden Qualitäten der Basisabdichtung.

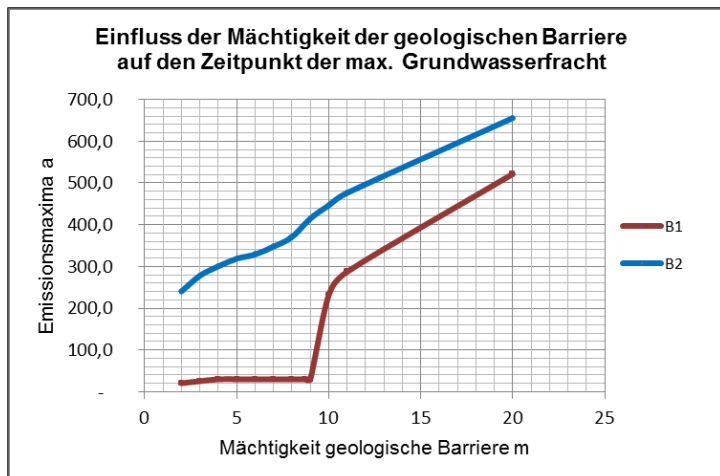
Die Auswertung zeigt, dass für eine Befülldauer von 30 Jahren, die geologische Barriere in der Lage ist, für eine gewisse Zeitdauer, die Auswirkung einer Emission abzumildern und im Grenzfall aufzufangen, falls die Basisabdichtung eine zu hohe Durchlässigkeit aufweist. Deshalb ist es erforderlich, die Eigenschaften der Basisabdichtung auf den Standort abzustimmen.

**Tabelle 2.4.1: Einfluss der Mächtigkeit der geologischen Barriere, dargestellt für die Qualitäten 1 und 2 der Basisabdichtung, Betriebszustand der Befülldauer 30 Jahre.**

H=30 m; D=200 m; O1; E1	B1	B2	B1	B2
Mächtigkeit geol. Barriere G1	Emission B1	Emission B2	Emissionsmaxima	Emissionsmaxima
m	g/(m <sup>2</sup> ·a)	g/(m <sup>2</sup> ·a)	a	a
2	102,2	21,313	20,6	240,4
3	101,6	21,339	25,5	277,9
4	101,1	21,367	30,0	300,4
5	98,3	21,391	30,0	318,8
6	92,1	21,403	30,0	328,9
7	72,3	21,395	30,0	347,6
8	45,2	21,359	30,0	370,5
9	25,0	21,359	30,0	414,8
10	22,1	21,359	231,4	446,3
11	21,69	21,348	287,3	476,3
20	21,39	21,237	521,6	655,5



**Bild 2.4.1: Einfluss der Mächtigkeit der geologischen Barriere auf den max. Emissionsgrenzwert, Betriebszustand der Befülldauer 30 Jahre.**

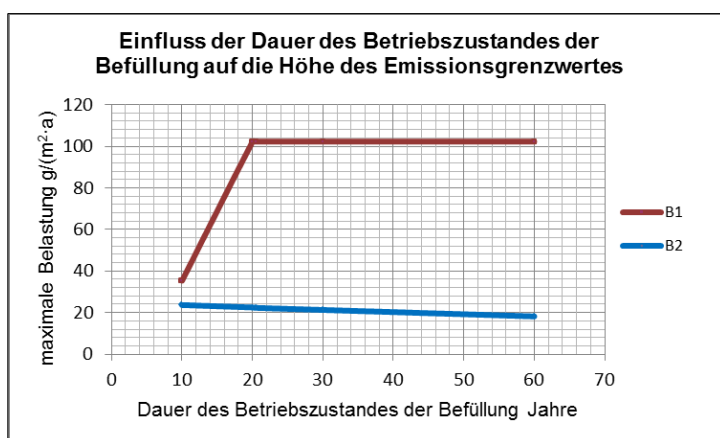


**Bild 2.4.2:** Einfluss der Mächtigkeit der geologischen Barriere auf den Zeitpunkt der maximalen Emissionsgrenzwerte, Betriebszustand der Befülldauer 30 Jahre.

Die Tabelle 2.4.2 und die Bilder 2.4.3 und 2.4.4 zeigen die Auswirkung der Änderung der Dauer für die Befüllung, betrachtet wurden zusätzlich Zustände von 10 Jahren, 20 Jahren und 60 Jahren. Die Einstellungen für die geologische Barriere wurden mit 2 Meter beibehalten. Die geologische Barriere ist in ihrer Wirkung mit einem Sorptionsfilter zu vergleichen. Bis zu einer gewissen Rückhaltekapazität besteht eine Wirkung, die aber nach der Erschöpfung des Sorptionsfilters in kurzer Zeit die Emissionen ansteigen lässt. Dies wird im Unterschied zwischen einer 10- oder 20-jährigen Betriebsdauer sichtbar.

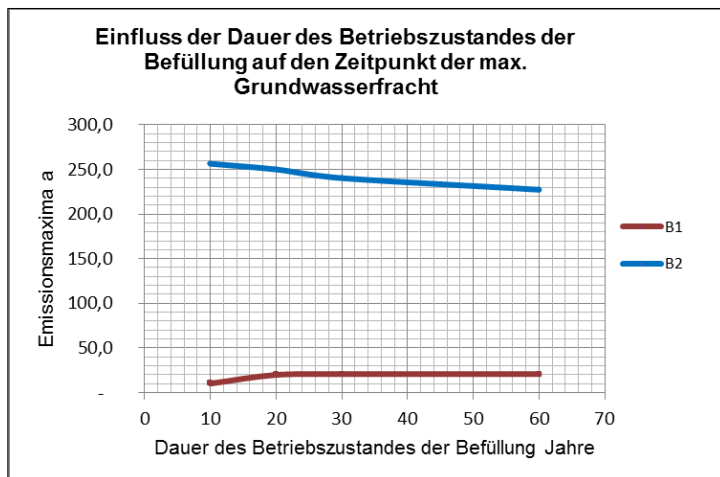
**Tabelle 2.4.2:** Einfluss der Dauer des Betriebszustandes der Befüllung auf den maximalen Emissionsgrenzwert bei einer geologischen Barriere von 2 m (G1=2 m).

