

bci Betriebs-AG

Assainissement définitif de la décharge industrielle de Bonfol

Rapport complémentaire objectifs d'assainissement

14 juillet 2008



Effizienz- und Risiko-Engineering

BMG ENGINEERING AG

Hauptsitz Zürich:
Ifangstrasse 11
CH-8952 Schlieren-Zürich
Tel. 044 732 92 92 • Fax 044 730 66 22
bmg@bmgeng.ch
www.bmgeng.ch

Büro Basel:
Grammetstrasse 14
CH-4410 Liestal
Tel. 061 927 55 99 • Fax 061 923 25 80
bmgbasel@bmgeng.ch

Labors:
Ifangstrasse 11
CH-8952 Schlieren-Zürich
Tel. 044 732 92 92 • Fax 044 732 92 21
labors@bmgeng.ch

Avant-propos

Le présent rapport est un complément du rapport sur les objectifs d'assainissement (rapport annexe 6.2 au projet d'assainissement, assainissement définitif de la décharge industrielle de Bonfol, IG DIB, novembre 2003). Les compléments tiennent compte des exigences de l'OEPN du canton du Jura selon la prise de position du 8 septembre 2004 ainsi que de diverses discussions avec l'OEPN.

Une grande partie du présent rapport (chapitres 1 à 4.4.3) est pratiquement identique au rapport 6.2 du projet d'assainissement, avec quelques précisions et compléments (en particulier en ce qui concerne les valeurs seuil de certains polluants prioritaires ainsi que la prise en considération de la législation relative aux déchets).

Le présent rapport est nettement plus exhaustif concernant l'évaluation des risques liés aux lentilles sableuses contaminées. La procédure, le concept de prise d'échantillons etc. en relation avec l'excavation du couvercle et de l'encaissant de la décharge ainsi que les mesures pour le contrôle final avant remblayage sont également exposés de façon beaucoup plus détaillée.

A la demande de l'OEPN, toutes les explications existantes et complémentaires (selon la prise de position de l'OEPN du 8 septembre 2004) sont présentées dans un seul document cohérent.

Résumé

Le présent rapport a pour but de présenter un document unique cohérent en complément aux études existantes relatives aux objectifs d'assainissement de la décharge industrielle de Bonfol. Ce complément répond aux exigences de l'OEPN concernant le projet d'assainissement validé (y compris les valeurs directrices pour la 3-méthylaniline, des examens détaillés des risques dus aux lentilles sableuses, un concept détaillé pour la prise d'échantillons, l'excavation, le tri, le contrôle du résultat).

L'assainissement a pour but d'éliminer les atteintes, ou les dangers concrets d'apparition de telles atteintes (art. 15, OSites). Il en découle les objectifs d'assainissement généraux suivants pour l'assainissement de la DIB:

- i. L'assainissement définitif de la DIB doit dans son ensemble apporter une réduction substantielle des risques pour l'environnement selon le principe de la prévention durable à la source. On estime qu'environ 99% des polluants se trouvent dans la masse des déchets. L'élimination (excavation) des déchets stockés permet de supprimer environ 99% des polluants. Ceci permet d'atteindre l'objectif principal de l'assainissement définitif de la DIB, *la prévention durable à la source*.
- ii. Une fois assainie, la fosse sera remblayée et reboisée, autant que possible avec le matériau de sous-sol présent sur place. A l'exception des mesures de surveillance des eaux pendant le temps nécessaire au contrôle du succès de l'assainissement, il n'est pas prévu de prendre des mesures techniques à long terme (p. ex. pompages) ou d'exploiter des installations de traitement (p. ex. STEP). Ceci en accord avec le principe *d'efficacité à long terme et de durabilité*.
- iii. La *pollution résiduelle* subsistant après l'assainissement et le remblayage *doit être admissible*. C'est-à-dire que les émissions et immissions envisageables dans les eaux doivent répondre aux exigences de l'OSites (art. 9 et art. 10, paragraphe 2) 10 ans après la remise en état du site.

Les impacts maximaux tolérables se réfèrent aux biens à protéger (eau, sol, air) et ne prescrivent donc pas, quelles *concentrations de polluants résiduelles* peuvent subsister à un emplacement.

Les présentations du rapport annexe 6.2 du projet d'assainissement de novembre 2003 avaient pour but de décrire de façon quantitative "les dangers subsistant pour l'environnement après l'assainissement" selon l'art. 17c de l'OSites. En même temps, il y était évalué si d'autres mesures devaient être prises en plus de l'élimination des

déchets afin de pouvoir atteindre les objectifs définis dans l'OSites (voir iii). Les quantités de polluants pouvant subsister dans l'environnement après l'assainissement ont été évaluées. Il est résulte des concentrations résiduelles admissibles pour l'encaissant de la décharge ainsi que des critères généraux pour le tri et le remblayage.

Les risques résiduels après assainissement ont été estimés quantitativement et évalués pour les biens à protéger potentiellement menacés (eaux). Des mesures pour minimiser ces risques ont été proposées:

- Un décapage de l'encaissant de la décharge de l'ordre de grandeur de 3'700 à 12'000 m³ et une remise en place ciblée du matériau du sous-sol permettent de réduire le risque résiduel en provenance de l'encaissant à un niveau tolérable.
- Des teneurs en polluants maximales ont été déterminées pour le matériau de remblayage prévu. Ce matériau doit respecter les valeurs T selon la DME. Comparé aux teneurs en polluants maximales tolérables déterminées, cela confère une marge de sécurité supplémentaire quant au respect des objectifs d'assainissement.

Un concept de tri et d'analyse du matériau du sous-sol a été élaboré. Dans le cadre du projet d'exécution, des valeurs T spécifiques à l'emplacement et U seront définies selon la DME.

En l'état des connaissances actuelles, les objectifs d'assainissement définis selon l'OSites (voir iii) peuvent être atteints, sans que des mesures techniques à long terme (voir ii) soient nécessaires pour assurer la sécurité de la fosse revégétalisée.

Sur la base de la répartition des polluants estimée et observée, les substances situées dans les lentilles sableuses ont en majeure partie quitté le système de la décharge en tant que tel, c.-à-d. l'encaissant de la décharge directement accessible. Pour les substances présentes dans les lentilles sableuses latérales, il s'agit d'une contamination importée et non de la source de contamination selon l'OSites. D'après les calculs effectués, les quantités de polluants effectives ne devraient pas provoquer de dépassement des objectifs d'assainissement.

De plus, des mesures d'excavation ne sont pas adaptées pour éliminer la part de polluants résiduels dans les lentilles sableuses. Jusqu'à présent, aucun impact des polluants sur les biens à protéger par l'intermédiaire des lentilles sableuses latérales n'a pu être constaté. Les mesures envisageables pour réduire la probabilité d'occurrence et/ou les impacts d'une éventuelle émission de polluants sous de nouvelles

conditions hydrauliques dans la fosse remblayées sont i) éviter de perturber le système actuellement stable; ii) assurer l'étanchéité latérale de l'encaissant de la décharge avant le remblayage; iii) le cas échéant stimuler la dégradation biologique lors de la rencontre éventuelle de zone sableuses.

Les objectifs d'assainissement retenus se basent sur différentes hypothèses et modèles simplifiés plausibles. Les mesures à prendre doivent pouvoir être adaptées de façon flexible en fonction des conditions effectives rencontrées au cours des travaux d'assainissement.

Table des matières

Résumé.....	ii
1 Etat initial et objectif.....	1
1.1 Objectif d'un assainissement.....	1
1.2 Objectifs généraux d'assainissement pour la DIB.....	1
1.3 Objectifs	2
1.4 Structure du rapport	3
2 Bases	4
2.1 Mise en danger de l'homme et de l'environnement en l'état actuel de la décharge	4
2.2 Bases légales.....	5
2.3 Documents cités.....	6
2.3.1 Aides à l'exécution de l'OFEV	6
2.3.2 Rapport principal et rapports annexes du projet d'assainissement selon l'OSites	6
2.3.3 Autres Documents	7
3 Procédure	9
4 Evaluation de la mise en danger en fonction de la pollution résiduelle et détermination des objectifs d'assainissement.....	12
4.1 Données à disposition et implication pour l'évaluation de la mise en danger	12
4.2 Polluants prioritaires.....	13
4.2.1 Choix des polluants prioritaires.....	13
4.2.2 Comportement environnemental des polluants prioritaires.....	17
4.3 Modèle de la décharge et caractérisation de la charge actuelle.....	21
4.3.1 Le modèle de la décharge pour l'état actuel de la DIB	21
4.3.2 Evaluation quantitative de la répartition actuelle des substances	23
4.4 Description de la décharge après assainissement	30

4.4.1	Modèle pour la fosse assainie et remblayée.....	30
4.4.2	Concentrations admissibles dans les biens à protéger	32
4.4.3	Evaluation des impacts possibles de l'encaissant de la décharge pollué sur les biens à protéger	33
4.4.4	Evaluation des impacts possibles par le lessivage des polluants des lentilles sableuses.....	42
4.4.5	Evaluation des impacts possibles issus du lessivage de polluants dans le matériau remblayé	54
4.5	Conclusions.....	57
5	Procédure durant les travaux d'assainissement.....	59
5.1	Origine et quantité	59
5.2	Concept et critères de tri	61
5.3	Concept pour l'investigation préalable du couvercle de la décharge	63
5.4	Concept d'excavation et d'investigations de l'encaissant de la décharge	65
5.4.1	Clarifications préliminaires.....	66
5.4.2	Investigation préalable de l'encaissant de la décharge (y compris le fond et les bords).....	66
5.4.3	Critères d'excavation	72
5.5	Contrôle final	73
5.6	Réception par les autorités compétentes	76
6	Conclusions	77

Liste des annexes

Annexe 1 Essai sur colonne

Annexe 2 Répartition actuelle des substances

- 2.1 Perméabilité des argiles de Bonfol et bilan hydrique
- 2.2a-c Répartition spatiale des substances dans les lentilles sableuses suite au transport advectif avec lixiviats exfiltrés
- 2.3a-c Répartition spatiale des substances dans l'encaissant argileux de la décharge suite aux apports par diffusion en provenance de la décharge

Annexe 3 Evaluation de la pollution résiduelle tolérable

- 3.1 Paramètres de modélisation pour les calculs effectués
- 3.2a Calcul des taux de rediffusion issus de l'encaissant argileux de la décharge
- 3.2b Répartition des substances rediffusant à partir de l'encaissant
- 3.3a-c Etablissement des mesures d'assainissement pour l'encaissant argileux de la décharge
- 3.4a-c Calcul des taux de lessivage dans les lentilles sableuses
- 3.4d Comparaison des concentrations dans les eaux souterraines dues au lessivage dans les lentilles sableuses avec l'objectif d'assainissement

Annexe 4 Valeurs calculées d'éluat selon l'OTD

Annexe 5 Choix des polluants prioritaires

Liste des tableaux

Tableau 4.2.1: Propriétés des polluants prioritaires choisis	16
Tableau 4.2.2: Comportement à l'adsorption des polluants prioritaires. Pour la détermination des K_d à partir des mesures de laboratoire, c'est la moyenne entre les valeurs K_d mesurées pour les fractions sableuses, limoneuses et argileuses qui a été utilisée.	18
Tableau 4.2.3: Comportement à l'adsorption: valeurs K_d des polluants prioritaires utilisées pour les calculs effectués	19
Tableau 4.3.1: Estimation des quantités de substances (en kg) présentes dans les lentilles sableuses et dans l'encaissant argileux	29
Tableau 4.4.1: Objectifs d'assainissements pour les biens à protéger 10 ans après finalisation de l'assainissement	33
Tableau 4.4.2: Répartition estimée des substances rediffusées à partir de l'encaissant de la décharge	35
Tableau 4.4.3: Comparaison des concentrations dans les biens à protéger, estimées sur la base des émissions en provenance de l'encaissant de la décharge non décapé, avec les objectifs d'assainissement, pour le scénario standard	36
Tableau 4.4.4: Mesures de décapage envisageables dans la zone de l'encaissant pour atteindre les objectifs d'assainissement pour le scénario standard	38
Tableau 4.4.5: Part de polluants éliminée par le décapage de l'encaissant de la décharge et teneurs moyennes dans les premiers cm de l'encaissant restant	39
Tableau 4.4.6: Teneurs en polluants maximales admissibles dans l'encaissant après décapage	40
Tableau 4.4.7: Paramètre pour l'évaluation du lessivage des polluants des lentilles sableuses	43

Tableau 4.4.8: Comparaison des concentrations dans les eaux souterraines dues au lessivage des lentilles sableuses avec les objectifs d'assainissement pour le scénario standard	45
Tableau 4.4.9: Evaluation de la quantité de polluants actuellement présente dans la lentille sableuse AG23 sur la base des analyses de l'eau (piézomètre AP25.1, AG23) et des coefficients de répartition (K_d) indiqués au tableau 4.2.3.	48
Tableau 4.4.10: Comparaison des quantités de polluants présentes dans la lentille sableuse AG23 avec les quantités de polluants subsistant dans la DIB respectivement dans l'encaissant de la décharge encore en place après l'assainissement (selon les objectifs d'assainissement).	49
Tableau 4.4.11: Evolution des concentrations (en $\mu\text{g/L}$) dans la lentille sableuse AG23 (analyses effectuées en 2006, les exceptions figurent <i>en italique</i>).	51
Tableau 4.4.12: Comparaison des concentrations estimées dans les eaux souterraines dues au lessivage dans les lentilles sableuses latérales avec les objectifs d'assainissement pour le scénario standard (facteur de dépassement pour le cheminement c) ainsi que quantités hypothétiques de substances pour lesquelles l'objectif d'assainissement est juste atteint (c.-à-d. avec un facteur de dépassement de 1.0 pour le cheminement c).	52
Tableau 4.4.13: Teneurs tolérables maximales pour le matériau faiblement pollué. Pour ces estimations (hypothétiques) il est admis qu'env. 10% du matériau de remblai dans la partie inférieure de la décharge (voir aussi figure 4.4.1) sont faiblement contaminés.	56
Tableau 5.1.1: Volumes d'excavation estimés (sans les déchets de la DIB).	60
Tableau 5.2.1: Critères de tri déterminés applicables pour le triage pour les polluants prioritaires choisis, scénario standard. La procédure correspondante pour le contrôle du succès est décrite au chapitre 5.5.	62

Tableau 5.2.2: Critères de tri déterminés (uniquement pour comparaison) pour les polluants prioritaires choisis, scénario "adsorption faible et exfiltrations plus importantes".....	62
Tableau 5.3.1: Programme d'investigations (étendue des échantillonnages et analyses) pour le couvercle de la DIB.....	64
Tableau 5.3.2: Programme d'investigation (ampleur de la prise d'échantillons et des analyses) pour l'encaissant de la décharge: investigations préalables pour détermination de la zone d'excavation.....	68
Tableau 5.3.3: Programme d'investigation (ampleur de la prise d'échantillons et des analyses) pour l'encaissant de la décharge: échantillonnage final pour la réception de l'encaissant (y compris le fond) par les autorités. Les paramètres d'analyse ainsi que la prise d'échantillons (grille, technique de prélèvement, traitement des échantillons) correspondent au programmes des investigations préalables (voir tableau 5.3.2).	74

Liste des figures

Figure 3.1:	Secteurs présentant une pollution résiduelle après excavation du contenu de la décharge.....	9
Figure 3.2:	Procédure pour l'établissement des objectifs d'assainissement.....	10
Figure 4.3.1:	Modèle hydraulique de la décharge industrielle de Bonfol pour l'état actuel (brun : encaissant de la décharge, jaune: lentilles sableuses, explications supplémentaires dans le texte)	21
Figure 4.3.2a:	Répartition calculée de l'aniline dans les lentilles sableuses.....	24
Figure 4.3.2b:	Pollutions observées dans les lentilles sableuses (Données de [26])	26
Figure 4.3.3:	Répartition des substances calculée dans l'encaissant de la décharge avec l'aniline pour exemple.	27
Figure 4.3.4:	Répartition estimée des polluants pour l'état actuel avec l'exemple de l'aniline	27
Figure 4.4.1:	Modèle conceptuel de la fosse assainie et remblayée	31
Figure 4.4.2:	Taux de rediffusion pour l'aniline à partir de l'encaissant de la décharge	34
Figure 4.4.3:	Taux de lessivage des lentilles sableuses calculés pour l'aniline et le scénario standard (temps t=0: date de la fin des travaux de remise en état du site)	44
Figure 5.4.1:	Disposition possible des sondages à carotte par battage (RKS) pour la prise d'échantillon dans le fond et les bords de la décharge. Important: l'étanchéité du fond et de l'encaissant de la décharge ne doit pas être affectée par la prise d'échantillons, c.-à-d. que les sondages à carotte par battage ne doivent pas dépasser une profondeur maximale de 1 m aux points les plus bas du fond de la décharge.....	67
Figure 5.4.2:	Disposition possible des emplacements de prise d'échantillon pour échantillons moyens avec grille 20x20 m.	69

Abréviations

BCI	Basler Chemische Industrie
COV/VOC	Composés organiques volatils (volatile organic compounds)
DIB	Décharge industrielle de Bonfol
DME	Directive sur les matériaux d'excavation
DNAPL	Dense Nonaqueous Phase Liquid
DOC	Carbone organique dissous
HHV	Hydrocarbures halogénés volatils
LPE	Loi fédérale sur la protection de l'environnement
OEaux	Ordonnance sur la protection des eaux
OEPN	Office des eaux et de la protection de la nature, république et canton du Jura
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OSites	Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués
OTD	Ordonnance sur le traitement des déchets
RKS	Ramkernsondierung (Forage carotté par battage)
THF	Tétrahydrofurane

1 Etat initial et objectif

Dans le cadre de l'assainissement définitif de la décharge industrielle de Bonfol (DIB), il est prévu d'excaver les déchets spéciaux entreposés, de les préparer et de les incinérer à l'étranger (voir le rapport annexe N°5 du projet d'assainissement [8]). Après l'assainissement proprement dit, la fosse sera à nouveau remplie et le site révégétalisé, en utilisant autant que possible le matériau du sous-sol présent sur place.