H=30 m; D=200 m; G1=2 m; O1; E1	B1	B2	B1	B2
Betriebsdauer	Emission B2	Emission B2	Emissionsmaxima	Emissionsmaxima
Jahre	g/(m <sup>2</sup> ·a)	g/(m <sup>2</sup> ·a)	a	a
10	35,389	23,668	10,1	256,5
20	102,1	22,481	19,9	250,1
30	102,2	21,313	20,6	240,4
60	102,2	18,194	20,6	227,4



**Bild 2.4.3:** Einfluss der Dauer des Betriebszustandes der Befüllung auf den Emissionsgrenzwert bei einer geologischen Barriere von 2 m (G1=2 m).

Die maximale Belastung im GWL bei Einbau einer Basisabdichtung der Qualität 1 tritt zum Zeitpunkt der Befüllung auf. Für die Basisabdichtung der Qualität 2 jedoch erst nach der Schließung der Deponie (siehe Bild 2.4.4). Bei einer standortspezifisch bemessenen Oberflächenabdichtung können in der Folgezeit die negativen Auswirkungen einer ungeeigneten Basisabdichtung geheilt werden (vgl. Bilder 2.1.1.1 und 2.1.1.4).



**Bild 2.4.4:** Einfluss der Dauer des Betriebszustandes der Befüllung auf den Zeitpunkt der maximalen Emissionsgrenzwerte (G1=2 m).

Das unterschiedliche Verhalten in Bild 2.4.4 in Bezug auf den Zeitpunkt der maximalen Emissionsgrenzwerte hängt mit dem Rückhaltepotential der Basis und des Untergrundes zusammen. Ob an Standorten in der Schweiz, die anfangs der 90er Jahre an der Basis mit einer TVA-konformen Sicherung abgedichtet wurden (vergleichbar B1), gegenwärtig Auslöseschwellenwerte überschritten werden, hängt von den Randbedingungen des Standortes bzw. ökologischen Vorgaben für den Standort ab. Ein Rückschluss auf beliebige Standorte aus Bild 2.4.4 ist nicht möglich, das kann nur mit einer Emissionsgrenzwertanalyse mit den Daten des Standortes erfolgen.

Es wurden die Kombinationen der Tabelle 2.4.3 ausgewertet.

**Tabelle 2.4.3: Ausgewertete Kombinationen des Anwendungsbeispiels.**

Nr.	Kombination
1	M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t30
2	M(H30D200G3)k(O1B1G1E1)t30
3	M(H30D200G4)k(O1B1G1E1)t30
4	M(H30D200G5)k(O1B1G1E1)t30
5	M(H30D200G6)k(O1B1G1E1)t30
6	M(H30D200G7)k(O1B1G1E1)t30
7	M(H30D200G10)k(O1B1G1E1)t30
8	M(H30D200G11)k(O1B1G1E1)t30
9	M(H30D200G20)k(O1B1G1E1)t30
10	M(H30D200G2)k(O1B2G1E1)t30
11	M(H30D200G3)k(O1B2G1E1)t30
12	M(H30D200G4)k(O1B2G1E1)t30
13	M(H30D200G5)k(O1B2G1E1)t30
14	M(H30D200G6)k(O1B2G1E1)t30
15	M(H30D200G7)k(O1B2G1E1)t30
16	M(H30D200G10)k(O1B2G1E1)t30
17	M(H30D200G11)k(O1B2G1E1)t30
18	M(H30D200G20)k(O1B2G1E1)t30



19	M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t10
20	M(H30D200G2)k(O1B2G1E1)t10
21	M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t20
22	M(H30D200G2)k(O1B2G1E1)t20
23	M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t60
24	M(H30D200G2)k(O1B2G1E1)t60

### 2.5 Einfluss der Art des Untergrundes (geologische Barriere und Einbauschicht) auf den Emissionsgrenzwert

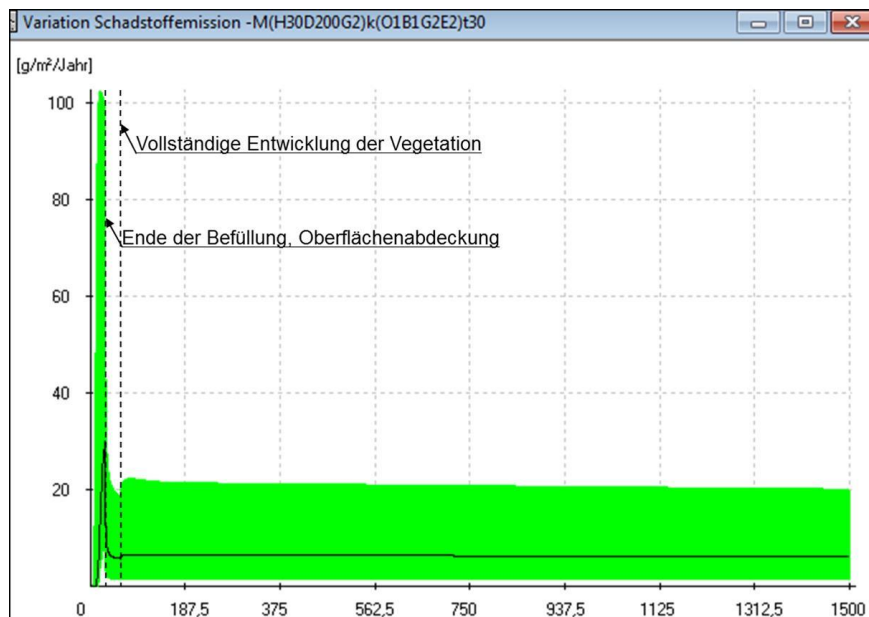
Die Vorgaben nach TVA für die Bedingungen des Untergrundes, für den Standort einer KVA-Schlacke Deponie, lauten: „2 m mächtige, weitgehend homogene, natürliche geologische Barriere mit einem mittleren  $k$  von  $1,0 \times 10^{-7}$  m/s, ergänzt durch eine lagenweise geschüttete, homogene, mineralische Einbauschicht, Schichtstärke 60 cm, mit einem mittleren  $k$  von  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s“. Die Einbauschicht ist bei allen Berechnungen als eigenständige Schicht im Gesamtsystem Untergrund Abdichtung berücksichtigt. Die Emissionsgrenzwertanalysen wurden zudem für den Standort 2 (vgl. Teil II, Kapitel 2.1) gerechnet und für eine Einbauschicht der Qualität 2, welche den Eigenschaften der geologischen Barriere von Standort 2 entspricht (vgl. Teil II, Kapitel 2.2).