1.1 Objectif d'un assainissement

L'assainissement a pour but d'éliminer les atteintes nocives ou incommodantes, ou les dangers concrets d'apparition de telles atteintes (OSites art. 15). Les principes d'assainissement qui en résultent sont décrits dans la publication de l'OFEV "Elaboration de projets d'assainissement de sites contaminés" [1]. Il faut mentionner en particulier :

- L'assainissement dans son ensemble doit conduire à une réduction substantielle des risques pour l'environnement. A cet effet, il n'est pas nécessaire d'éliminer tous les polluants du site. Il faut répondre au principe de *la prévention durable à la source*.
- Assainir de façon *efficace et durable à long terme* signifie selon la définition de l'OFEV que le site assaini puisse être remis aux générations à venir sans aucune mesure complémentaire.
- Les objectifs d'assainissement respectivement *les impacts tolérables maximaux* se rapportent aux biens à protéger (eau, sol, air) et ne prescrivent donc pas quelles concentrations résiduelles de polluants peuvent subsister sur un site. Ce n'est pas la contamination dans le sous-sol en elle-même, mais ses éventuels impacts sur les biens à protéger qui sont déterminants.

1.2 Objectifs généraux d'assainissement pour la DIB

Les principes énoncés dans le chapitre précédent peuvent être appliqués sous forme d'objectifs d'assainissement généraux à la DIB comme suit :

- Il est estimé (voir chapitre 4.3.2.3) qu'environ 99% des polluants organiques se trouvent dans la masse des déchets. L'élimination (excavation) des déchets stockés permet de supprimer environ 99% des polluants. Ceci permet d'atteindre l'objectif principal de l'assainissement définitif de la DIB, *la prévention durable à la source*.

- Une fois assainie, la fosse sera remblayée et revégétalisée, autant que possible avec le matériau de sous-sol présent sur place (zone forêt). A l'exception des mesures de surveillance des eaux pendant le temps nécessaire au contrôle du résultat de l'assainissement, il n'est pas prévu de prendre de mesures techniques à long terme (p. ex. pompages) ou d'exploiter des installations de traitement (p. ex. STEP). Ceci en accord avec le principe *d'efficacité à long terme et de durabilité*.
- La pollution résiduelle subsistant après l'assainissement et le remblayage doit être admissible. C'est-à-dire que les émissions et immissions possibles dans les eaux doivent répondre aux exigences de l'OSites (art. 9 et art. 10, paragraphe 2) 10 ans après la remise en état du site.

Lors de l'assainissement, on s'écartera de ce but (OSites, art. 15) :

- a. si, ce faisant, on réduit globalement la pollution de l'environnement;
- b. si cela permet d'éviter des coûts disproportionnés, et
- c. si les eaux de surface en relation avec le site satisfont aux exigences relatives à la qualité des eaux formulées dans la législation sur la protection des eaux.

1.3 Objectifs

Les explications du rapport annexe 6.2 du projet d'assainissement de novembre 2003 avaient pour but de décrire les "risques pour l'environnement subsistants après l'assainissement" selon l'art. 17c de l'OSites. Le rapport devait montrer la quantité de polluants résiduelle admissible permettant d'éviter les impacts non admissibles et ainsi garantir l'efficacité et la durabilité à long terme de l'assainissement.

Sur la base des objectifs d'assainissement généraux pour la DIB définis au chapitre 1.2, le rapport annexe du projet d'assainissement 6.2 soumet aux autorités compétentes une proposition pour l'établissement des objectifs définitifs d'assainissement selon l'art. 18 de l'OSites. Dans le cadre du projet d'assainissement, le rapport annexe du projet d'assainissement 6.2 a été approuvé avec des exigences.

Le présent rapport a pour but de présenter ces exigences (y compris valeurs directives pour la 3-méthylaniline, évaluation plus détaillée des risques associés aux lentilles sableuses, concept plus détaillé pour la prise d'échantillons, l'excavation, le tri, le contrôle du succès) en complément aux explications relatives aux objectifs d'assainissement données jusqu'alors.

1.4 Structure du rapport

Les bases légales sont résumées au *chapitre 2.1*.

L'état actuel de la décharge industrielle de Bonfol (DIB) et les risques pour l'environnement que représente la DIB sont évalués de façon exhaustive dans le rapport annexe du projet d'assainissement N° 6.1 [4] et résumés au *chapitre 2.2*.

La procédure générale et la méthodologie pour la description quantitative de la pollution résiduelle ainsi que les objectifs d'assainissement qui en découlent sont décrits au *chapitre 3*.

Comme il est techniquement quasiment impossible et pour l'environnement dans son ensemble pas judicieux d'éliminer la **totalité** des polluants par excavation ou d'autres procédés, le *chapitre 4* définit la charge résiduelle tolérable pour

- i. l'encaissant argileux de la décharge,
- ii. les secteurs plus sableux respectivement les lentilles sableuses au bord de la décharge et
- iii. le matériau prévu pour le remblayage après excavation

En outre, le point iii doit également répondre aux exigences de la législation sur les déchets, notamment DME et OTD.

Le concept de procédure pour les travaux durant l'assainissement ainsi que pour le contrôle final avant remblayage est décrit au *chapitre 5*.

2 Bases

2.1 Mise en danger de l'homme et de l'environnement en l'état actuel de la décharge

Pour l'état actuel, les risques issus de la décharge industrielle de Bonfol (DIB) à l'encontre de l'homme et de l'environnement sont décrits et évalués de façon détaillée dans le rapport annexe du projet d'assainissement N° 6.1 [4]. Cette situation et les connaissances acquises sur le comportement des polluants dans le système de la décharge représentent une base importante pour l'établissement des objectifs d'assainissement. C'est pourquoi les chapitres suivants font fréquemment référence à ce rapport annexe N° 6.1 [4]. Les résultats principaux de ce rapport peuvent être résumés comme suit :

- Sur la base de la toxicité, de la mobilité et de la dégradation biologique des substances stockées, des polluants prioritaires ont été définis : les anilines méthylées, hydrocarbures halogénés volatils (HHV) et benzènes représentent les plus grands risques potentiels pour l'homme et l'environnement. Les tests de toxicité effectués n'ont pas fourni d'éléments indiquant que des polluants importants aient pu être négligés lors des analyses chimiques.
- Dans le cadre de l'analyse de l'exposition, les voies d'émissions potentielles ont été identifiées et dans la mesure du possible quantifiées. Il s'est avéré que les émissions actuelles, respectivement potentiellement significatives se produisent par voie hydrique. Cependant les concentrations de polluants mesurés à l'aval immédiat de la DIB ne permettent pas de constater une accumulation de « Dense Nonaqueous Phase Liquid » (DNAPL) sur une étendue significative sur le toit de la Série des Vosges.
- La contamination des secteurs plus sableux situés au nord-est de la décharge est connue depuis des années. Bien que sur la base des données disponibles un transfert des polluants de ces lentilles sableuses vers les Cailloutis du Sundgau ne puisse pas formellement être exclu, les données analytiques obtenues jusqu'à ce jour ne fournissent pas d'éléments montrant qu'un tel transfert porte une atteinte significative à la qualité des eaux souterraines.
- L'eau souterraine du secteur nord-est de la décharge présente des concentrations en hydrocarbures halogénés volatils (HHV) supérieures aux normes de l'ordonnance sur les sites contaminés. Les charges en polluants libérés sont cependant restreintes (1 à 5 kg/a) et ne peuvent donc, d'après les connaissances actuelles, que difficilement porter atteinte de manière significative aux biens à

protéger sensibles (eau potable). Grâce aux pompages débutés en 2001, plus du trois quarts des polluants émis peuvent être retenus.

- L'élargissement du programme d'analyse et du réseau de points de mesure mis en œuvre en 2001 n'a pas donné d'indications quant à des effets négatifs sur les sources aux alentours de la DIB.
- Il n'y a pas non plus d'indication concrète concernant une atteinte directe sur des prises d'eau actuelles (eaux souterraines et de surface). Une augmentation soudaine des concentrations n'est pas non plus à prévoir.

Sur la base des connaissances actuelles, la décharge peut être considérée comme étant largement sécurisée. Il n'y a pas de risque imminent prévisible pour l'environnement. *Sur la base des connaissances actuelles il n'y a donc pas d'urgence à assainir la décharge (art. 15 OSites).*

2.2 Bases légales

L'Ordonnance sur l'assainissement des sites contaminés (OSites du 26 août 1998), basée sur les articles 32c et 39 de la loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE du 7 octobre 1983) définit les critères d'appréciation relatifs à la nécessité d'assainissement d'un site et *fixe les objectifs*, la procédure et les compétences *lors d'un assainissement*. Le but de l'assainissement est d'éliminer les impacts négatifs ou tout danger concret émanant de tels impacts, selon le principe de prévention durable à la source. Les principes initialement énoncés au chapitre 1.1 relatifs à l'assainissement des sites contaminés se basent entièrement sur l'OSites.

Parallèlement à l'OSites, d'autres directives environnementales sont importantes pour fixer les objectifs d'assainissement et pour définir les critères de tri. Elles sont énumérées succinctement ci-dessous :

Ordonnance sur la protection des Eaux (OEaux)

L'Ordonnance sur la protection des Eaux (OEaux du 28 octobre 1988) définit les exigences relatives à la qualité des eaux souterraines ou de surface. Pour le secteur situé en aval d'un site contaminé, c'est cependant l'OSites et non l'OEaux qui est déterminante. L'OEaux n'est déterminante que lorsque l'on s'écarte des exigences de l'OSites selon les art. 9 et 10 (voir chap. 4).

Directive sur les matériaux d'excavation (DME)

La Directive sur les matériaux d'excavation (DME de juin 1999) régit l'élimination conforme à l'environnement de matériaux d'excavation minéraux. Elle comprend des critères permettant de décider si et sous quelle condition un tel matériau peut être réutilisé ou s'il doit être éliminé comme déchet.

Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD)

L'Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD du 10 décembre 1990) régit la mise en place, l'exploitation et la surveillance de décharges et autres installations de traitement des déchets. L'OTD définit les critères de mise en dépôt pour les déchets dans les décharges pour matériaux inertes, pour résidus stabilisés ainsi que dans les décharges contrôlées bioactives.

2.3 Documents cités

2.3.1 Aides à l'exécution de l'OFEV

- [1] Elaboration de projets d'assainissement de sites contaminés, N° VU-3410, 2001.
- [2] Sites contaminés - Estimation de la mise en danger, TransSim, N° VU-3412, 2002.

2.3.2 Rapport principal et rapports annexes du projet d'assainissement selon l'OSites

- [3] Assainissement définitif de la décharge industrielle de Bonfol (Rapport principal), IG DIB, novembre 2003.
- [3a] Géologie et hydrogéologie, IG DIB, octobre 2003 (Rapport annexe 4).

- [4] Chemische Risikobewertung Deponie Bonfol Etat fin 2002, BMG Engineering AG, août 2003 (Rapport annexe 6.1).
- [5] Verfahrenstechnische Behandlung des belasteten Untergrundmaterials, IG DIB, septembre 2003 (Rapport annexe 7.3).
- [6] Concept d'excavation, IG DIB, septembre 2003 (Rapport annexe 7.5).
- [7] Rapport environnemental, IG DIB, octobre 2003 (Rapport annexe 7.10).
- [8] Variantenvergleich, IG DIB, janvier 2003 (Rapport annexe 5).

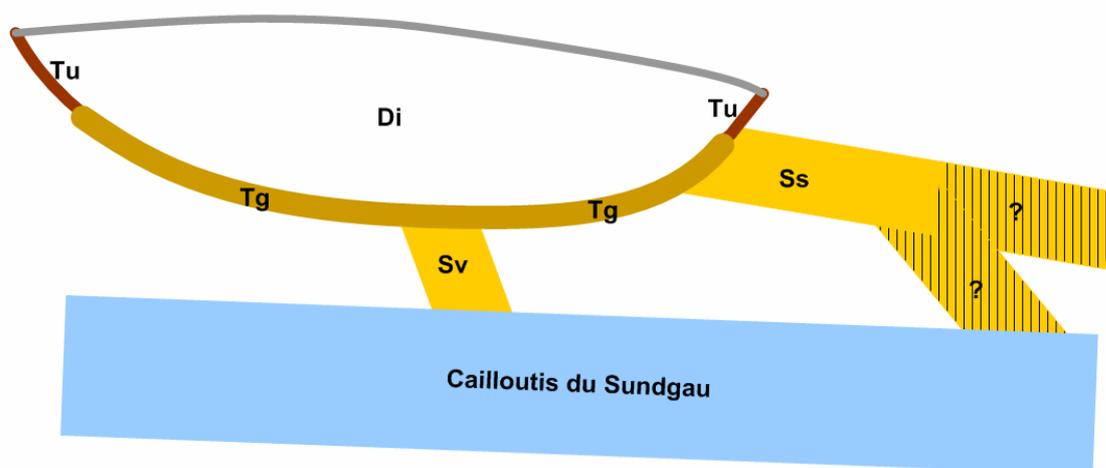
2.3.3 Autres Documents

- [9] Etude de variantes assainissement total Bonfol, BMG Engineering AG, Avril 2001.
- [10] Diffusion in Natural Porous Media, P. Grathwohl, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [11] Environmental Organic Chemistry, R. Schwarzenbach et al., John Wiley & Sons, 1993.
- [12] Programm SISIM, Umweltbundesamt Deutschland, 1998.
- [13] Risikoanalyse Etat 1991, CSD Ingenieure und Geologen AG, août 1992.
- [14] Programm MINEQL+, Environmental Research Software, Version 4.5; basierend auf J. Westall et al., Massachusetts Institute of Technology.
- [15] An integrated sorption-diffusion model for the calculation of consistent distribution and diffusion coefficients in compacted bentonite, M. Ochs et. al., J. Contam. Hydrol. 47, 283-296, 2001.
- [16] The chemical modelling of clay/electrolyte interactions for montmorillonite, P. Fletcher and G. Sposito, Clay minerals, 24, 375-391, Fletcher, 1989.
- [17] A quantitative mechanistic description of Ni, Zn and Ca sorption on Na-montmorillonite, B. Baeyens and M. Bradbury, Paul Scherrer Institut, Villigen, PSI-Bericht Nr. 95-11, 1995.
- [18] Correlation of diffusion coefficients in dilute solutions, C.R. Wilke and P. Chang, AIChE Journal 1, 264-270, 1955.
- [19] CSD Ingénieurs et géologues SA, rapport annuel 2002, 14 juillet 2003.
- [20] CSD Ingénieurs et Géologues SA: Décharge industrielle de Bonfol. Rapport de synthèse hydrogéologique 2002

- [21] CSD Ingénieurs et Géologues SA: Décharge industrielle de Bonfol (DIB). Campagne de forages 2006, rapport du 21 mai 2007
- [22] CSD Ingénieurs et Géologues SA: Décharge industrielle de Bonfol (DIB). Rapport technique annuel 2004, rapport du 16 août 2005
- [23] Groupement DI Bonfol: Assainissement définitif de la décharge industrielle de Bonfol, projet de construction. Etat : Permis de construire. Rapport Technique 4. Procédés d'excavation. Dossier du projet de construction, 7 juin 2007.
- [24] Notice d'impact sur l'environnement. Assainissement définitif de la décharge industrielle de Bonfol. Etat: permis de construire. CSD Ingénieurs et Géologues SA, 6 juin 2007
- [25] The relevance and application of whole mixture toxicity in the hazard assessment of landfill emissions, Peyer F. D., master thesis 2007MS13 ETHZ, Sept. 2007
- [26] CSD Ingénieurs et Géologues SA: Décharge industrielle de Bonfol (DIB). Rapport technique annuel 2005, 21 décembre 2006

3 Procédure

Dans le cas concret de la DIB, environ 99% des polluants sont éliminés par l'excavation des déchets stockés (voir chapitre 4.3.2.3). Depuis le début de leur entreposage au cours des 40 dernières années, les 1% de polluants organiques résiduels se sont répartis par diffusion (" \leftrightarrow ") dans le bord argileux de la décharge et – en particulier dans le secteur nord de la décharge – par advection (" \rightarrow ", par infiltration des lixiviats) dans les secteurs plus perméables (lentilles sableuses). De plus, le matériau de sous-sol utilisé pour le remblayage présentera en partie également une certaine charge résiduelle.



Compartiment

Di	Contenu de la décharge (déchets)
Tu	Zone (actuellement) insaturée
Tg	Zone (actuellement) saturée
Ss	Zones sableuses latérales (surtout NE)
Sv	Zones sableuses sous la DIB (amont SG19b)

Figure 3.1: Secteurs présentant une pollution résiduelle après excavation du contenu de la décharge.

La pollution résiduelle est-elle tolérable? Ou des mesures supplémentaires doivent-elles être prévues afin de remplir les exigences quantitatives pour les biens à protéger (dans le cas concret les eaux souterraines et les écoulements proches de la surface) selon les articles 9 et 10 de l'OSites ?

La procédure générale par étape pour l'établissement des objectifs d'assainissement spécifiques (c.-à-d. pollution résiduelle tolérable) et le cas échéant également de mesures supplémentaires est décrite schématiquement à la figure 3.2.

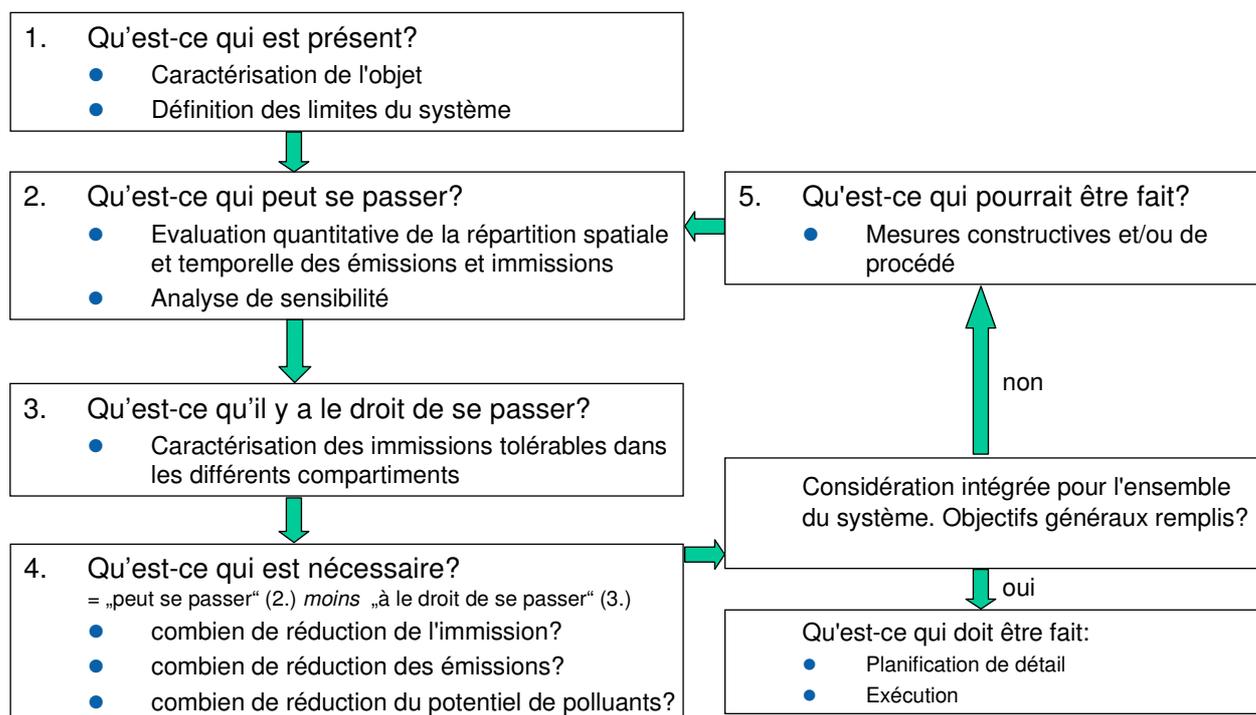


Figure 3.2: Procédure pour l'établissement des objectifs d'assainissement

La procédure correspond aux principes et au déroulement de l'OSites et est appliquée de façon standard lors de grands projets d'assainissement (voir p. ex. tableau 9.1 dans [9]). Cette méthodologie appliquée individuellement dans chaque cas est expliquée succinctement au chapitre 4 suivant :

Le procédé itératif comprend les points suivants:

1. Qu'est-ce qui est présent? Dans cette première étape, l'objet est tout d'abord caractérisé afin de définir la situation initiale. C.-à-d. que la nature, la quantité et la répartition spatiale des polluants sont définies pour l'état actuel de la décharge, respectivement après l'excavation des déchets stockés et le remblayage de la fosse.
2. Qu'est-ce qui peut se passer? Durant la deuxième étape, la propagation spatiale et temporelle des polluants par les cheminements de dissémination significatifs (uniquement les eaux) après la finalisation de l'assainissement est modélisée. Les émissions et immissions qui en résultent (c.-à-d. les concentrations dans les biens à protéger) sont estimées.
3. Qu'est-ce qu'il y a le droit de se passer? Pendant la troisième étape, les immissions tolérables sont définies en application à l'OSites pour le nouvel état d'équilibre (hydraulique) après l'assainissement.

4. Qu'est-ce qui est nécessaire? Durant la quatrième étape, les immissions estimées (2^e étape) et tolérables (3^e étape) sont comparées. Si les immissions estimées sont supérieures aux immissions tolérables, des actions supplémentaires sont nécessaires. Dans ce cas, il est évalué de combien les émissions respectivement la pollution résiduelle doivent être abaissées de manière à pouvoir atteindre les objectifs d'assainissement et ainsi ramener le risque résiduel à un niveau tolérable.
5. Qu'est-ce qui pourrait être fait? Lors de cette étape les mesures techniques envisageables sont présentées.

Après avoir virtuellement appliqué les mesures correspondantes, les émissions et immissions sont à nouveau évaluées (2^e étape) et comparées avec les objectifs d'assainissement (3^e étape), etc. Ce procédé itératif est répété jusqu'à ce que les immissions calculées soient inférieures ou égales aux immissions tolérables. Cela permet d'établir les objectifs d'assainissement spécifiques ainsi que la procédure concrète lors des travaux d'assainissement.

4 Evaluation de la mise en danger en fonction de la pollution résiduelle et détermination des objectifs d'assainissement

4.1 Données à disposition et implication pour l'évaluation de la mise en danger

Sur la base de l'analyse de l'exposition réalisée pour l'état actuel de la décharge (voir chapitre 1.1 et rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4]), il a été démontré que des émissions et donc aussi des immissions sont possibles par voie hydrique.

Il n'y a que peu de données à disposition concernant la pollution de l'encaissant de la décharge et des lentilles sableuses (voir chapitre 6.4 et annexe 6.7 du rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4]). Jusqu'à présent on a volontairement renoncé à effectuer des mesures et caractérisations approfondies de l'encaissant de la décharge afin d'éviter d'affaiblir la barrière d'argile par des sondages (voir chapitre 5.5). La géométrie des lentilles sableuses polluées au bord de la décharge, en particulier dans le secteur nord-est, est très complexe et n'est donc pas connue de façon détaillée.

En raison de cette situation, un modèle conceptuel simplifié de la décharge respectivement de la fosse assainie et de ses alentours doit être appliqué pour l'estimation des risques sur l'environnement après l'assainissement, c.-à-d. pour l'évaluation de la mise en danger en fonction de la pollution résiduelle. Lors des modélisations correspondantes, il convient d'envisager des hypothèses et simplifications concernant le régime hydrique, le comportement d'adsorption et de désorption des polluants, etc.

Puisque la valeur de divers paramètres du modèle n'est pas connue avec précision, les estimations présentées ici ont été effectuées pour différents sets de paramètres. Deux scénarios, un « scénario standard » et un « scénario avec exfiltrations plus importantes et adsorption plus faible », sont décrits dans ce rapport. D'autres évaluations ont été effectuées dans le cadre de l'analyse de sensibilité, elles ne sont cependant pas discutées dans le présent rapport.

Il est à relever que la dégradation microbiologique des polluants n'est pas prise en compte par le modèle, alors qu'une telle dégradation est observée dans les lentilles sableuses. Les objectifs d'assainissement établis peuvent donc être considérés comme conservatifs dans ce domaine.

Les résultats de la modélisation fournissent des données sur les conditions moyennes dans l'encaissant de la décharge et ne sont donc pas adaptés pour la représentation de conditions locales particulières.

En raison de ces restrictions du modèle, les travaux d'assainissement doivent adopter une procédure souple, permettant d'adapter les mesures prévues aux conditions effectives rencontrées sur place.

4.2 Polluants prioritaires

Le contenu de la décharge se compose d'une multitude de substances. Une partie des substances dissoutes dans l'eau a pénétrée dans l'encaissant de la décharge durant les 40 ans passés entre le stockage et l'élimination définitive des déchets.

Pour l'établissement des objectifs d'assainissement et la définition de critères de tri, des polluants prioritaires doivent être définis (chapitre 4.2.1) et leur comportement dans l'environnement caractérisé (chapitre 4.2.2).

4.2.1 Choix des polluants prioritaires

En raison de leur *quantité* dans la décharge, de leur *mobilité* et de leur *toxicité*, les anilines, les HHV et les benzènes ont été identifiés comme les classes de substances représentant le plus de risque pour l'homme et l'environnement (voir chapitre 2.1 et rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4]). Les polluants prioritaires choisis doivent couvrir ces classes de substances.

Un critère important pour l'identification et le choix des polluants prioritaires significatifs a été et est toujours la composition connue des lixiviats de la décharge ainsi que la toxicité des substances individuelles correspondantes [4]. Le rapport de la concentration des substances individuelles dans les lixiviats à la valeur de la concentration correspondante selon l'OSites, respectivement à la valeur de la concentration calculée selon l'OSites est une mesure du potentiel de toxicité présent. Un aperçu résumé qui confirme la pertinence des classes de substances évoquées ci-dessus, respectivement le choix des polluants prioritaires retenus se trouve en annexe 5.1.

Pour l'évaluation de la mise en danger et donc l'établissement des objectifs d'assainissement il est en outre important que les substances retenues couvrent un *large spectre relatif à la mobilité et à la dégradation*. C'est pourquoi le bromure et le zinc ont également été retenus.

Enfin, les polluants prioritaires doivent aussi couvrir les substances importantes pour le traitement ou l'élimination des argiles polluées (voir rapport annexe du projet d'assainissement 7.3 [5]).

Les polluants prioritaires retenus selon les critères énoncés ci-dessus sont énumérés dans le tableau 4.2.1 suivant.

Comme démontré ci-après, il a été vérifié et confirmé lors du choix des polluants prioritaires que d'autres classes de substances qui ne sont pas analysées régulièrement dans les lixiviats de la décharge (par ex. les substances phytosanitaires) ne constituent pas une classe de substances significative. Sur deux échantillons de lixiviats, soit ceux du 30.3.2000 et du 16.2.2005, des produits phytosanitaires ont été analysés à ce jour (par l'ENV). En tout, 37 composés individuels ont été identifiés et quantifiés pour lesquels dans la plupart des cas la concentration était inférieure au seuil de quantification respectif (0.1 resp. 1 µg/l).

Les valeurs ainsi que leur interprétation se trouvent dans le tableau de l'annexe 5.2. Il en ressort un dépassement des valeurs-tox pour 2 composés, à savoir l'amétryne et le chlorotoluron. Le dépassement des valeurs-tox pour ces produits phytosanitaires est par comparaison très faible (facteur < 2), se trouve bien en-deça d'un facteur 1000 et peut de ce fait être qualifié de non-significatif (voir annexe 5.1). De ce fait, les produits phytosanitaires ne constituent pas une classe de substances significative. La prise en compte de l'une de ces substances en tant que polluant prioritaire n'est de ce fait pas nécessaire.

Le 5 septembre 2007, l'OEPN a également analysé pour la première fois les PCB coplanaires dans le lixiviat. La concentration de chacune des 12 substances était inférieure au seuil de quantification de 20 ng/l. Il existe certainement dans le lixiviat de la décharge dans de faibles concentrations d'autres composés organiques non encore analysés jusqu'à ce jour. Sur la base des tests écotoxicologiques (bactéries luminescentes et daphnies) effectués depuis plusieurs années sur le lixiviat de la décharge (voir rapports techniques annuels), l'existence de substances jusqu'à lors inconnues mais significatives du point de vue de l'écotoxicité peut être quasiment exclue (voir [4]). Cette conclusion est vérifiée et validée dans un travail de diplôme de 2007 de l'EPFZ [25]. Dans [25] il est également montré que la simple addition des effets (éco)-toxiques individuels utilisée dans [4] surestime l'effet écotoxicologique effectif resp. mesuré du mélange présent dans le lixiviat.

Sur la base des discussions ci-dessus, il est ainsi permis d'affirmer que toutes les substances apportant une contribution significative à l'(éco)-toxicité dans le lixiviat

sont connues. Le choix des polluants prioritaires retenus est tout à fait représentatif de ces substances.

Tous les calculs pour l'évaluation de la mise en danger ont été effectués systématiquement pour tous les polluants prioritaires. Seul la 3-méthylaniline a été partiellement traitée par analogie à la 2-méthylaniline, car ces substances présentent un comportement de transport pratiquement identique et que la contribution de la 3-méthylaniline à la toxicité globale des lixiviats de la décharge est nettement inférieure à celle de la 2-méthylaniline (voir aussi annexe 5.1 en [4]). Pour favoriser la lisibilité du rapport, dans les parties de texte des représentations graphiques des résultats seule l'aniline est mentionnée, soit une substance présentant un comportement moyen à l'adsorption et qui a été retenue comme substance à titre d'exemple. Les représentations graphiques de la 2-méthylaniline, avec une adsorption un peu plus forte ainsi que du bromure (traceur), qui ne présente pas d'adsorption, figurent en annexe.

Tableau 4.2.1: Propriétés des polluants prioritaires choisis

Substance	CAS ⁽¹⁾	MW ⁽²⁾ g/mol	log K _{oc} ⁽³⁾ (K _{oc} in L/kg)	Solubilité ⁽⁴⁾ (g/L)	Valeur K ⁽⁵⁾ (µg/L)	Valeur Tox. ⁽⁶⁾ (µg/L)	Lixiviats ⁽⁷⁾ (µg/L)	Eau souterraine ⁽⁸⁾ (µg/L)	Proportion de la classe de substance ⁽⁹⁾
<u>Anilines</u>									
Aniline	62-53-3	93.2	1.7	34	50	120.0	420'000	0.05	69%
2-méthylaniline	95-53-4	107.2	2.5	16.6	nd	2.8	98'000	< ng	16%
3-méthylaniline	108-44-1	107.2	2.5	15.0	nd	3.5**	3'600	< ng	0.6%
<u>HHV</u>									
1,1,2,2-tétrachloréthane	79-34-4	166.9	1.9	2	1	0.6	2'900	90.66	3%
Dichlorméthane	75-09-2	84.9	1.0	13	20	43.0	32'500	2.37	35%
Trichloréthène	79-01-6	131.4	2.0	1.1	70	16.0	5'600	111.00	6%
<u>Benzènes</u>									
Benzène	71-43-2	78.1	1.8	1.8	10	3.5	42'000	0.05	68%
<u>Éther</u>									
Dioxane	123-91-1	88.1	0.03	> 100	nd	61.1	73'800	< ng	36%
THF	109-99-9	72.1	0.03	> 100	nd	88.5	131'000	0.50	64%
<u>Substances inorganiques</u>									
Ammonium	7664-41-7	18.0	pKa = 9.2	> 100	500	nd	1'410'000	< ng	-
Bromure	-	79.9	0	> 100	nd	nd	600'000	1'025.00	-
Zinc	-	65.4	*	*	5000	109'000.0	91'500	pas mesuré	-

(1) N° de la substance selon le Chemical Abstracts Service

(2) Poids moléculaire

(3) Coefficient de répartition carbone organique / eau

(4) Solubilité de la substance dans l'eau

(5) Concentration selon annexe 1 de l'OSites

(6) Valeurs PRG des autorités environnementales américaines pour l'eau du robinet (sur la base de l'OSites), état été 2002, voir aussi paragraphe 5.1.1 du rapport annexe 6.1 [4]

(7) Concentration moyenne dans les lixiviats drainés, voir aussi paragraphe 4.2 du rapport annexe 6.1 [4]

(8) Concentration moyenne dans le secteur du piézomètre SG 19 – SG 19b avant le début des mesures de pompage

(9) Concentration de la substance dans les lixiviats divisé par la somme des concentrations de toutes les substances de la même classe de substances

nd non défini

< ng Concentration inférieure à la limite de détection

* La solubilité et le comportement à l'adsorption du zinc varient beaucoup en fonction de la composition de l'eau

** En raison de l'analogie avec la 4-méthylaniline

4.2.2 Comportement environnemental des polluants prioritaires

Le comportement environnemental des polluants prioritaires est déterminé en priorité par les propriétés d'adsorption (c.-à-d. la mobilité) et la dégradabilité des substances. Ces propriétés sont brièvement discutées aux chapitres 4.2.2.1 et 4.2.2.2.

4.2.2.1 Comportement à l'adsorption

Substances organiques

Le comportement à l'adsorption de diverses substances organiques a été testé en laboratoire dans le cadre d'essais préliminaires effectués avec des argiles de Bonfol. La base de ces valeurs est constituée d'expériences de sorption-batch avec des échantillons solides spécifiques à l'endroit. Trois échantillons solides provenant de domaines sableux, limoneux et argileux des Argiles de Bonfol ont à chaque fois été utilisés, de même que deux échantillons provenant des Cailloutis du Sundgau (fraction fine). Lors de ces expériences, de nombreuses substances ont été analysés en plus des substances prioritaires choisies.