Die Auswertung für das Anwendungsbeispiel ist für folgende Grundbedingungen erfolgt (Tabelle 2.5.1): die max. Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung beträgt 200 m, die mittlere Schütthöhe der Deponie beträgt 30 m, die Mächtigkeit der geologischen Barriere beträgt 2 m, die Qualität der Oberflächenabdeckung entspricht den Eigenschaften der TVA (O1). Die Betriebsdauer der Befüllung beträgt 30 Jahre.

**Tabelle 2.5.1: Einfluss der Art des Untergrundes (geologische Barriere und Einbauschicht) auf den Emissionsgrenzwert.**

H=30 m; D=200 m; G1, G2=2 m; O1; E1; E2	G1E1	G2E1	G2E2
Qualität der Basisabdichtung	Emission	Emission	Emission
	g/(m <sup>2</sup> ·a)	g/(m <sup>2</sup> ·a)	g/(m <sup>2</sup> ·a)
B1	102,2	102,5	102,6
B2	21,3	21,3	21,3
	Emissionsmaxima	Emissionsmaxima	Emissionsmaxima
	a	a	a
B1	20,6	19,9	19,1
B2	240,4	230,3	218,3

Der Standort, der in der Kombination an der Basis die höchste Durchlässigkeit aufweist, ist M(H30D200G2)k(O1B1G2E2)t30. Das Bild 2.5.1 zeigt den Verlauf der Emissionsgrenzwerte.



**Bild 2.5.1:** Einfluss der Art des Untergrundes (geologische Barriere und Einbauschicht) auf den Emissionsgrenzwert für die Kombination M(H30D200G2)k(O1B1G2E2)t30.

Die Auswertung zeigt, dass das Emissionsverhalten über die Nutzungszeit der Deponie von der Qualität der Basis- und Oberflächenabdichtung bestimmt wird. Der Untergrund des Deponiestandortes (geologische Barriere und Einbauschicht) beeinflusst in seiner Gesamtmächtigkeit und damit einhergehend in der Erhöhung der Sorptionskapazität (siehe Tabelle 2.4.1) die maximale Belastung im Grundwasser bzw. den Zeitpunkt der max. Grundwasserfracht. Die Qualität im Hinblick auf die Stoffeigenschaften (Durchlässigkeit) der Einbauschicht spielt dabei keine Rolle. Die Kombinationen der Tabelle 2.5.2 wurden ausgewertet.

**Tabelle 2.5.2:** Ausgewertete Kombinationen des Anwendungsbeispiels.

Nr.	Kombination
1	M(H30D200G2)k(O1B1G2E1)t30
2	M(H30D200G2)k(O1B2G2E1)t30
3	M(H30D200G2)k(O1B1G2E2)t30
4	M(H30D200G2)k(O1B2G2E2)t30

## 2.6 Einfluss der Ergiebigkeit des Grundwasserstroms auf die Belastung des GWL

Die Auswertung für das Anwendungsbeispiel ist für folgende Grundbedingungen erfolgt (Tabelle 2.6.1 für die Basisabdichtung der Qualität 1 und Tabelle 2.6.2 für die Qualität 2): die max. Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung beträgt 200 m, die mittlere Schütthöhe der Deponie beträgt 30 m, die Mächtigkeit der geologischen Barriere beträgt 2 m, die Qualität der Oberflächenabdeckung entspricht den Eigenschaften der TVA (O1), die Eigenschaften für den Untergrund entsprechen dem Standort 1 (G1) bzw. der Qualität 1 (E1) (vgl. Teil II, Kapitel 2.1 und 4.4). Die Betriebsdauer der Befüllung beträgt 30 Jahre.

**Tabelle 2.6.1: Einfluss der Ergiebigkeit des Grundwasserstroms auf die Belastung des GWL, Basisabdichtung der Qualität 1, Auslöseschwelle Au und üB.**

H=30 m; D=200 m; G1=2 m; O1; B1; E1	Belastung	Belastung	Auslösefracht Au =20 mg/l	Auslösefracht üB = 80 mg/l
Grundwasserstrom	GWL Fracht	GWL	GWL Sulfat	GWL Sulfat
m <sup>3</sup> /(m·a)	kg/(m·a)	mg/l	kg/(m·a)	kg/(m·a)
50	20,432	408,6	1	4
100	20,432	204,3	2	8
200	20,432	102,2	4	16
300	20,432	68,1	6	24
400	20,432	51,1	8	32
450	20,432	45,4	9	36
500	20,432	40,9	10	40
550	20,432	37,1	11	44

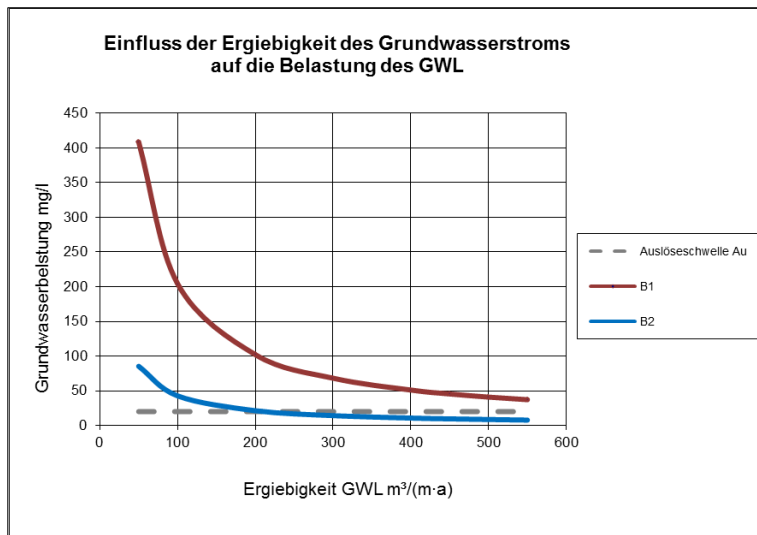
**Tabelle 2.6.2: Einfluss der Ergiebigkeit des Grundwasserstroms auf die Belastung des GWL, Basisabdichtung der Qualität 2, Auslöseschwelle Au und üB.**

H=30 m; D=200 m; G1=2 m; O1; B2; E1	Belastung	Belastung	Auslösefracht Au=20 mg/l	Auslösefracht üB = 80 mg/l
Grundwasserstrom	GWL Fracht	GWL	GWL Sulfat	GWL Sulfat
m <sup>3</sup> /(m·a)	kg/(m·a)	mg/l	kg/(m·a)	kg/(m·a)
50	4,2625	85,3	1	4
100	4,2625	42,6	2	8
200	4,2625	21,3	4	16
300	4,2625	14,2	6	24
400	4,2625	10,7	8	32
450	4,2625	9,5	9	36
500	4,2625	8,5	10	40
550	4,2625	7,8	11	44

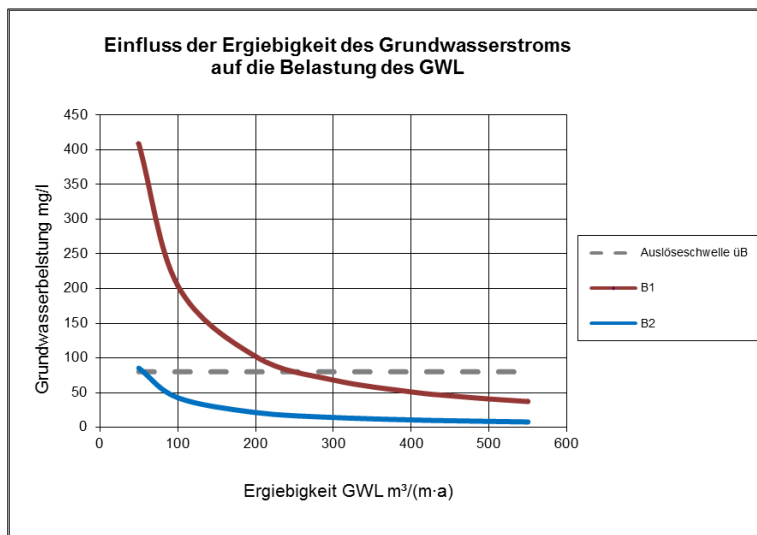
Bei der Auswertung kann man erkennen, dass mit zunehmender Ergiebigkeit des Grundwasserstroms die spezifische Belastung im GWL abnimmt.

Gilt gemäß Gewässerschutzverordnung (GSchV) der Gewässerschutzbereich Au (vgl. Bild 2.6.1) mit 20 mg/l für Sulfat, so kann für eine Basisabdichtung der Qualität 1 zu keiner Bedingung die Zielvorgabe der Behörde eingehalten werden. Für eine Basisabdichtung der Qualität 2 kann ab einer Ergiebigkeit von 200 m<sup>3</sup>/(m·a) die Zielvorgabe der Behörde eingehalten werden.

Gilt der Gewässerschutzbereich üB (vgl. 2.6.2), 80 mg/l für Sulfat, so kann für eine Basisabdichtung der Qualität 1 ab einer Ergiebigkeit von 250 m<sup>3</sup>/(m·a) die Zielvorgabe der Behörde eingehalten werden. Für eine Basisabdichtung der Qualität 2 kann zu allen Bedingungen die Zielvorgabe der Behörde eingehalten werden.



**Bild 2.6.1:** Einfluss der Ergiebigkeit des Grundwasserstroms auf die Belastung des GWL, Basisabdichtung der Qualitäten 1 und 2 und Berücksichtigung der Auslöseschwelle Au.



**Bild 2.6.2:** Einfluss der Ergiebigkeit des Grundwasserstroms auf die Belastung des GWL, Basisabdichtung der Qualitäten 1 und 2 und Berücksichtigung der Auslöseschwelle üB.