Les valeurs K_d moyennes pour chaque fraction de taille de particule des Argiles de Bonfol se trouvent en annexe 6.4 du rapport annexe au projet d'assainissement 6.1 [4]. Du fait des incertitudes (incertitudes expérimentales lors de la détermination des coefficients de répartition solide/eau, incertitudes analytiques lors de la détermination de la teneur en carbone organique (foc) dans les échantillons individuels), pour les calculs subséquents ce ne sont pas les valeurs K_d directement mesurées qui ont été utilisées mais une relation a été établie entre le coefficient de répartition substance solide/eau (K_d) et le coefficient de répartition entre carbone organique et eau (K_{oc}) (voir annexe 6.4 du rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4]).

Cette relation $K_d - K_{oc}$ se base sur des données pour tous les composés qui ont été utilisés lors des expériences de sorption. Ainsi, les valeurs K_d pour les substances prioritaires reposent sur une base de données bien plus importante que les simples données de sorption mesurées pour les substances prioritaires. Par comparaison avec la considération isolée de chaque substance prioritaire prise individuellement, cette relation a été estimée plus systématique et plus robuste quant aux influences des incertitudes de mesures individuelles.

Les résultats de ces essais préliminaires sont comparés au tableau 4.2.2 avec des corrélations de la littérature. Pour ces corrélations, la teneur en argile moyenne (probablement env. 40%, au minimum 20%) et la surface spécifique (probablement 40 m^2/g , au minimum 20 m^2/g) des argiles de Bonfol a été estimée.

Tableau 4.2.2: Comportement à l'adsorption des polluants prioritaires. Pour la détermination des K_d à partir des mesures de laboratoire, c'est la moyenne entre les valeurs K_d mesurées pour les fractions sableuses, limoneuses et argileuses qui a été utilisée.

Substance	Laboratoire ⁽¹⁾	K_d (L/kg)			
		SISIM ⁽²⁾		Schwarzenbach ⁽³⁾	
		Standard ⁽⁴⁾	Check Sens. ⁽⁵⁾	Standard ⁽⁴⁾	Check Sens. ⁽⁵⁾
Aniline	3.3	6.7	0.05	0.05	0.05
2-méthylaniline	4.9	7.9	0.32	0.32	0.32
3-méthylaniline	4.9	8.0	0.32	0.32	0.32
1,1,2,2-tétrachloréthane	3.6	11.2	0.08	0.13	0.11
Dichlorméthane	2.34	7.9	0.01	0.01	0.01
Trichloréthène	3.8	12.4	0.09	0.18	0.14
	0.5-3.3 ⁽⁶⁾				
Benzène	3.5	11.4	0.06	0.08	0.07
Dioxane	1.4	3.6	0.00	0.00	0.00
THF	1.4	3.6	0.00	0.00	0.00

(1) La valeur K_d découle du rapport déterminé en laboratoire entre K_{oc} et K_d

(2) SISIM: voir [12]

(3) Schwarzenbach: voir [11]

(4) Pour le scénario standard, une teneur en argile moyenne de 40% et une surface spécifique de 40 m²/g ont été retenues

(5) Pour le scénario de l'analyse de sensibilité, une teneur en argile moyenne de 20% et une surface spécifique de 20 m²/g ont été retenues

(6) K_d issu de données mesurées avec des argiles, de Gratwohl [10], p. 98

Comme il ressort du tableau 4.2.2, les valeurs K_d déterminées en laboratoire se situent aux environs des valeurs théoriques déduites ainsi que des données expérimentales supplémentaires d'autres auteurs [10]. Les valeurs K_d déterminées en laboratoire servent donc de base pour estimer l'adsorption des polluants prioritaires.

L'encaissant de la décharge se compose en majeure partie de matériau argileux. Pour ces secteurs, dans lesquels le transport de polluants a lieu principalement par diffusion, les valeurs K_d déterminées en laboratoire ont été appliquées pour la suite des calculs. Dans le cadre de l'analyse de sensibilité et pour tenir compte d'une possible saturation des surfaces d'adsorption, un scénario « adsorption faible » a également été défini. Pour ce scénario, l'adsorption est considérée comme étant dix fois inférieure à celle du scénario standard (voir tableau 4.2.3).

Comme abondamment relevé dans le rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4], quelques secteurs plus sableux sont disposés au bord de la décharge. Dans ces secteurs, le transport des polluants a lieu principalement par advection. Pour le calcul de la sorption dans ce secteur pour le scénario standard il a été admis que la sorption n'est que de moitié (ceci n'est que significatif pour les calculs de transport de substances dans les lentilles sableuses). Cette hypothèse a été faite pour des

raisons conservatrices afin de tenir compte d'une éventuelle diminution de la sorption liée à une taille des particules plus grosse (surface effective plus faible, durée de contact éventuellement réduite) bien que les valeurs de sorption mesurées pour les différentes fractions des Argiles de Bonfol aient été similaires, c'est à dire qu'elles ne présageaient pas obligatoirement une telle diminution.

Pour le scénario « adsorption faible » les mêmes valeurs ont été prises que pour l'analyse de sensibilité du transport par diffusion (voir tableau 4.2.3).

Substance inorganiques

Les méthodes présentées au tableau 4.2.2 pour la détermination des valeurs K_d ne sont pas adaptées aux substances inorganiques (c.-à-d. ammonium, bromure et zinc). Pour ces substances, l'adsorption a été définie par des calculs de spéciation ([14] à [17]).

Résultat

Le tableau 4.2.3 ci-dessous résume les valeurs K_d utilisées pour l'évaluation de la pollution résiduelle tolérable.

Tableau 4.2.3: Comportement à l'adsorption: valeurs K_d des polluants prioritaires utilisées pour les calculs effectués

Substance	K_d (L/kg)			
	Diffusion		Advection	
	Standard	Adsorption faible	Standard	Adsorption faible
<i>Substances organiques</i>				
Aniline	3.3	0.33	1.65	0.33
2-méthylaniline	4.9	0.49	2.50	0.49
3-méthylaniline	4.9	0.49	2.50	0.49
1,1,2,2-tétrachloréthane	3.6	0.36	1.80	0.36
Dichlorméthane	2.3	0.23	1.15	0.23
Trichloréthène	3.8	0.38	1.90	0.38
Benzène	3.5	0.35	1.75	0.35
Dioxane	1.4	0.14	0.70	0.14
THF	1.4	0.14	0.70	0.14
<i>Substances inorganiques</i>				
Ammonium	1.8	0.5	0.9	0.5
Bromure	0.0	0.0	0.0	0.0
Zinc	300.0	30.0	150.0	30.0

4.2.2.2 *Dégradation des substances*

Comme décrit dans le rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4], une dégradation importante des substances dégradables en milieu anaérobie a lieu dans les lentilles sableuses. Cela signifie que p. ex. les HHV présents dans les lentilles sableuses sont en grande partie dégradés biologiquement.

Lors des essais sur colonne effectués en laboratoire, la dégradabilité des substances dégradables en milieu aérobie a été vérifiée dans les Cailloutis du Sundgau. A cet effet, la dégradation d'eau polluée transitant dans les Cailloutis du Sundgau a été simulée (voir annexe 1). L'essai a montré que les substances dégradables en milieu aérobie peuvent être dégradées relativement rapidement dans les Cailloutis du Sundgau, pour autant que suffisamment d'oxygène soit à disposition, ce qui est le cas aujourd'hui.

Comme, pour des raisons de simplification, les considérations subséquentes ne prennent en compte ni la dégradation aérobie, ni celle anaérobie, la modélisation effectuée présente donc à cet égard des résultats conservatifs. C'est-à-dire que la situation est représentée de façon beaucoup plus critique qu'elle ne l'est en réalité.

4.3 Modèle de la décharge et caractérisation de la charge actuelle

La première étape de l'évaluation de la mise en danger ("Qu'est-ce qui est présent?"), voir figure 3.2) comprend la caractérisation de l'objet. Pour cela un modèle de la décharge conceptuel a été défini (chapitre 4.3.1). Sur la base de ce modèle et du bilan hydraulique de la décharge, les quantités de substances émises dans l'encaissant de la décharge et dans les lentilles sableuses au cours des 40 dernières années est évalué quantitativement (chapitre 4.3.2). Ces quantités de substances (et leur répartition) représentent la pollution résiduelle subsistant dans l'encaissant de la décharge et dans les lentilles sableuses après excavation des déchets spéciaux.

4.3.1 Le modèle de la décharge pour l'état actuel de la DIB

Le modèle pour l'état actuel de la décharge se base sur les connaissances acquises dans le rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4]. Le modèle est représenté schématiquement à la figure 4.3.1.

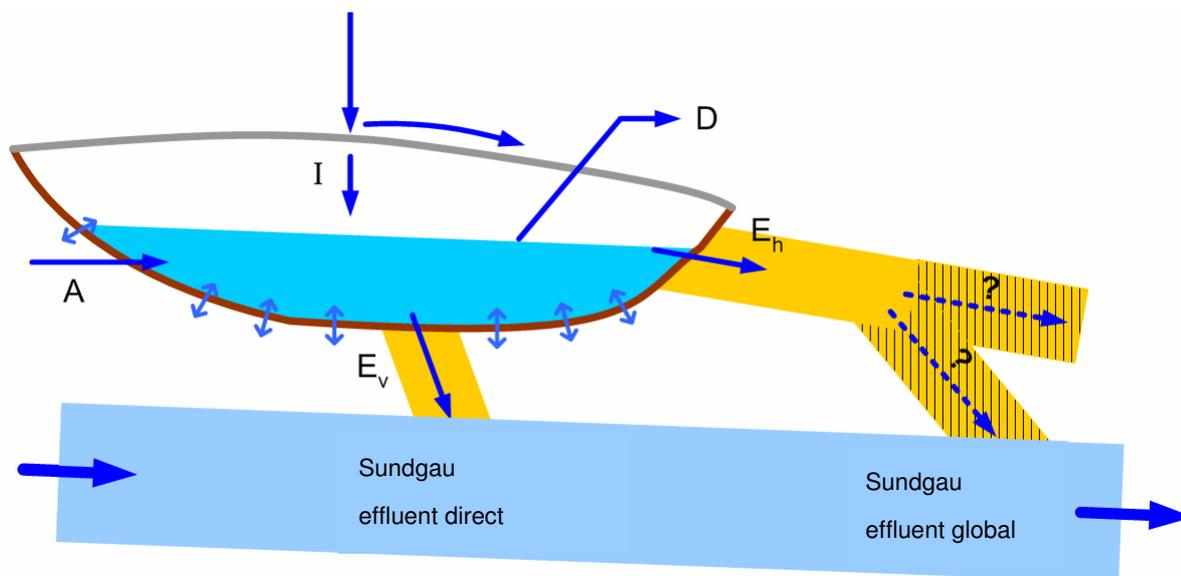


Figure 4.3.1: Modèle hydraulique de la décharge industrielle de Bonfol pour l'état actuel (brun : encaissant de la décharge, jaune: lentilles sableuses, explications supplémentaires dans le texte)

Les flèches "→" de la figure 4.3.1 décrivent les flux hydrauliques essentiels pour la décharge. Avec l'eau (de percolation), des polluants sont transférés hors de la décharge par transport advectif. En outre, des polluants pénètrent par diffusion (double flèches "↔") dans l'encaissant argileux de la décharge.

4.3.1.1 Situation hydraulique de la décharge et transport advectif

Le bilan hydraulique de la décharge durant les 40 dernières années a été décrit en détail dans le rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4]. Les résultats les plus importants sont résumés succinctement ci-dessous.

- L'infiltration des eaux de précipitation à travers le nouveau couvercle de la décharge (**I**) équivaut à seulement 0.5 à 1% des quantités annuelles, c.-à-d. **I** = 100 à 200 m³/a.
- La quantité d'eau de lixiviation (**D**) drainée et traitée sur place dans la station d'épuration est pratiquement constante depuis 5 ans et s'élève à environ 500 m³/a.
- Du côté sud de la décharge, une infiltration latérale naturelle (**A**) a lieu à travers les argiles, **A** = 300 à 450 m³/a.
- Les charges en HHV parvenant dans les cailloutis du Sundgau à l'amont de SG 19-19b correspondent à un équivalent HHV d'environ 20 m³/a de lixiviats de composition moyenne (concentration de HHV dans les lixiviats env. 92 g/m³), c.-à-d. que **E_v** s'élève à env. 20 m³/a.
- En raison des incertitudes entachant les chiffres énumérés jusqu'à présent, le bilan lixiviats-exfiltrations par les lentilles sableuses latérales (**E_h**) se situe aux alentours de 0 – 140 m³/a avec, pour la situation actuelle de la décharge, une valeur plausible de 40 m³/a.

Il est à mentionner que durant la période de niveau d'eau élevé dans la décharge (fin des années 80), les exfiltrations par les lentilles sableuses latérales étaient estimées à environ 750 m³/a [13].

4.3.1.2 Transport par diffusion

Jusqu'à l'assainissement définitif de la DIB, les argiles situées dans la partie inférieure de la fosse, c.-à-d. dans la partie de la décharge actuellement saturée (env. 12'000 m², voir chapitre 4 du rapport principal du projet d'assainissement [3]) auront été en contact avec les lixiviats de la décharge durant 40 ans environ. Les argiles de la partie supérieure de la fosse, c.-à-d. situées dans la partie de la décharge actuellement non saturée (env. 10'000 m²) ont été en contact avec les lixiviats durant 10 ans en moyenne (c.-à-d. durant la période de niveau d'eau élevé dans la décharge). En conséquence, des polluants dissous dans les lixiviats ont pu lentement pénétrer par diffusion dans l'encaissant argileux de la décharge.

Un transport par diffusion de substances par l'intermédiaire de l'air de la décharge est en principe envisageable, mais dans le cas des argiles (de Bonfol) il n'est pas significatif. Même dans la partie non saturée, la part volumique des pores remplis d'air ne se monte qu'à 5% environ. Ces pores ne sont que très peu reliés entre eux et ne contribuent donc pas de façon significative au transport des substances.

4.3.2 Evaluation quantitative de la répartition actuelle des substances

Pour l'évaluation quantitative de la répartition actuelle des substances, les processus d'advection et de diffusion sont considérés séparément. Cette simplification est admissible, les deux processus concernant des secteurs différents. Dans les lentilles sableuses le transport des polluants a lieu principalement par advection, dans les argiles nettement moins perméables principalement par diffusion.

La modélisation du transport de substances a été effectuée avec le programme TransSim de l'OFEV ([2], voir aussi <http://www.ofev.admin.ch>), en adaptant le programme aux spécificités du site. En tenant compte en particulier de i) la répartition des valeurs de perméabilité (voir annexe 2.1), ii) l'adsorption spécifique des argiles de Bonfol (voir chapitre 4.2.2.1) et iii) la diffusion dans l'eau interstitielle des argiles (voir [15]).

4.3.2.1 Estimation de la quantité et de la répartition des substances dans les lentilles sableuses

Sur la base de la répartition des valeurs de perméabilité (k) des argiles de Bonfol et du gradient moyen entre la décharge et les argiles de Bonfol, il est estimé qu'env. 6'000 m³ de lixiviats ont pénétrés **par advection dans les secteurs plus sableux au bord** de la DIB au cours des 40 années passées entre la mise en dépôt et l'assainissement (voir annexe 2). Cela correspond à un volume exfiltré d'env. 150 m³/a durant 40 ans. En faisant une estimation approximative, il est admis qu'au moins 1'000 m³ de ces 6'000 m³ de lixiviats ont déjà été transportés dans les eaux de surface ou dans les Cailloutis du Sundgau.

Les quantités maximales estimées de polluants qui se trouvent encore dans les lentilles sableuses peuvent donc être évaluées sur la base de la concentration moyenne dans les lixiviats (p.ex. 420 g/m³ pour l'aniline) et du volume total exfiltré (5'000 m³). La quantité maximale d'aniline dans les lentilles sableuses s'élève donc à env. 420 g/m³ x 5000 m³ = 2'100 kg, sans tenir compte de la dégradation biologique (voir chapitre 4.4.4.3).

La répartition spatiale moyenne actuelle de polluants dans les lentilles sableuses peut être déduite respectivement estimée à l'aide de la distribution statistique des valeurs de perméabilité (voir annexe 2.1) et des valeurs K_d définies au chapitre 4.2.2.1. La répartition de l'aniline, substance présentant un comportement à l'adsorption moyen, est représentée graphiquement à la figure 4.3.2a. Les paramètres du modèle utilisés ainsi que la répartition spatiale des polluants dans les lentilles sableuses pour la 2-méthylaniline et le bromure se trouvent à l'annexe 2.2.