### 3. Bedeutung der Bewertung von Deponiestandorten gemäß dem Prinzip Nachsorge vs. dem Prinzip Vorsorge

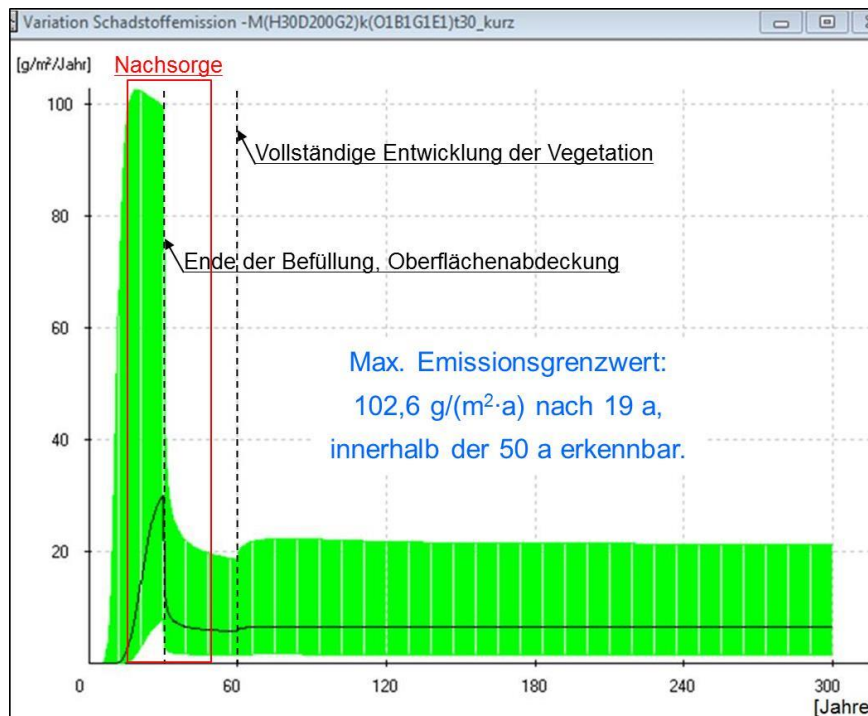
Nach revidierter TVA soll für KVA-Schlacke Deponien eine Nachsorgedauer von 50 Jahren gelten, welche gekürzt werden kann, wenn keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf die Umwelt mehr zu erwarten sind. Sie hat jedoch mindestens 15 Jahre zu erfolgen. In dieser Zeit sind gemäß dem Prinzip der Nachsorge regelmäßig Kontrollen und Wartungsarbeiten zur Gefahrenabwehr durchzuführen.

Das Bild 3.1 soll darstellen, dass es für das Anwendungsbeispiel mit der Kombination M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t30\_kurz möglich ist, gemäß dem Prinzip der Gefahrenabwehr im Rahmen der Nachsorge erkennen zu können, ob nach 50 Jahren noch schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf die Umwelt zu erwarten sind. Der Grund hierfür liegt in der nicht

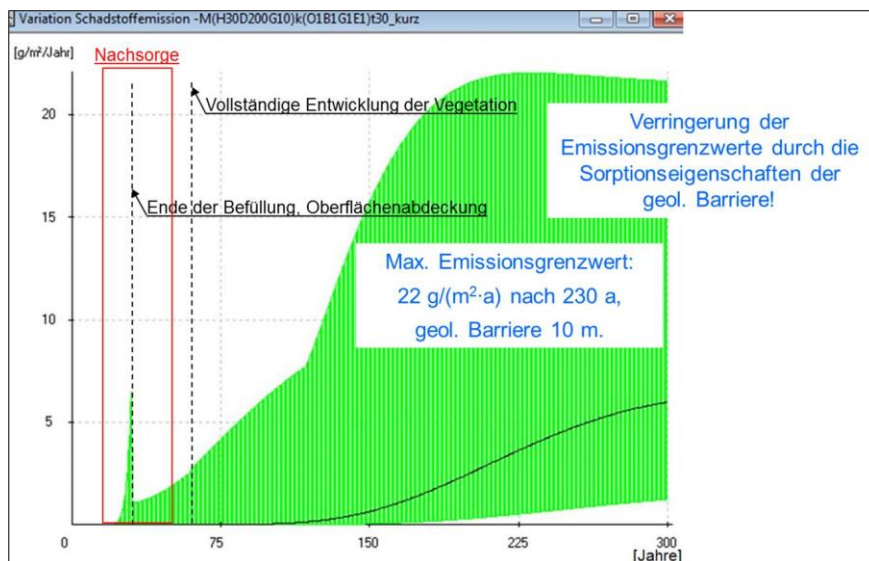
durchgeführten Bemessung zur Ermittlung der erforderlichen Eigenschaften der Basisabdichtung für den Deponiestandort.

Die Grundbedingungen der Kombination sind: mittlere Schütthöhe der Deponie beträgt 30 m, die max. Deponiebreite in Grundwasserströmungsrichtung beträgt 200 m, die geologische Barriere hat eine Mächtigkeit von 2 m, die Qualität der Basis- und Oberflächenabdeckung entspricht den Eigenschaften der TVA (B1, O1), die Eigenschaften für den Untergrund (geologische Barriere und Einbauschicht) entsprechen dem Standort 1 (G1) bzw. der Qualität 1 (E1) (vgl. Teil II, Kapitel 2.1 und 4.4). Die Betriebsdauer der Befüllung beträgt 30 Jahre. Der Analysenzeitraum wurde zur besseren Darstellung auf 300 Jahre verkürzt. Dabei tritt die max. Grenzemission nach ca. 19 Jahren nach Befüllbeginn ein.

Für einen Standort mit einer geologischen Barriere der Mächtigkeit 10 m (Kombination: M(H30D200G10)k(O1B1G1E1)t30\_kurz) kann auf Grundlage des Prinzips der Nachsorge von der Behörde keine Entscheidung getroffen werden. Eine max. Grenzemission tritt erst nach einem Zeitraum von 250 Jahren ein, also 220 Jahre nach Schließung der Deponie (Bild 3.2). Ein Vergleich alleine auf Basis von Messungen mit den Zielwerten der Behörde zur Erfüllung der Bedingungen für eine Entlassung aus der Nachsorge ist nicht möglich. Hier ist das Prinzip der Vorsorge anzuwenden. Bereits in der Planungsphase sind die max. Emissionsgrenzwerte als Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse bekannt.