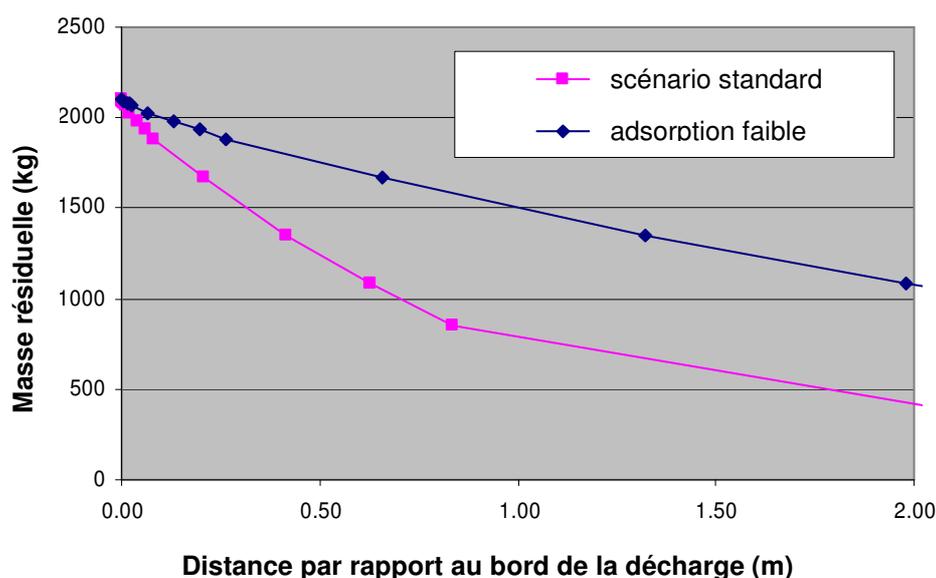


Figure 4.3.2a: Répartition moyenne calculée de l'aniline dans les lentilles sableuses.

La répartition des polluants présentée à la figure 4.3.2a ainsi qu'à l'annexe 2.2 se base sur la répartition statistique des perméabilités figurant à l'annexe 2.1 et illustre ainsi la distribution moyenne de polluants dans les lentilles sableuses. Ces types de répartition sont considérées comme représentatives pour la majeure partie des zones sableuses, car, selon les propriétés des différentes lithologies des Argiles de Bonfol présentées en [3a], les domaines sableux présentent eux aussi une perméabilité hydraulique relativement faible (max. $1-2.5 \cdot 10^{-7}$ m/s). Selon [3a] des perméabilités localement plus élevées ne peuvent être exclues. Ceci corrobore les observations effectuées dans les secteurs au Nord et à l'Ouest de la DIB, où seule la zone de la lentille sableuse AG23 montre une contamination significative.

Toutefois, en ce qui concerne la répartition effective des polluants dans les lentilles sableuses, le pouvoir de rétention des différentes voies d'écoulement est également déterminant. Selon les discussions du chapitre 4.2.2, il ne faut cependant pas s'attendre à une variation extrême des propriétés de rétention dans les zones de

l'encaissant de la décharge avec une composition moyenne prises en compte pour les calculs (c. à d. dans les zones avec des perméabilités hydrauliques comprises dans la marge de fluctuation de l'annexe 2.1).

D'un autre côté, des valeurs K_d plus faibles ne peuvent être exclues dans les zones de voies d'écoulement possédant une perméabilité plus élevée ($\gg 1 \cdot 10^{-7}$ m/s) du fait de la proportion plus faible d'argile ou de particules fines. De même, pour de telles voies d'écoulement une saturation plus élevée que la moyenne des places de sorption ne peut être exclue (les calculs effectués pour des situations moyennes reposent sur l'hypothèse conservatrice selon laquelle les places de sorption dans les voies d'écoulement significatives sont déjà occupées à moitié). Selon ces hypothèses, il faut compter avec une distance d'exfiltration plus grande dans d'éventuelles zones de perméabilités plus élevées. Au vu des incertitudes existantes il n'est toutefois pas réaliste de vouloir prévoir la propagation modélisée en détail de polluants dans ces zones. L'évaluation de la répartition des substances dans les zones sableuses repose ainsi également sur les observations faites lors des nombreux forages [3a], [21], [26].

Compte tenu des observations et mesures effectuées dans la zone de la DIB ainsi que des calculs de modélisation réalisés, la répartition actuelle dans les lentilles sableuses peut être évaluée de la manière suivante :

- Les mesures et observations compilées à l'annexe 2.1 ainsi qu'à l'annexe 5 de [3a] montrent d'une part que les zones sableuses présentent une étendue limitée, d'autre part que même pour une teneur en sable/gravier d'environ 80%, elles contiennent encore suffisamment d'argiles pour présenter une perméabilité hydraulique relativement faible de maximum environ $1 \cdot 10^{-7}$ m/s.
- Les calculs de modélisation effectués indiquent que dans ces zones, une part significative des polluants n'a été transportée que sur quelques mètres à partir du bord de la décharge.
- Selon [3a], des zones isolées présentant une perméabilité plus élevée ($\gg 1 \cdot 10^{-7}$ m/s) peuvent exister sans être toutefois hydrauliquement liées. Selon les hypothèses de modélisation appliquées ici, il ne faut s'attendre à une grande distance de transport de polluants (plusieurs dizaines de mètres) que dans de telles zones.

Les réflexions ci-dessus corroborent les observations faites dans toute une série de forages qui montrent que parmi les différentes zones sableuses seule la zone

AP25.1-AG23-AP51 est contaminée par des polluants de la DIB de manière significative.

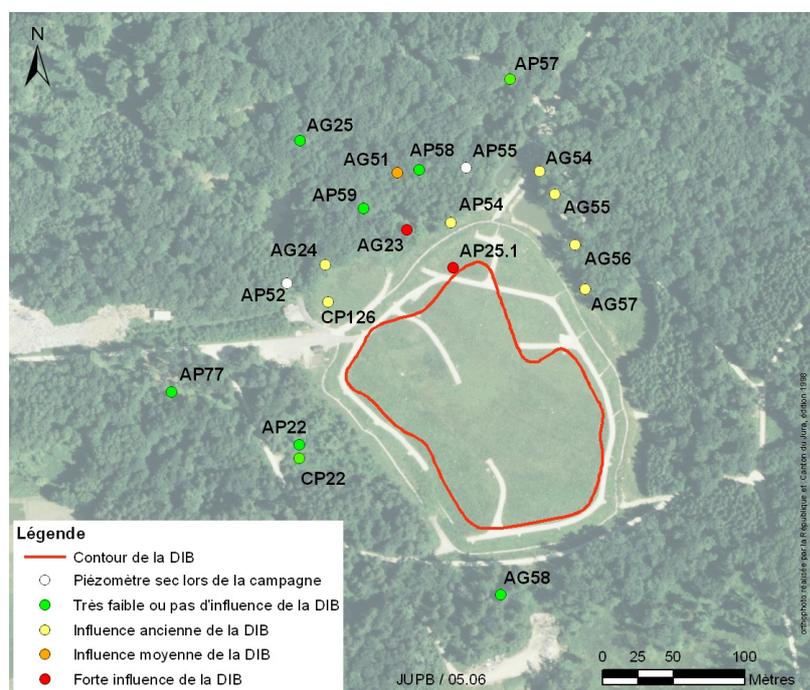


Figure 4.3.2b: Pollutions observées dans les lentilles sableuses (Données de [26])

4.3.2.2 Quantité et répartition des substances estimées dans l'encaissant argileux de la décharge

Pour estimer les émissions de substances par **transport diffusif dans l'encaissant** de la décharge, une version adaptée du modèle TransSim [2] a été appliquée. Pour cela, une différenciation a été faite entre l'encaissant saturé depuis 40 ans jusqu'à ce jour T_0 et l'encaissant actuellement non saturé T_u (voir fig. 4.3.4), mais qui fût également en contact direct avec les lixiviats durant 10 ans.

La répartition calculée de l'aniline dans les argiles de Bonfol est représentée graphiquement à la figure 4.3.3. Les paramètres de modélisation utilisés pour l'aniline ainsi que les paramètres et résultat pour la 2-méthylaniline et le bromure se trouvent à l'annexe 2.3.

Les résultats de la modélisation démontrent que les polluants n'ont pu pénétrer par diffusion que sur quelques cm ou dm dans les argiles. Une adsorption plus faible conduit à une profondeur de pénétration des polluants plus élevée, la masse totale des polluants est cependant plus faible, car le sous-sol peut alors retenir moins de substance par unité de masse.

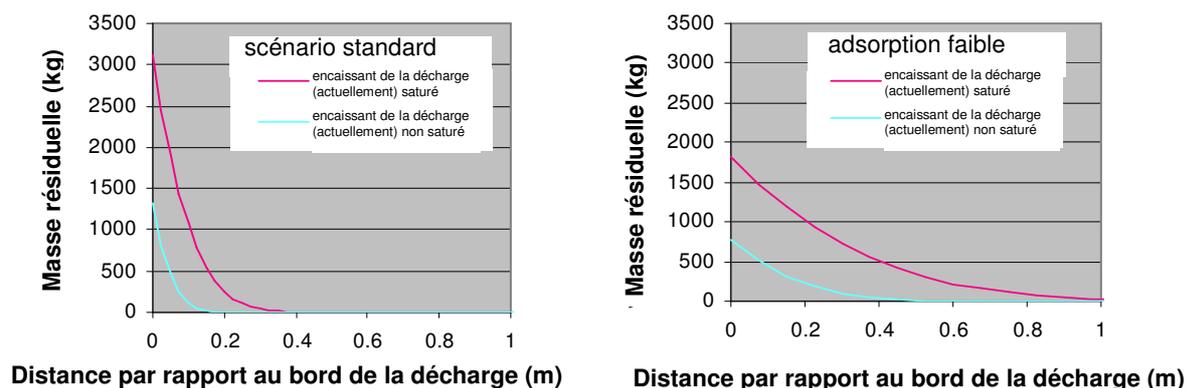
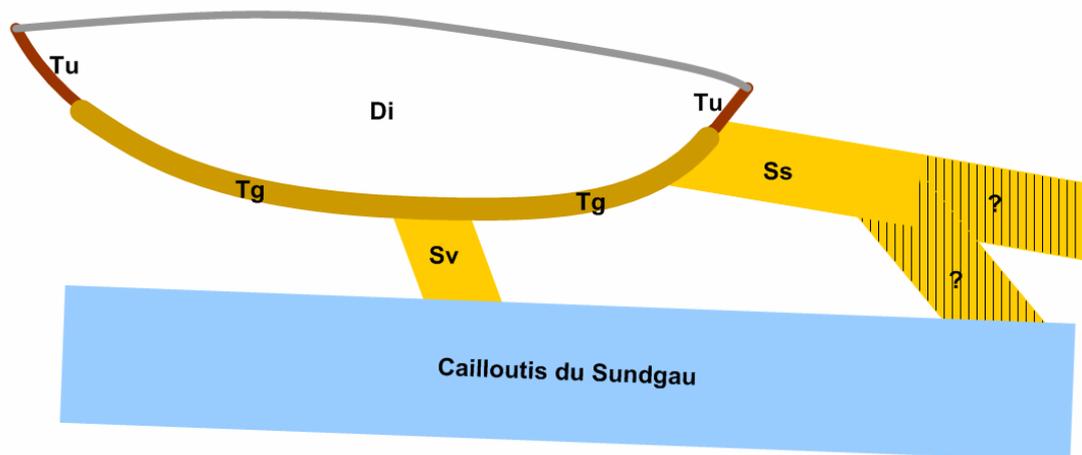


Figure 4.3.3: Répartition des substances calculée dans l'encaissant de la décharge avec l'aniline pour exemple.

4.3.2.3 Représentation des quantités actuelles de substances et de leur répartition

En se basant sur les évaluations effectuées dans les deux précédents chapitres (4.3.2.1 et 4.3.2.2), les quantités de substances et leur répartition sont représentées de façon résumée pour tout le système.

La figure 4.3.4 ci-dessous représente la répartition actuelle des substances en prenant l'aniline pour exemple.



Compartment	Fraction de polluants*
Di Contenu de la décharge (déchets)	99 %
Tu Zone (actuellement) insaturée	0.2 %
Tg Zone (actuellement) saturée	0.4 %
Ss Zones sableuses latérales (surtout NE)	} 0.4 %
Sv Zones sableuses sous la DIB (amont SG19b)	

*Ex. de l'aniline; la distribution des polluants varie d'une substance à l'autre

Figure 4.3.4: Répartition estimée des polluants pour l'état actuel avec l'exemple de l'aniline

Les quantités de substances infiltrées dans les lentilles sableuses et dans l'encaissant argileux de la décharge sont représentées de façon synoptique pour tous les polluants prioritaires au tableau 4.3.1 à la page suivante. Les quantités de substances ont été estimées sans tenir compte de la dégradation.

La part des polluants organiques se trouvant encore dans la masse des déchets entreposés ou dans les argiles de Bonfol (encaissant de la décharge et lentilles sableuses) peut également être évaluée approximativement d'après les données sur l'aniline. En première approche, il est admis que les 20'000 t environ de carbone organique se trouvant dans la décharge se comportent en moyenne comme l'aniline.

Avec 0.42 g/L, l'aniline représente 2.8% du carbone organique dissous (DOC = 15 g/L) dans les lixiviats (la majeure partie du DOC se compose d'acides organiques et d'alcools, voir [9], annexe 4.13B). En supposant que l'aniline et le DOC se comportent de façon analogue, il est estimé que 170 à 230 t de carbone organique ont pénétré dans les argiles de Bonfol (selon le tableau 4.3.1 : 4.7 à 6.2 t d'aniline, divisé par 2.8%). Comme environ 20'000 t de carbone organique ont été stockés dans la décharge (voir chapitre 4 du rapport principal [3]), cette estimation signifie que les déchets entreposés dans la décharge contiennent encore environ 99% des polluants organiques.

Tableau 4.3.1: Estimation des quantités de substances (en kg) présentes dans les lentilles sableuses et dans l'encaissant argileux

Substance	Lentilles sableuses ⁽²⁾	Encaissant argileux de la décharge		Total, arrondi ⁽¹⁾
		saturé	non saturé	
<i>Scénario standard</i>				
Aniline	2'100	3'100	1'300	6'500
2-méthylaniline	490	840	350	1'680
3-méthylaniline	20	30	13	60
Dichlorméthane	160	210	90	460
1,1,2,2-tétrachloréthane	15	19	8	42
Trichloréthène	30	40	20	90
Benzène	210	330	140	680
Dioxane	370	380	160	910
THF	660	710	300	1'670
Ammonium	7'000	11'000	5'000	23'000
Zinc	500	5'300	2'200	8'000
Bromure	3'000	1'800	800	5'600
<i>Scénario adsorption faible</i>				
Aniline	2'100	1'800	800	4'700
2-méthylaniline	490	460	190	1'140
3-méthylaniline	20	20	8	50
Dichlorméthane	160	130	50	340
1,1,2,2-tétrachloréthane	15	11	5	31
Trichloréthène	28	23	10	61
Benzène	210	190	80	480
Dioxane	370	270	110	750
THF	660	500	210	1'370
Ammonium	7'000	10'000	4'000	21'000
Zinc	500	2'400	1'000	3'900
Bromure	3'000	2'600	1'100	6'700

⁽¹⁾Somme des masses présentes dans les lentilles et l'encaissant de la décharge

⁽²⁾La masse totale des substances dans les lentilles sableuses se compose de la part située dans les lentilles sableuses latérales (env. 85-95%, selon la substance) et la part dans les lentilles verticales (env. 5-15%, selon la substance)

Les quantités de substances indiquées au tableau 4.3.1 (et leur répartition) représentent donc la pollution résiduelle dans l'encaissant de la décharge et les lentilles sableuses après excavation des déchets spéciaux (sans prises en compte de la dégradation biologique/chimique) ("Qu'est-ce qui est présent?", voir aussi figure 3.2).

4.4 Description de la décharge après assainissement

Le chapitre 4.4 répond aux questions 2 à 5 selon la figure 3.2. Pour répondre à la question *"Qu'est-ce qui peut se passer?"*, c.-à-d. pour évaluer les risques après l'assainissement, un modèle conceptuel pour la fosse assainie et remblayée est établi au chapitre 4.4.1. Au chapitre 4.4.2, les exigences de l'OSites concernant les objectifs d'assainissement pour les biens à protéger servent de base pour répondre à la question *"Qu'est-ce qui a le droit de se passer?"*.

Comme déjà évoqué au chapitre 1.3, il n'est techniquement quasiment pas possible et pas judicieux pour l'environnement considéré dans son ensemble d'éliminer la totalité des polluants par excavation ou autres mesures. Selon les objectifs d'assainissement pour les biens à protéger, la *charge résiduelle tolérable* est déduite dans les chapitres suivants sur la base des estimations quantitatives des émissions et immissions pour le modèle de la fosse remblayée pour

- i. l'encaissant argileux de la décharge (chapitre 4.4.3),
- ii. les lentilles sableuses (chapitre 4.4.4) et
- iii. le matériau de remblayage de la fosse (chapitre 4.5.5)

C'est-à-dire que les questions (*"Qu'est-ce qui est nécessaire?"*) et le cas échéant (*"Qu'est-ce qui pourrait être fait?"*) sont traitées séparément pour les trois éléments ou secteurs énoncés de la fosse remblayée (comme indiqué au chapitre 4.4.5, le matériau de remblayage, point iii, doit remplir les exigences relatives aux matériaux d'excavation tolérable selon la DME). Cela rend les évaluations plus transparentes, car une prise en compte parallèle de tous les trois secteurs simulerait une précision du modèle qui ne peut pas être atteinte avec une modélisation simplifiée de la réalité.

4.4.1 Modèle pour la fosse assainie et remblayée

La figure 4.4.1 montre le modèle de la fosse assainie 10 ans après le remblayage et la revégétalisation.

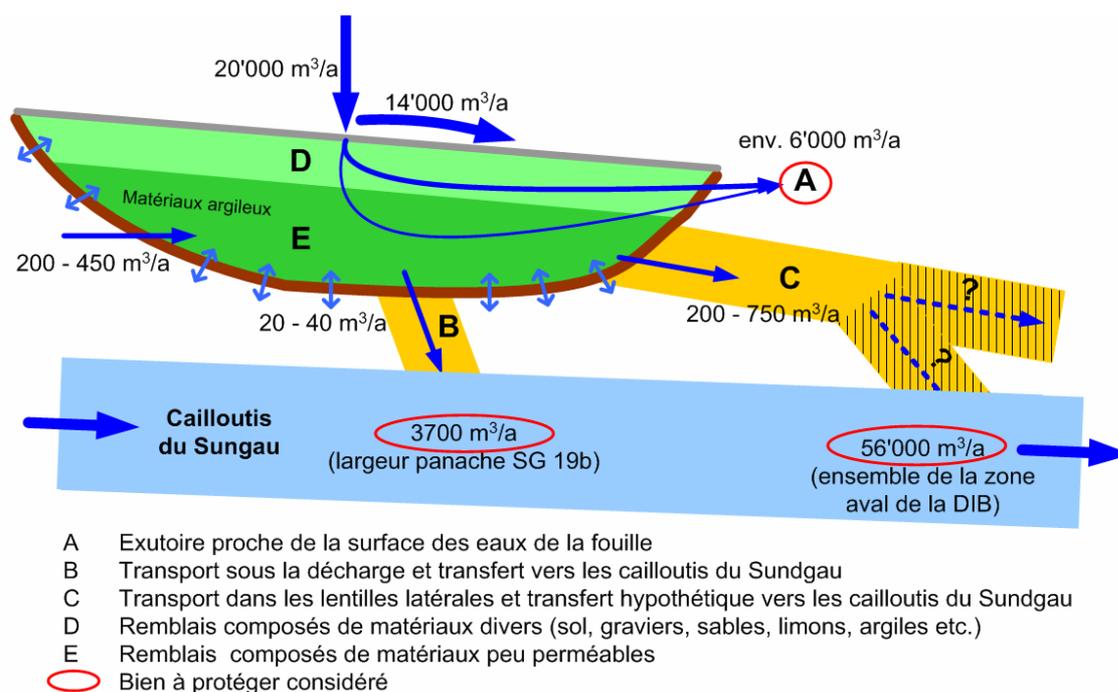


Figure 4.4.1: Modèle conceptuel de la fosse assainie et remblayée

En accord avec le concept de remblayage (voir chapitre 7.9 du rapport principal du projet d'assainissement [3] et rapport annexe du projet d'assainissement 7.5 [6]), le modèle tient compte du fait que dans la partie inférieure de la fosse, environ 90'000 m³ de matériau peu perméable sont entreposés, tandis que dans la partie supérieures, env. 60'000 m³ de matériau plus perméables sont utilisés. Diverses réflexions d'ordre hydraulique ainsi que relative à la technique de construction et au transport des matériaux ont mené à la conclusion qu'une telle compartimentation grossière de la fosse constituait l'option de remblayage la plus adaptée.

Il est à noter ici que la valeur des divers paramètres de modélisation ne peut pas être déterminée de façon exacte. Tous les calculs ont donc été effectués pour différents sets de paramètres. Les scénarios "standard" et "adsorption faible et exfiltrations plus importantes" sont documentés aux chapitres 4.4.3 à 4.4.5. D'autres évaluations ont été effectuées pour l'analyse de sensibilité, elles ne sont toutefois pas décrites de façon détaillée dans ce rapport.

4.4.1.1 Bilan hydrique de la fosse remblayée

La fosse remblayée restera une cuve étanche et se remplira donc à nouveau progressivement d'eau météorique. En partant d'un taux d'infiltration d'env. 30%, la fosse se remplira à nouveau en env. 5 ans (infiltration = 30% de 20'000 m³/a = 6'000 m³/a ; porosité effective du remblayage de 150'000 m³ y compris couverture env. 20%, c.-à-d. 30'000 m³ d'eau). Jusqu'à ce qu'un nouvel état d'équilibre respecti-

vement Steady-State s'établit, il faut compter avec 5 années supplémentaires. Une fois le nouvel équilibre hydraulique atteint, il est prévu que

- la majeure partie des eaux de précipitation infiltrées ne circule que dans la partie supérieure du remblayage (**secteur d**, voir figure 4.4.1), tandis qu'un dixième atteindra les parties inférieures du remblayage (**secteur e**). L'eau circulant dans les parties supérieures et inférieures du remblayage, s'exfiltrera principalement près de la surface (c.-à-d. par exemple surtout en direction de l'ancienne tranchée ferroviaire, **cheminement a**) (env. 6'000 m³/a) ;
- les infiltrations latérales dans la fosse se poursuivront (flèche de gauche sur la figure 4.4.1). Celles-ci seront du même ordre de grandeur que les infiltrations latérales actuelles respectivement un peu plus faibles en raison du niveau d'eau supérieur dans la fosse, c.-à-d. 200 à 450 m³/a ;
- l'exfiltration par les lentilles sableuses verticales (**cheminement b**) pourrait être identique ou, en raison de la plus forte pression hydraulique, peut-être le double de l'exfiltration actuelle : 20 à 40 m³/a ;
- l'exfiltration par les lentilles sableuses latérales (**cheminement c**) sera plus grande qu'aujourd'hui, correspondant au maximum à la situation de la fin des années 80 : 200 à 750 m³/a.

Le comportement des substances (c.-à-d. le transport supplémentaire possible par advection, "→", et par diffusion, "↔"), dans (i) l'encaissant argileux de la décharge et (ii) dans les secteurs sableux, est discuté dans les chapitres 4.4.3 - 4.4.4 ci-après.

4.4.2 Concentrations admissibles dans les biens à protéger

En accord avec les objectifs fixés au chapitre 1.2, les mesures d'assainissement doivent permettre que 10 ans après la fin de l'assainissement (c.-à-d. après avoir atteint le nouvel état d'équilibre hydraulique), les concentrations des polluants dans les exutoires proches de la surface et dans les eaux souterraines répondent aux exigences de l'OSites.

Pour l'évaluation des émissions possibles dans les Cailloutis du Sundgau par l'intermédiaire des lentilles sableuses (transport advectif, cheminements b et c) ainsi que des immissions résultantes, l'aval immédiat de la décharge selon l'OSites est défini comme suit (voir figure 4.4.1) :

- pour les émissions par les lentilles sableuses verticales: un emplacement en aval immédiat de la décharge avec un débit d'eaux souterraines de 3'700 m³ (corres-

pendant à une section d'eau souterraine de 20 m de large en aval de la décharge, similaire à la situation au piézomètre SG 19b).

- pour les émissions par les lentilles sableuses latérales : actuellement il n'est pas connu si et où il y a d'éventuelles émissions dans les Cailloutis du Sundgau par l'intermédiaire des lentilles sableuses. Jusqu'à présent, les analyses d'eau souterraines dans l'aval plus éloigné indiquent que, s'il y a un apport, celui-ci s'effectue de façon diffuse. La zone en aval de ces lentilles est donc définie comme correspondant à la zone de l'aval global de la fosse, avec un débit annuel de 56'000 m³.

Le tableau 4.4.1 ci-dessous résume les objectifs d'assainissement pour les biens à protéger selon les articles 9 et 10 de l'OSites.

Pour les substances pour lesquelles l'OSites ne définit pas de valeur K (valeur de concentration selon annexe 1), la "valeur tox" selon le tableau 4.2.1 à été appliquée en lieu et place de la valeur K (voir aussi le rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4])

Tableau 4.4.1: Objectifs d'assainissements pour les biens à protéger 10 ans après finalisation de l'assainissement

Cheminement*	Point d'observation / Bien à protéger	Concentration moyenne maximale **
a	Ecoulement proche de la surface	< 10 x valeur K de l'OSites
b	Cailloutis du Sundgau, aval immédiat	< 2 x valeur K de l'OSites
c	Cailloutis du Sundgau, aval global	< 2 x valeur K de l'OSites

* voir figure 4.4.1

** Zone B de protection des eaux

Le respect de ces valeurs pour les trois cheminements possibles (A, B, C) permet de garantir la protection des sources émergeant à l'aval plus éloigné de la décharge.

Une déviation des objectifs cités ci-dessus est envisageable, si les conditions selon l'art. 15 de l'OSites (voir chapitre 1.2) sont remplies de façon cumulative.

4.4.3 Evaluation des impacts possibles de l'encaissant de la décharge pollué sur les biens à protéger

Après l'assainissement, une partie de la pollution résiduelle dans l'encaissant de la décharge sera transporté – en raison de l'inversement du gradient de concentration au bord de la fosse entre les argiles naturelles et le matériau de remblayage moins pollué – lentement par diffusion inversée (↔) dans la fosse remblayée (**secteur d** et

e sur la figure 4.4.1). Tout d'abord il est montré, *ce qu'il peut advenir* de ces substances rediffusant de l'encaissant vers la fosse remblayée.

4.4.3.1 Modèle pour l'évaluation des impacts possibles dus à la pollution résiduelle

Rediffusion à partir de l'encaissant

La quantité de polluants rediffusant depuis l'encaissant (actuellement) non saturé (T_u , voir figure 4.3.4) et depuis l'encaissant (actuellement) saturé (T_g) vers la fosse a été calculée avec une version adaptée du modèle TransSim [2]. Les hypothèses retenues sont énumérées à l'annexe 3.1.

La figure 4.4.2 présente les taux de rediffusion pour l'aniline dans le cas où tout l'encaissant contaminé serait laissé en place. Les résultats correspondants pour la 2-méthylaniline et le bromure se trouvent à l'annexe 3.2a.

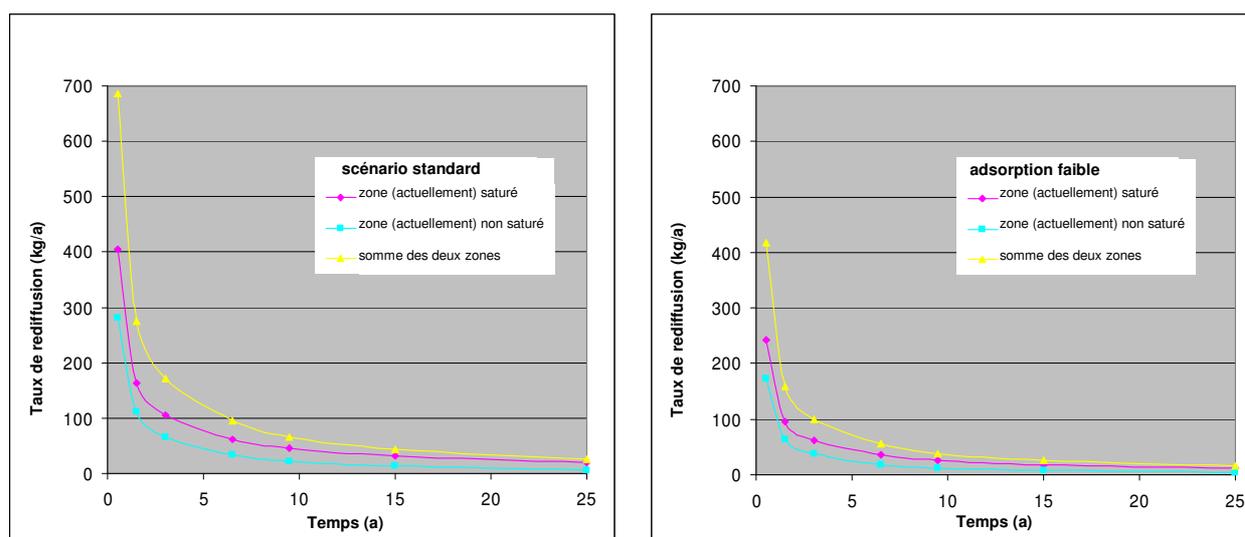


Figure 4.4.2: Taux de rediffusion pour l'aniline à partir de l'encaissant de la décharge

Répartition des substances rediffusées

Les parts respectives des substances rediffusées qui sont transportées vers un écoulement superficiel ou vers les lentilles sableuses ou qui sont à nouveau adsorbées dans le matériau remblayé sont résumées au tableau 4.4.2.

Les paramètres recensés dans le tableau représentent des valeurs plausibles (voir annexe 3.2b) qui ne peuvent toutefois pas être "calculées" par un modèle. La prise en compte d'un scénario standard (avec les valeurs les plus plausibles du point de vue actuel) et d'un scénario avec une adsorption plus faible et des exfiltrations plus importantes permet de contourner le problème des valeurs imprécises pour les paramètres de modélisation en prenant en considération une fourchette de valeurs raisonnable.

Tableau 4.4.2: Répartition estimée des substances rediffusées à partir de l'encaissant de la décharge

	Écoulement proche de la surface	Sundgau par lentille(s) vert. lentille(s) horiz.		Adsorption dans le remblai
<i>Scénario standard</i>				
(actuellement) zone non saturée	50%	0%	0%	50%
(actuellement) zone saturée	10%	0.9%	9.1%	80%
<i>Scénario adsorption faible et exfiltrations plus importantes</i>				
(actuellement) zone non saturée	50%	0%	0%	50%
(actuellement) zone saturée	10%	2%	38%	50%

4.4.3.2 Evaluation de la pollution résiduelle tolérable

Sur la base des taux de rediffusion calculés et de la répartition des substances rediffusés calculés selon le tableau 4.4.2, les émissions sont calculées pour les cheminements a, b et c (voir figure 4.4.1) et les concentrations résultantes en a (écoulement proche de la surface) dans l'aval immédiat dans les Cailloutis du Sundgau (par le cheminement b) et dans l'aval global dans les Cailloutis du Sundgau (par le cheminement c).

La comparaison de ces concentrations dans les biens à protéger avec les l'objectifs d'assainissement proposés (tableau 4.4.1) fournit la réponse à la question "Qu'est-ce qui est nécessaire?" (selon la figure 3.2).

Pour le scénario standard, le tableau 4.4.3 indique le "facteur de dépassement" respectif, au-delà duquel l'objectif d'assainissement correspondant (selon l'OSites) est dépassé. Pour les valeurs surlignées en jaune, l'objectif d'assainissement est dépassé d'un facteur équivalent à ce qui figure dans le tableau. Pour les valeurs <1, l'objectif d'assainissement correspondant est respecté.

Pour l'aniline p. ex., la modélisation indique que la concentration dans l'écoulement proche de la surface (a) dépasse l'objectif d'assainissement (= valeur K * 10 = 500 µg/l) d'un facteur 5 et s'élève donc à 2500 µg/l.

Les résultats figurant au tableau 4.4.3 démontrent que sans décapage partiel des argiles polluées, il ne peut être garanti que les objectifs d'assainissement définis au chapitre 4.4.2 soient atteints.

Tableau 4.4.3: Comparaison des concentrations dans les biens à protéger, estimées sur la base des émissions en provenance de l'encaissant de la décharge non décapé, avec les objectifs d'assainissement, pour le scénario standard

Substance	Valeur K* (µg/L)	Facteur de dépassement de l'objectif d'assainissement		
		Écoulement superficiel (cheminement a)	Sundgau SG 19b (cheminement b)	En aval du Sundgau (cheminement c)
Aniline	50.0	5.0	1.1	0.7
2-méthylaniline	2.8	22.0	5.3	3.5
3-méthylaniline	3.5	0.5	0.2	0.1
Dichlorméthane	20.0	0.9	0.2	0.1
1,1,2,2-tétrachloréthane	1.0	1.8	0.4	0.2
Trichloréthène	70.0	0.045	0.006	0.004
Benzène	10.0	2.7	0.6	0.4
Dioxane	61.0	0.5	0.1	0.1
THF	88.0	0.6	0.1	0.1
Ammonium	500.0	1.7	0.4	0.3
Zinc	5'000.0	0.1	0.0	0.0
Bromure	-			

* Pour les méthylanilines, le dioxane et le THF, la valeur de toxicité est appliquée en lieu et place de la valeur K selon l'OSites (voir tableau 4.2.1)

Une réponse possible et réaliste à la question Qu'est-ce qui pourrait être fait? (voir figure 3.2) a déjà été donnée, à savoir réduire la quantité de polluants résiduelle dans l'encaissant de la décharge, p. ex. avec un décapage par couches. Mais de combien Qu'est-ce qui est nécessaire? ? Pour cela, la modélisation est répétée jusqu'à ce que tous les facteurs de dépassement des objectifs d'assainissement soient ≤ 1 , c'est-à-dire jusqu'à ce que les objectifs d'assainissement soient atteints pour toutes les substances et tous les cheminements (a, b, c). A cet effet, l'encaissant de la décharge (dont la surface est considérée comme étant contaminé de façon homogène) est virtuellement décapé par couches et éliminé. La pollution résiduelle utilisée comme condition de départ lors de chaque modélisation est alors réduite au fur et à mesure de l'avancement du décapage.