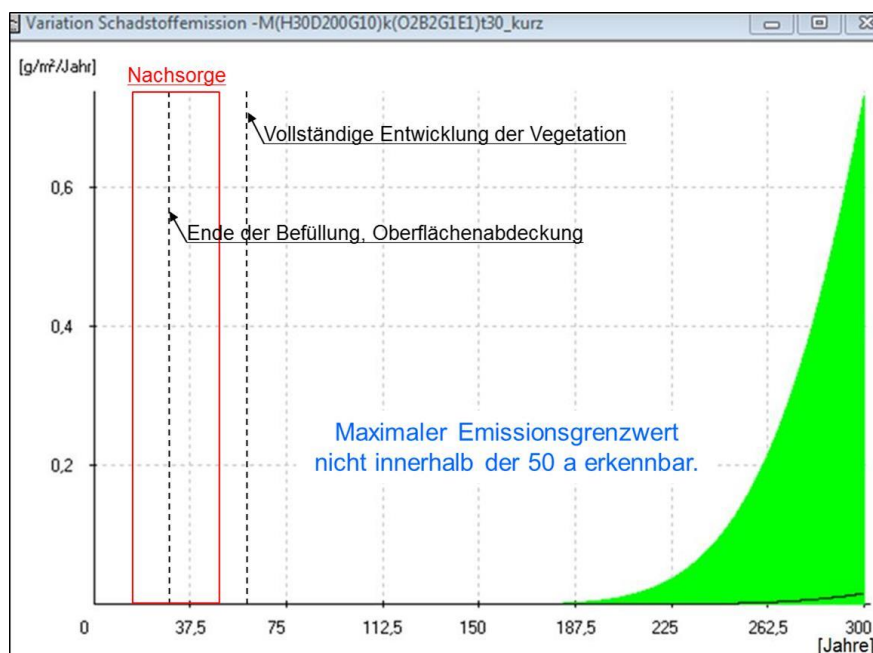
**Bild 3.1:** Anwendung des Prinzips der Nachsorge (Kontrolle und Wartung) zur Entlassung einer Deponie aus der Nachsorge für die Variation M(H30D200G2)k(O1B1G1E1)t30\_kurz, Mächtigkeit der geol. Barriere 2 m, Analysenzeitraum 300 Jahre.



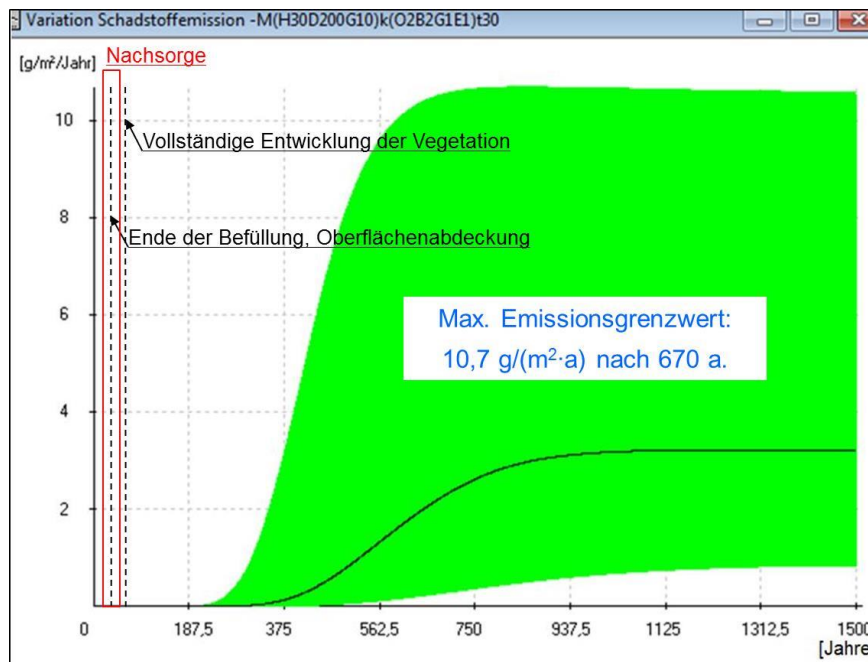
**Bild 3.2:** Anwendung des Prinzips der Nachsorge (Kontrolle und Wartung) zur Entlassung einer Deponie aus der Nachsorge für die Variation M(H30D200G10)k(O1B1G1E1)t30\_kurz, Mächtigkeit der geol. Barriere 10 m, Analysenzeitraum 300 Jahre.

Noch deutlicher wird die Anwendung des Prinzips der Vorsorge für die Kombination gemäß Bild 3.3 (M(H30D200G10)k(O2B2G1E1)t30\_kurz. Hierbei wurde wiederum eine geol. Barriere mit einer Mächtigkeit von 10 m berücksichtigt und eine Basis- sowie Oberflächenabdeckung der Qualität 2. Die anderen Grundbedingungen entsprechen den vorangegangenen Beispielen. Bei einem Analysenzeitraum von 300 Jahren kann der maximale Emissionsgrenzwert nicht erkannt werden, wie der Vergleich mit dem Bild 3.4 (Analysenzeitraum 1.500 Jahre) zeigt. Der max. Emissionsgrenzwert von 10,7 g/(m²·a) tritt nach 670 Jahren auf.

Die Voraussetzung zur Entlassung aus der Nachsorge besteht in der Erfassung der max. Emissionsgrenzwerte, welche mit den Vorgaben der Behörde zu vergleichen sind.