Le tableau 4.4.4 (voir page suivante) présente les résultats de cette procédure itérative. Dans la partie centrale du tableau figurent surlignés en gris les facteurs de dépassement (< 1) pour lesquels les calculs itératifs ont été effectués. Dans la partie

droite, la profondeur d'excavation (en mètres) présentée indique jusqu'à quelle profondeur l'encaissant doit être décapé afin que l'objectif d'assainissement soit atteint.

Ainsi, l'objectif d'assainissement peut être atteint (facteur de dépassement <1) p. ex. pour l'aniline avec le cheminement (a) en décapant 18 cm de l'encaissant actuellement saturé et 9 cm de l'encaissant actuellement non saturé. Les plus grandes profondeurs d'excavation du tableau, c.-à-d. 22 cm pour l'encaissant actuellement saturé et 11 cm pour l'encaissant actuellement non saturé pour la 2-méthylaniline avec le cheminement A, sont déterminantes pour le décapage. Elles portent le volume à excaver à 3'700 m³.

Tableau 4.4.4: Mesures de décapage envisageables dans la zone de l'encaissant pour atteindre les objectifs d'assainissement pour le scénario standard

Substance	Valeur K* (µg/L)	Facteur de dépassement de l'objectif d'assainissement			Profondeur d'excavation** (m)		
		Écoulement superficiel (cheminement a)	Sundgau SG 19b (cheminement b)	En aval du Sundgau (cheminement c)	Écoulement superficiel (cheminement a)	Sundgau SG 19b (cheminement b)	En aval du Sundgau (cheminement c)
Aniline	50.0	< 1	< 1	0.7	0.18	0.02	0.0
2-méthylaniline	2.8	< 1	< 1	< 1	0.22	0.15	0.12
3-méthylaniline	3.5	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
Dichlorméthane	20.0	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
1,1,2,2-tétrachloréthane	1.0	< 1	0.4	0.2	0.08	0.0	0.0
Trichloréthène	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Benzène	10.0	< 1	0.6	0.4	0.13	0.0	0.0
Dioxane	61.0	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
THF	88.0	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
Ammonium	500.0	< 1	0.4	0.3	0.15	0.0	0.0
Zinc	5'000.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bromure	-				0.0	0.0	0.0
Volumes excavés (m ³)					3700	2500	2000

* Pour les méthylanilines, le dioxane et le THF, la valeur de toxicité est appliquée en lieu et place de la valeur K selon l'OSites (voir tableau 4.2.1)

**Profondeurs d'excavation (m) pour la zone saturée (pour la zone temporairement non saturée, la profondeur d'excavation est de moitié)

Les paramètres de modélisation et les calculs et résultats correspondant pour le scénario "adsorption faible et exfiltrations plus importantes" figurent aux annexes 3.3a et 3.3b.

Pour le scénario "adsorption faible et exfiltrations plus importantes" les résultats des calculs montrent que les l'objectifs d'assainissement peuvent être atteints si environ 71 cm de l'encaissant argileux de la décharge dans la zone (actuellement) saturée et environ 35.5 cm dans la zone (actuellement) non saturée sont décapés. Cela correspond à un volume excavé de l'encaissant de 12'000 m³ environ (voir figure 3.3b).

Dans les deux scénarios et pour tous les cheminements (a, b, c), la 2-méthylaniline s'avère être la substance avec le plus grand facteur de dépassement pour le cheminement correspondant. Suivent l'aniline, l'ammonium, le benzène et le 1,1,2,2-tétrachloréthane. Sur la base de la modélisation effectuée, pour toutes les autres substances aucun dépassement des objectifs d'assainissement n'est prévu, même sans mesures concernant l'encaissant de la décharge.

4.4.3.3 Pollution résiduelle et teneurs en polluants maximales tolérables dans l'encaissant de la décharge

Pollution résiduelle dans l'encaissant de la décharge

Le tableau 4.4.5 présente la part de polluants éliminés par le décapage de la couche la plus contaminée de l'encaissant de la décharge. Y figurent en outre les teneurs moyennes calculées dans les premiers cm de l'encaissant restant. Les teneurs en polluants estimées dans l'encaissant plus profond sont décrites à l'annexe 3.3c.

Tableau 4.4.5: Part de polluants éliminée par le décapage de l'encaissant de la décharge et teneurs moyennes dans les premiers cm de l'encaissant restant

Substance	Scénario standard ⁽¹⁾		Adsorption faible, exfiltration plus importante ⁽²⁾	
	part de polluants éliminés %	teneur moyenne dans l'encaissant supérieur restant ⁽³⁾ mg/kg	part de polluants éliminés %	teneur moyenne dans l'encaissant supérieur restant ⁽³⁾ mg/kg
Aniline	94	83	95	28
2-méthylaniline	98	8.3	96	4.3
3-méthylaniline	98	0.3	96	0.2
Dichlorméthane	86	13	86	3.3
1,1,2,2-tétrachloréthane	96	0.4	95	0.1
Trichloréthène	95	1.0	93	0.4
Benzène	94	9.4	92	3.1
Dioxane	81	25	86	6.3
THF	80	47	85	12
Ammonium	72	902	85	231
Zinc	100	< 150	100	0
Bromure	33	121	63	79

⁽¹⁾ Mesures: 22 cm d'encaissant décapé dans le secteur de la décharge (actuellement) saturé et 11 cm dans le secteur (actuellement) non saturé

⁽²⁾ Mesures: 71 cm d'encaissant décapé dans le secteur de la décharge (actuellement) saturé et 35.5 cm dans le secteur (actuellement) non saturé

⁽³⁾ Teneurs calculées pour les 0-10 cm supérieurs de la partie inférieure de la décharge (actuellement saturé) respectivement pour les 0-5 cm supérieurs de la partie plus élevée de la décharge (actuellement non saturée)

Comme il ressort de ce tableau, les mesures de décapage proposées permettent d'éliminer entre 80 et 98% des polluants organiques de l'encaissant de la décharge. C'est-à-dire qu'entre 80 et 98% des env. 0.6% de la charge totale en polluants (voir figure 4.3.4) peuvent être éliminés. Autrement dit, après les mesures d'excavation proposée, env. 0.05% de la charge totale en polluant subsisteront dans l'encaissant argileux de la décharge.

Teneurs totales maximales tolérables dans l'encaissant de la décharge:

Les réflexions et calculs effectués jusqu'à présent fournissent également des critères d'évaluation afin de définir concrètement jusqu'à quelle profondeur l'encaissant doit être décapé.

Lors de la définition des valeurs du tableau 4.4.5 (issue des calculs selon chapitre 4.3.2) les lixiviats ont été considérés comme étant homogènes dans tout le périmètre de la décharge. Comme la DIB est cependant divisée en 6 compartiments (voir [8]) et que ces compartiments ont été remplis à des périodes différentes, il est probable que la composition des lixiviats et donc de l'encaissant varient localement. Cela signifie aussi que pour l'évaluation de la pollution résiduelles de l'encaissant, ce n'est pas toujours le même polluant prioritaire (p.ex. 2-méthylaniline) qui sera prépondérant.

Au cours de la modélisation présentée au chapitre 4.4.3.1 (diffusion inversée ou re-diffusion), la teneur résiduelle maximale admissible subsistant dans l'encaissant a été calculée pour chaque polluant prioritaire afin que les objectifs d'assainissement soient atteints pour les cheminements (a), (b) et (c) (voir figure 4.4.1). Ces teneurs maximales sont énumérées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4.4.6: Teneurs en polluants maximales admissibles dans l'encaissant après décapage

Substance	Scénario standard	Adsorption faible, exfiltration plus importante
	teneur moyenne maximale admissible dans l'encaissant supérieur restant* mg/kg	teneur moyenne maximale admissible dans l'encaissant supérieur restant* mg/kg
Aniline	156	75
2-méthylaniline	8.3	4.3
3-méthylaniline	36	18
Dichlorméthane	73	37
1,1,2,2-tétrachloréthane	3.5	2
Trichloréthène	351	175
Benzène	33	16
Dioxane	206	103
THF	331	165
Ammonium	1315	681
Zinc	**	**
Bromure	-	-

Italique: décapage de l'encaissant de la décharge pas nécessaire pour atteindre les objectifs d'assainissement

* Teneurs calculées pour les 0-10 cm supérieurs de la partie inférieure de la décharge (actuellement saturé) respectivement pour les 0-5 cm supérieurs de la partie plus élevée de la décharge (actuellement non saturée)

** Dans le cas du zinc, la concentration en zinc dans l'eau interstitielle de l'encaissant de la décharge (calculée) nécessaire au dépassement des objectifs d'assainissement ne peut pas être atteinte en raison de la limite de solubilité du zinc

Pour la 2-méthylaniline – le polluant prioritaire généralement prépondérant (voir tableau 4.4.3 et 4.4.4) – les teneurs calculées aux tableaux 4.4.5 et 4.4.6 restent les mêmes, tandis que les teneurs maximales admissibles (tableau 4.4.6) pour les au-

tres polluants prioritaires sont supérieures à la teneur (résiduelle) moyenne escomptée (tableau 4.4.5).

Les valeurs du tableau 4.4.6 ont été calculées selon le scénario standard et le scénario „sorption faible“. Les valeurs calculées pour les deux scénarios montrent que le facteur 10 de différence entre les valeurs K_d pour le transport par diffusion ne conduit finalement qu'à un facteur 2 de différence quant aux teneurs maximales admissibles dans l'encaissant après le décapage. Le chapitre 5 présente d'autres développements relatifs à l'interprétation et à l'application de ces teneurs maximales pour l'appréciation de l'encaissant de la décharge durant les travaux d'assainissement.

4.4.3.4 Bilan

Les objectifs d'assainissement définis au chapitre 4.4.2 selon l'OSites peuvent être atteints par des mesures d'excavation, en décapant et éliminant en moyenne env. 20 cm (scénario standard) à max. 70 cm (scénario "sorption faible et exfiltration plus importante") de l'encaissant (actuellement) saturé. Dans la zone de l'encaissant (actuellement) non saturé, en moyenne 10 à max. 35 cm doivent être décapé. Au total, 3'700 à max. 12'000 m³ de l'encaissant de la décharge doivent donc être décapé par couches afin d'atteindre les objectifs d'assainissement.

Sur la base des représentations de la modélisation relative à la fosse remblayée et des calculs effectués, des mesures supplémentaires simples peuvent être envisagées afin de réduire encore les éventuelles émissions dues à la pollution résiduelles :

- lorsqu'elles sont localisables, étanchéification des lentilles sableuses situées au bord de la décharge afin de réduire le taux d'exfiltration;
- éventuelles mesures pour favoriser la dégradation des polluants.

Dans l'état des connaissances actuelles, les mesures proposées permettent d'atteindre les objectifs d'assainissement selon l'OSites, sans que des installations techniques soient nécessaires après l'assainissement, c.-à-d. en accord avec les objectifs généraux d'assainissement pour la DIB (voir chapitre 3.2).

Les mesures à prendre doivent être adaptées aux conditions effectives rencontrées au cours de l'assainissement. L'application d'une procédure souple doit être garantie pour l'assainissement.

4.4.4 Evaluation des impacts possibles par le lessivage des polluants des lentilles sableuses

Selon les estimations du chapitre 4.3, au maximum environ 0.4% des polluants se trouvent dans les zones plus sableuses ou dans les lentilles sableuses des argiles de Bonfol. Sur ces 0.4%, la majeure partie doit se trouver à petite distance de l'encaissant de la décharge, mais une partie des polluants se trouve à quelques dizaines de mètres de distance du bord de la décharge, comme par exemple dans la zone de la lentille sableuse AG23 (voir figure 4.3.2).

L'apport en polluant dans les biens à protéger par les lentilles verticales et horizontales pour *l'état actuel de la décharge* à été abondamment discuté dans le rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4] et est résumé succinctement ci-après :

- Les teneurs en HHV parvenant dans les cailloutis du Sundgau à l'amont de SG 19-19b correspondent à un équivalent HHV d'env. 20 m³/a de lixiviats de composition moyenne (concentration de HHV dans les lixiviats env. 92 g/m³), c.-à-d. que l'apport de lixiviats par les lentilles sableuses verticales s'élève à env. 20 m³/a (voir aussi chapitre 4.3.1) ;
- Les connaissances actuelles ne permettent pas de savoir si les polluants des lentilles sableuses latérales peuvent parvenir dans les Cailloutis du Sundgau. Dans le cas hypothétique où de l'eau contaminée parviendrait dans les Cailloutis du Sundgau, l'étendue de ces émissions serait selon toute probabilité du même ordre de grandeur que celles des émissions connues par l'intermédiaire des lentilles verticales. Jusqu'à présent, aucun impact significatif n'a pu être constaté dans les Cailloutis du Sundgau.

Comme démontré au chapitre 4.4.1, de nouvelles conditions hydrauliques apparaîtront après l'assainissement dans la fosse remblayée. Les impacts envisageables de la pollution résiduelle dans les lentilles sableuses sont discutés ci-dessous.

4.4.4.1 Modèle pour l'évaluation des impacts envisageables

La quantité de polluants lessivée des lentilles sableuses verticales (S_v , voir figure 4.3.4) et latérales (S_s) et qui peut potentiellement parvenir dans les Cailloutis du Sundgau a été calculée avec une version adaptée du modèle TransSim [2]. Les hypothèses retenues sont répertoriées à l'annexe 3.1 et résumées ci-après :

- les polluants parvenus par diffusion dans les argiles ne sont pas pris en considération;

- bien qu'une dégradation anaérobie des substances ait lieu dans les lentilles sableuses (voir rapport annexe du projet d'assainissement 6.1 [4]), celle-ci n'est pas prise en compte pour l'instant dans la modélisation du lessivage ;
- les lentilles verticales en aval de la décharge sont saturées de polluants, car les substances sont actuellement déjà transférées vers les Cailloutis du Sundgau ;
- la répartition des polluants dans les lentilles est considérée comme étant homogène;
- pour les lentilles verticales et horizontales, un volume d'env. 160 m³ respectivement 5'000 m³ est admis (voir annexe 3.1)

De façon analogue au calcul de la rediffusion à partir de l'encaissant de la décharge, la modélisation du lessivage des polluants des lentilles sableuses a été effectuée ainsi bien pour le scénario standard que pour le scénario "adsorption faible et exfiltration plus importante". Les paramètres appliqués à ces deux scénarios se trouvent au tableau 4.4.7.

Tableau 4.4.7: Paramètre pour l'évaluation du lessivage des polluants des lentilles sableuses

Paramètre	Débit (m ³ /a)	Voies d'écoulements préférentiels	
		circulation de l'eau ⁽¹⁾	répartition des substances ⁽²⁾
<i>Scénario standard</i>			
lentille(s) verticale(s)	20	80%	20%
lentille(s) latérale(s)	200	80%	20%
<i>Adsorption faible et exfiltration plus importante</i>			
lentille(s) verticale(s)	40	80%	20%
lentille(s) latérale(s)	750	80%	20%

⁽¹⁾ Part de l'eau transitant par les voies d'écoulements préférentiels ou les macropores des lentilles sableuses (voir [2]).

⁽²⁾ Part des polluants se trouvant au temps t=0, c.-à-d. à la fin des travaux de remise en état du site dans les voies d'écoulements préférentiels ou les macropores (voir [2]).

La figure 4.4.3 ci-dessous indique les taux de lessivage de l'aniline des lentilles sableuses pour le scénario standard. Les taux correspondants pour l'aniline pour le scénario "adsorption faible et exfiltration plus importante" et pour les polluants prioritaires 2-méthylaniline et bromure sont représentés à l'annexe 3.4.

La figure 4.4.3 montre que le lessivage potentiel de l'aniline (et d'autres polluants) pourrait provoquer des émissions importantes sur une période de temps prolongée (> 10 ans). Les immissions pouvant en résulter sont discutées au chapitre 4.4.4.2.

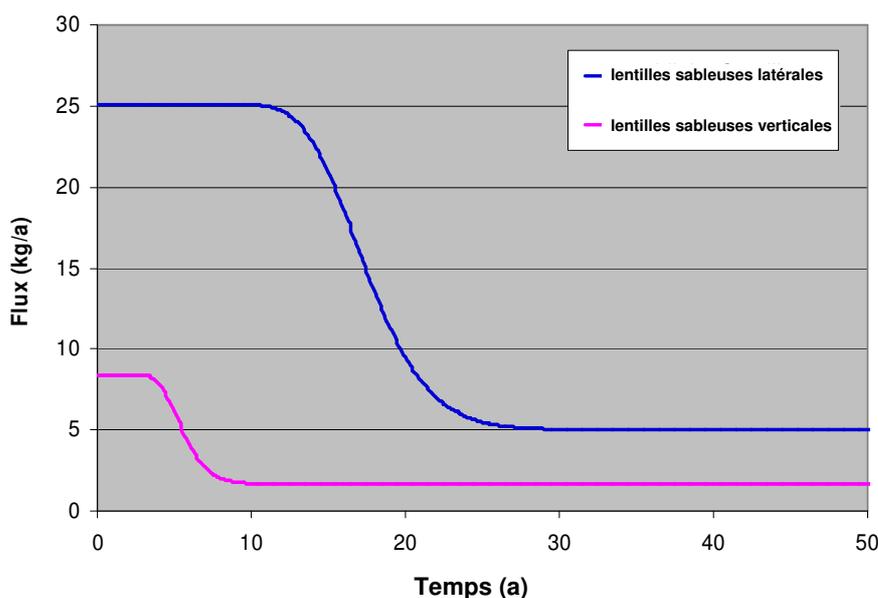


Figure 4.4.3: Taux de lessivage des lentilles sableuses calculés pour l'aniline et le scénario standard (temps t=0: date de la fin des travaux de remise en état du site)

Voies de propagation des substances lessivées

Il faut partir du principe que les polluants lessivés des lentilles sableuses *verticales* se retrouvent entièrement dans les Cailloutis du Sundgau.