**Bild 3.3:** Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse für die Variation M(H30D200G10)k(O2B2G1E1)t30\_kurz, Analysenzeitraum 300 Jahre.



**Bild 3.4:** Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse für die Variation M(H30D200G10)k(O2B2G1E1)t30, Analysenzeitraum 1.500 Jahre.

#### 4. Zusammenfassung

Bei der Bewertung von Deponiestandorten fehlt bislang die Verknüpfung zwischen der ökologischen Forderung der Behörde (Einhaltung der Auslöseschwellen) und dem Wirkungsnachweis der geplanten Deponiesicherung mit den Daten des Standortes. Dieses Vorgehen folgt dem Prinzip der Vorsorge unter Berücksichtigung der Wechselwirkung der zukünftigen Deponie und der infrage kommenden Deponiestandorte. Dabei spielt die Beurteilung der Standsicherheit zusammen mit der Emissionssicherheit über die Nutzungszeit der Deponie, welche die Betriebsphase und den Zustand nach der Schließung inkl. der Nachsorgedauer umfasst, eine entscheidende Rolle. Eine Anleitung für eine Sicherung von Deponien, die alle Standorte umfasst, ist auf Basis einer Verordnung nicht möglich, weil die Vielzahl von Einflussgrößen, die die Emissionsgrenzwerte beeinflussen, nicht allgemein definiert werden können. Deshalb sollte man sich in einer Verordnung auf die Formulierung von Zielwerten konzentrieren, z.B. Auslöseschwellenwerte, Mindestabstand von Deponiesohle zum Grundwasser, maximale Betriebsdauer und Vermeidung von Sickerwasseraustritten nach der Schließung einer Deponie. Die Rückhalteigenschaften der Deponiesicherungssysteme müssen, wie die vorangegangenen Darstellungen zeigen, über sehr lange Zeiträume erhalten bleiben. Deshalb kommt der Materialauswahl für die Dichtungssysteme und deren Schutz vor äußeren Einflüssen eine entscheidende Bedeutung zu. Hierzu müssen hohe Qualitätsstandards vorgegeben werden. Zu beachten ist, dass lediglich solche technischen Maßnahmen zum Einsatz kommen sollten, die nach einer Schließung keiner Wartung bedürfen. Das Alterungsverhalten von z.B. Drainagesystemen muss grundsätzlich berücksichtigt werden.

Mit einem diskutierten Nachsorgezeitraum von 15 bis 50 Jahren kann keine belastbare Bewertung von Deponiestandorten auf Grundlage von punktuellen Messungen der Grundwasserbelastung, die dem Prinzip der Gefahrenabwehr folgen, erfolgen. Wie aus den Beispielen hervorgeht, können die maximalen Emissionsgrenzwerte in einem Zeitraum von ~25 bis > 300 Jahren auftreten. Das Anwendungsbeispiel zeigt, dass die Kontrolle einer Deponiesicherungsmaßnahme, um rechtzeitig eine Gefahr für das Schutzgut Grundwasser erkennen zu können, nur maximale Emissionsgrenzwerte erfasst, wenn die Qualität der

Beschaffenheit der Basis- bzw. Oberflächensicherung für den betrachteten Standort unzureichend ist. Dagegen ist ein Nachweis der Eignung und Wirksamkeit für bemessene Sicherungssysteme aus punktuellen Messungen der Grundwasserbelastung nicht möglich, da ein stationärer Emissionszustand nicht innerhalb des vorgegebenen Zeitraumes auftreten wird. Es kann keine belastbare Vorhersage zum zukünftigen Emissionsgeschehen in Abhängigkeit der zeitlichen Veränderung der Randbedingungen am Standort getätigt werden.

Die Wartungsfreiheit der Systeme ist eine Voraussetzung zur Entlassung aus der Nachsorge. Kennt man die max. Emissionsgrenzwerte bereits in der Auswahl- und Planungsphase, dann sind nach der Fertigstellung der endgültigen Deponiesicherung innerhalb der Bauphase einer Deponie, die ggf. auch eine definierte Nachsorgephase umfasst, keine weiteren Messungen und Kontrollen mehr erforderlich. Voraussetzung ist zum einen die Einhaltung der Nachsorgekriterien (siehe Teil II, Kapitel 1) und zum anderen die Wiederholung der Emissionsgrenzwertanalysen mit den Qualitätssicherungsdaten des ausgeführten Systems nach der Errichtung. Bei Bestätigung der Planungsvorgaben wird der Wirkungsnachweis für den Standort verifiziert.

Jede Deponie birgt aufgrund ihrer Zusammensetzung ein gewisses Gefährdungspotential. Eine Deponie stellt ein System dar, dass von einem technischen Sicherungssystem abgeschlossen ist. Die Deponie muss an den Standort angepasst werden, damit das ökologische System des Standorts nicht überfordert wird. Eine belastbare Bewertung von Deponiestandorten geht immer aus der Wechselbeziehung mit der geplanten Deponie hervor.

### **A) Bedeutung und Einfluss der Standortauswahl:**

Die Standortauswahl wird hauptsächlich unter dem Aspekt „Grund- und Oberflächenwasserschutz“ entschieden. Hierzu gibt es Vorgaben gemäß Gewässerschutzverordnung (GSchV) in Bezug auf die Gewässerschutzbereiche und Einleitkriterien in den Vorfluter (Auslöseschwellen). Zudem gibt es Mindestvorgaben aus der Deponieverordnung zu Mächtigkeit und Durchlässigkeit der geologischen Barriere. Folgende abschließende Feststellungen sind zu machen:

- Die Durchlässigkeit der geologischen Barriere muss immer größer sein als die der Basisabdichtung. Sonst gibt es keine weiteren Einschränkungen.
- Die Mindestvorgabe zur Mächtigkeit der geologischen Barriere inkl. der geforderten Einbauschicht mit 2,6 m ist eine sinnvolle Festlegung im Hinblick auf den Untergrund als Sorptionsfilter.
- Es ist aber nicht erforderlich, wie die Ergebnisse zuvor zeigen, dass die Einbauschicht mit 60 cm besondere Eigenschaften (kf-Wert  $< 10^{-9}$  m/s) aufweist. Das bedeutet, dass sie grundsätzlich der Qualität der geologischen Barriere entsprechen kann.
- Ein ergiebiger GWL ist ein positives Standortmerkmal, weil sich die spezifische Belastung mit der Ergiebigkeit verringert. Wenn man die Möglichkeit hat, sollte man die geplante Deponie so anordnen, dass die maximale Deponiebreite nicht in Grundwasserströmungsrichtung verläuft.
- Die Sorptionskapazität der geologischen Barriere wirkt sich positiv auf den Emissionsverlauf aus, weil die Emissionen in den GWL zeitlich verzögert werden. Die Größe der Sorptionskapazität wird über den Feinkornanteil gesteuert.
- Die vorgegebenen Auslöseschwellen (Ökologie des Standortes) bestimmen die Qualitätsanforderungen an die Deponiesicherungsmaßnahmen. Je strikter die



Vorgaben sind, umso aufwendiger sind die Maßnahmen zu gestalten. Nullemissionen sind jedoch auf Grund der naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten nicht möglich. Die vorgegebenen Zielwerte wirken sich limitierend auf das Deponievolumen aus und auf die Art der mobilen Inhaltsstoffe. Sie können deshalb entscheidend über die Eignung eines Standortes sein.

- Die Einwirkung des örtlichen Klimas muss in angemessener Weise berücksichtigt werden. Dazu werden die hydraulische Belastung der Abdichtungssysteme, aber auch die mechanischen Einwirkungen, wie z.B. Erosion, Durchwurzelung, usw. gezählt. Aus klimatischer Sicht sind niederschlagsarme Regionen jenen mit hohen Niederschlagsmengen vorzuziehen. Generell ist die langfristige Beständigkeit technischer Systeme an die Umweltbedingungen anzupassen.

### **B) Bedeutung und Einfluss der Deponiesicherungsmaßnahmen:**

Das Emissionsverhalten einer Deponie wird durch die Ausgestaltung der Oberflächen- und Basisabdichtung bestimmt. In der Deponieverordnung gibt es Mindestvorgaben zur Durchlässigkeit und Mächtigkeit der Basisabdichtung sowie Vorgaben zur Materialauswahl. Dabei ist zu beachten, dass die Basisabdichtung während des Betriebs einer Deponie die Funktion einer Konvektionsdichtung erfüllt. Nach der Schließung einer Deponie übernimmt diese Funktion die Oberflächenabdichtung. Deshalb darf die Oberflächenabdichtung nicht schlechter ausgeführt sein als die Basisabdichtung. Eine Abstimmung der Qualität der Oberflächen- und Basisabdichtung ist erforderlich. Je kleiner die Durchlässigkeit an der Basis ist, desto dichter müssen die Systeme an der Oberfläche (Konvektionsdichtung) gestaltet sein, um einen zu hohen Einstau an der Basis und unkontrollierte Sickerwasser- austritte nach der Schließung zu vermeiden. Jedoch gibt es hier Grenzen für die technische Ausführbarkeit. Als Alternative bleibt nur die Behandlung des Sickerwassers, bis dieses die Bedingungen für eine Direkteinleitung erfüllt. Dies kann unter Umständen einige hundert Jahre dauern. Folgende abschließende Feststellungen sind zu machen:

- Ist für den Zeitraum der Befüllung eine Basisabdichtung zu durchlässig, können bereits in diesem Zeitraum maximale Emissionsgrenzwerte auftreten, wenn diese nicht durch die Sorptionskapazitäten des Untergrundes abgefangen bzw. abgeschwächt werden. Über das Auftreten dieser max. Emissionsgrenzwerte hat die Dauer des Betriebszustandes der Befüllung einen maßgeblichen Einfluss.
- In der Folgezeit können nach der Schließung der Deponie bei einer standortspezifisch bemessenen Oberflächenabdichtung die negativen Auswirkungen einer ungeeigneten Basisabdichtung geheilt werden. Die Oberflächenabdichtung beeinflusst die Stofffreisetzung in den Untergrund. Diese Feststellung gilt auch für Altstandorte ohne Basisabdichtung. Schadstoffe, die sich bereits im Untergrund befinden, können in ihrer Menge nicht mehr verringert werden, jedoch kann die Stoffmobilität gebremst werden.
- Die Deponiesicherungsmaßnahmen müssen so bemessen sein, dass sich in der Deponie der Zufluss über die Oberfläche und der Abfluss durch die Basis nur durch einen begrenzter Einstau an Sickerwasser an Basis selbst regelt.
- Allgemeine Mindestvorgaben zur Schichtstärke von Abdichtungssystemen sind nicht zielführend. Die Abmessungen sind standortspezifisch und ergeben sich jeweils aus dem Ergebnis der Bemessung und den konstruktiven Anforderungen (z.B. lagenweiser Einbau). D.h. abhängig von den Randbedingungen des Standorts muss der Nachweis der Eignung und Wirksamkeit der Maßnahmen geführt werden.

Wenn als Ziel eine Lösung angestrebt wird, die die Zielwerte der Behörde erfüllt und andererseits die ökonomischen Gesichtspunkte abdeckt, dann ist ein Variantenvergleich für jeden einzelnen Standort unerlässlich. Nur dann können die auf dem Markt angebotenen Sicherungssysteme auf einer einheitlichen Grundlage miteinander verglichen und bewertet werden.

Hittenkirchen den 19.12.2014

**Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG.**



Dr. Ing. K. Finsterwalder