L'hypothèse de travail est que les polluants lessivés des lentilles latérales se retrouvent également dans les Cailloutis du Sundgau à l'aval éloigné de la décharge.

4.4.4.2 Evaluation des immissions et mesures de réduction envisageables

Les émissions par lessivage des lentilles sableuses verticales et latérales calculées avec TransSim [2] et les concentrations résultantes dans les eaux souterraines situées à l'aval immédiat respectivement éloigné sont comparées au tableau 4.4.8 pour le scénario standard avec les objectifs d'assainissement selon l'OSites. Lorsque l'objectif d'assainissement selon le tableau 4.4.1 n'est pas respecté pour une des substances, son facteur de dépassement est indiqué (valeurs surlignées en jaune). Pour les valeurs <1, l'objectif d'assainissement est atteint.

Tableau 4.4.8: Comparaison des concentrations dans les eaux souterraines dues au lessivage des lentilles sableuses avec les objectifs d'assainissement pour le scénario standard

Substance	Valeur K* (µg/L)	Facteur de dépassement de l'objectif d'assainissement	
		Sundgau SG 19b (cheminement b)	En aval du Sundgau (cheminement c)
Aniline	50.0	4.6	4.5
2-méthylaniline	2.8	33.8	12.8
3-méthylaniline	3.5	0.98	0.37
Dichlorméthane	20.0	0.9	1.2
1,1,2,2-tétrachloréthane	1.0	1.6	1.4
Trichloréthène	70.0	0.1	0.0
Benzène	10.0	2.4	2.1
Dioxane	61.0	0.7	0.6
THF	88.0	0.8	0.8
Ammonium	500.0	1.4	2.0
Zinc	5'000.0		
Bromure	-		

* Pour les méthylanilines, le dioxane et le THF, la valeur de toxicité est appliquée en lieu et place de la valeur K

Pour l'aniline par exemple, les concentrations calculées par modélisation dix ans après l'assainissement à l'aval immédiat (cheminement b) respectivement à l'aval éloigné (cheminement c) de la décharge dépassent l'objectif d'assainissement (= valeur K * 2 = 100 µg/l) d'un facteur d'env. 4.6, respectivement 4.5 et s'élèvent donc à env. 460 µg/l (voir tableau 4.4.8).

Les "facteurs de dépassement" pour le scénario "adsorption faible et exfiltration plus importante" (voir annexe 3.4d) présentent des ordres de grandeur semblables à ceux du scénario standard.

Il faut noter qu'en raison de la géométrie très complexe des lentilles sableuses, la modélisation du lessivage représente une simplification très approximative de la réalité. Les résultats figurant au tableau 4.4.8 suggèrent néanmoins que sans mesures supplémentaires pour restreindre le lessivage des polluants des lentilles sableuses, il ne peut être garanti que les objectifs d'assainissement définis au chapitre 4.4.2 soient atteints. Cependant, la dégradation biologique avérée n'a pas été prise en compte dans le raisonnement.

Avant de répondre à la question "qu'est-ce qui pourrait être fait ?" (5^e étape sur la figure 3.2), il faut prendre en considération que les raisonnements se sont jusqu'à présent basés exclusivement sur des hypothèses worst case (y compris la non prise

en compte de la dégradation biologique avérée). C'est pourquoi dans la suite, ces raisonnements sont appliqués à une situation plus réaliste.

4.4.4.3 *Evaluation des risques pour les lentilles sableuses en prenant en compte des conditions réalistes*

Les substances dans les lentilles sableuses se trouvent à environ 90% dans les lentilles sableuses latérales (voir tableau 4.3.1). La pollution dans les secteurs plus sableux ou les lentilles sableuses n'est ainsi pas limitée au voisinage immédiat de la DIB; une partie de cette contamination s'étend localement sur une distance de quelques dizaines de mètres de la décharge. Cette partie de la contamination se distingue en deux points essentiels de la contamination localisée dans la DIB (déchets, encaissant de la décharge) :

1. Les substances présentes dans les lentilles sableuses latérales représentent une contamination déportée et non la source de polluants véritable au sens de l'OSites. *La situation des lentilles sableuses doit donc être traitée séparément du reste de l'assainissement de la DIB.*
2. Les substances dans les lentilles sableuses latérales se trouvent en dehors du système de la décharge proprement dit et ne peuvent donc pas être éliminées par excavation à un coût raisonnable. Comme une grande partie des zones sableuses se situe à une profondeur ≥ 10 m, l'excavation aurait en outre un impact disproportionné sur l'environnement.

A l'opposé, les zones sableuses contaminées juxtaposant immédiatement l'encaissant de la décharge (1-2 mètres) sont traitées en principe de manière semblable à celui-ci (voir chapitre 5). Les discussions suivantes se rapportent de ce fait principalement aux lentilles sableuses proprement-dites, resp. aux quantités de polluants qui se trouvent déjà en dehors du système de la décharge proprement-dit.

Evaluation des quantités de substances présent dans les lentilles sableuses

Dans le sens d'une analyse de risque worst case, les quantités de substances présentes dans toutes les lentilles sableuses ont jusqu'à présent été estimées sans tenir compte de la dégradation biologique :

- Pour l'évaluation des substances exfiltrées par les lentilles sableuses verticales (environ 10% de la quantité totale de substances dans toutes les lentilles sableuses), la quantité de lixiviats exfiltrée a été estimée à $20 \text{ m}^3/\text{a}$ sur la base des concentrations de HHV mesurées en SG 19-19b (voir chapitre 4.3.1.1). Il a été jusqu'à présent admis qu'avec ces volumes d'eau, d'autres substances

sont également transférées vers les Cailloutis du Sundgau, conformément à la composition moyenne des lixiviats. Cette hypothèse est réaliste pour les HHV effectivement mesurés en SG 19-19b, mais constitue une approche très pessimiste pour toutes les autres substances, car seuls les HHV sont mesurés en concentrations significatives en SG 19-19b.

- La quantité de substances exfiltrée par les lentilles sableuses latérales (env. 90% de la quantité totale de substances dans toutes les lentilles sableuses) a été estimée en partant de l'hypothèse que durant le laps de temps "mise en dépôt-assainissement de la DIB" 5'000 m³ de lixiviats se sont écoulés dans les lentilles sableuses latérales (voir 4.3.2.1) et qu'ils s'y trouvent encore entièrement et dans la même composition. Comme indiqué au chapitre 4.3.2.1, la majeure partie des 5'000 m³ est toutefois parvenue dans les lentilles sableuses vraisemblablement durant la période correspondant à des niveaux d'eau élevés dans la DIB et donc à des exfiltrations plus élevées (avant 1985). Il est possible que durant la période d'exfiltrations plus élevées, les concentrations moyennes des polluants dans les lixiviats de la partie supérieure étaient nettement plus faibles en comparaison avec les valeurs actuelles. Les raisons en sont la dilution plus importante et le mélange incomplet de l'eau s'exfiltrant.

Dans le cas des lentilles sableuses verticales, les données et connaissances actuellement à disposition ne permettent pas d'effectuer une évaluation indépendante des hypothèses retenues pour l'analyse de risque. Dans le cas des lentilles sableuses latérales, les concentrations mesurées dans la lentille sableuse AG23 peuvent servir à une telle évaluation. Par la suite, les valeurs utilisées pour l'évaluation des risques sont comparées avec des valeurs escomptées réalistes afin de montrer de façon *quantitative approximative* la situation initiale relative à la quantité de substances par rapport à la situation initiale worst case.

Les valeurs worst case estimées appliquées jusqu'à présent sont indiquées au tableau 4.4.9 suivant à la colonne 3 (voir aussi tableau 4.3.1). Pour la comparaison avec des valeurs plus réalistes, les concentrations mesurées dans les eaux de la lentille sableuse dite « AG23 » ont été utilisées. Selon les observations faites dans de nombreux forages (voir figure 4.3.2b) ainsi que les discussions dans [3a] et [26] la lentille sableuse AG23 représente la zone sableuse la plus contaminée. Cette lentille a un volume d'environ 3'200 m³ et une porosité d'environ 20% [20]; les piézomètres AG23 et AP25.1 se trouvent dans cette lentille sableuse. Les concentrations en polluants mesurées aux piézomètres AG23 et AP25.1 et les valeurs K_d figurant au tableau 4.2.3 permettent de calculer les concentrations en substances solides corres-

pondantes. La quantité totale de polluants résulte du rapport solide/liquide (porosité) et du volume estimé de cette lentille sableuse. Les valeurs ainsi estimées figurent dans le tableau ci-après (colonne 1). En outre, la colonne 4 présente le volume hypothétique d'une lentille sableuse nécessaire pour contenir la quantité worst case de polluants.

Tableau 4.4.9: Evaluation de la quantité de polluants actuellement présente dans la lentille sableuse AG23 sur la base des analyses de l'eau (piézomètre AP25.1, AG23) et des coefficients de répartition (K_d) indiqués au tableau 4.2.3.

Substance	Quantité de polluants actuelle en AG23		Quantité de polluants maximale dans toutes les lentilles sableuses (worst case) (kg)	Volume correspondant des lentilles sableuses (hypothétiquement) (m3)
	(kg)	(% du Worst Case)		
Aniline	47	2.2	2'100	144'159
2-méthylaniline	3	0.6	490	522'054
3-méthylaniline	0.8	4.0	20	77'685
Dichlorméthane	13	8.1	160	40'571
1,1,2,2-tétrachloréthane	0.06	0.4	15	808'190
Trichloréthène	0.1	0.3	30	1'021'798
Benzène	2	1.0	210	314'484
Dioxane	38	10	370	30'985
THF	73	11	660	28'984
Ammonium	130	1.9	7'000	172'885

Les valeurs indiquées au tableau 4.4.9 permettent les conclusions suivantes:

- Une comparaison des colonnes 1 et 3 montre que les quantités de polluants réellement présentes dans les lentilles sableuses devraient être nettement plus faibles que les quantités worst case prises en compte jusqu'à présent pour l'évaluation des risques.
- De plus, le volume de lentilles sableuses hypothétiquement nécessaire pour contenir la quantité worst case indiquée à la colonne 4 n'est pas réaliste. Les données et observations compilées dans [3a] et [26] indiquent que le volume de zones sableuses pourrait s'élever à environ le double et jusqu'au triple de celui de la lentille AG23. Les valeurs de perméabilités de l'annexe 2.1 indiquent également qu'il n'existe pas dans la région de la DIB des zones étendues avec une perméabilité élevée. Par ailleurs, il faut noter qu'en comparaison avec AG23 les autres zones sableuses sont nettement moins contaminées en polluants et ne représentent ainsi qu'une petite part de la quantité totale de polluants dans les lentilles sableuses.
- La quantité worst case de polluants retenue jusqu'à présent pour l'évaluation des risques peut donc être considérée comme étant très conservatrice. L'un des facteurs les plus importants à cet égard est probablement la non prise en

compte de la dégradation (biologique) lors des estimations effectuées jusqu'à présent.

- Par ailleurs, les quantités estimées de polluants introduites sont certainement déjà une estimation worst-case, comme indiqué au début de ce chapitre (voir p. 47).

Les valeurs estimées sur la base des réflexions ci-dessus permettent encore la comparaison (approximative) des quantités de polluants significatifs présents dans les lentilles sableuses avec les quantités correspondantes pouvant subsister dans la décharge sans mettre en péril les objectifs d'assainissement (quantités résiduelles selon tableau 4.4.5).

Tableau 4.4.10: Comparaison des quantités de polluants présentes dans la lentille sableuse AG23 avec les quantités de polluants subsistant dans la DIB respectivement dans l'encaissant de la décharge encore en place après l'assainissement (selon les objectifs d'assainissement).

Substance	Encaissant de la décharge après l'assainissement (kg)	Quantité actuellement présente en AG 23	
		(kg)	% de la quantité totale
Aniline	264	47	15%
2-méthylaniline	24	3	11%
3-méthylaniline	0.8	0.8	50%
Dichlorméthane	42	13	23%
1,1,2,2-tétrachloréthane	1.1	0.06	5.2%
Trichloréthène	3.0	0.1	3.0%
Benzène	28	2	7.0%
Dioxane	103	38	27%
THF	202	73	27%
Ammonium	4480	130	2.8%

La quantité de polluants présente dans la lentille sableuse AG23 correspond à environ ¼ ou moins de la quantité de polluants subsistant dans la DIB après assainissement resp. après le décapage et l'excavation de l'encaissant argileux ainsi que d'éventuels domaines sableux existant dans la zone de l'encaissant (avec l'exception de la 3-méthylaniline, non significative en comparaison de la 2-méthylaniline). Il est à noter que la quantité restante de toutes les substances prioritaires dans l'encaissant après l'assainissement est limitée par la quantité d'encaissant décapée pour atteindre l'objectif d'assainissement pour la 2-méthylaniline et représente ainsi une marge de sécurité supplémentaire. Autrement dit, s'agissant de l'atteinte des objectifs d'assainissement, tous les chiffres (sauf pour la 2-méthylaniline) de la colonne 1 du Tableau 4.4.10 seraient plus élevés (pour certains, nettement, voir. tableau 4.4.6). A

l'inverse les pourcentages de la colonne 3 seraient plus faibles. De ce fait, la quantité de substances présente dans les lentilles sableuses proprement-dites (c. à d. la quantité qui se trouve déjà en dehors du système de la décharge proprement-dit) peut être considéré comme relativement faible. Ceci est également valable dans l'hypothèse que le volume des lentilles sableuses proprement-dites est 2 à 3 fois plus élevé que celui de AG23.

Bilan de la teneur en polluants dans les lentilles sableuses:

En résumé, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- i) Le système des lentilles sableuses latérales est relativement stable;
- ii) il n'y a pas d'émissions non contrôlées significatives;
- iii) toutes les mesures et observations existantes indiquent que seule la lentille sableuse AG23 est significativement contaminée par des polluants;
- iv) la quantité globale de polluants présente dans les lentilles sableuses est selon toute vraisemblance relativement faible.

Ces conclusions sont compatibles avec les derniers résultats des campagnes de forages les plus récentes [21].

Influence de la dégradation (biologique) des polluants

L'importance de la dégradation biologique peut être évaluée sommairement en comparant la concentration de substances significatives le long des directions d'écoulement générales des lixiviats et des eaux souterraines. Les valeurs correspondantes figurent au tableau 4.4.11.

Tableau 4.4.11: Evolution des concentrations (en µg/L) dans la lentille sableuse AG23 (analyses effectuées en 2006, les exceptions figurent *en italique*).

Substance	Lixiviats décharge	AP25.1	Facteur de réduction	AG23	Facteur de réduction
Aniline	235'000	5'240	45	6'070	39
2-méthylaniline	72'700	310	235	184	395
3-méthylaniline	3'130	46	68	90	35
Dichlorméthane	27'400	2'780	10	45	609
1,1,2,2-tétrachloréthane	3'240	<10	>324	<10	>324
Trichloréthène	4'740	<10	>474	<10	>474
Benzène	49'100	265	185	226	217
Dioxane	32'200	11'400	3	8'370	4
THF	79'100	20'000	4	17'700	4
Ammonium	<i>1'410'000</i>	<i>47'400</i>	30	<i>6'730</i>	210
DOC	13'500'000	4'040'000	3	1'440'000	9
Chlorure	8'710'000	6550000	1.3	4100000	2.1
Bromure	619'000	809'000	0.8	624'000	1.0
Zinc	<i>91'500</i>	<i>17'700</i>	5	<i>2'070</i>	44

La diminution des concentrations en polluants dans les lentilles sableuses est en générale nettement plus élevée que le facteur de dilution correspondant, celui-ci étant estimé sur la base des chiffres pour les chlorures à 2 au maximum. La concentration de nombreux polluants situés dans les lentilles sableuses est donc nettement abaissée par dégradation (biologique) par rapport à la concentration dans les lixiviats de la décharge.

Il est frappant que le carbone organique total dissous (représenté par le DOC) présente une mauvaise dégradation dans la lentille sableuse. Ceci peut être expliqué comme suit : une grande partie du DOC est constitué d'alcools, d'acide gras et de cétones (voir annexe 4.13 B en [9]), difficilement dégradables en conditions anaérobies (telles qu'elles prédominent dans les lentilles sableuses, p.ex. AG23). Ceci concorde avec l'observation faite de la faible dégradation du DOC dans l'étape de traitement anaérobie de la STEP (selon [22], seuls env. 19% du DOC est dégradable en condition d'anaérobie). Par contre, les hydrocarbures chlorés sont en règle générale facilement dégradables dans ces conditions.

Pertinence des calcul worst case

Les résultats des calculs worst case du présent rapport (voir aussi chapitre 4.4.2.2) montrent que dans de telles conditions, des immissions significatives ne peuvent pas être exclues avec certitude. Dans ce rapport, il est plusieurs fois explicitement relevé que la dégradation biologique et chimique des polluants (qui peut être escomptée de

façon réaliste, voir ci-dessus) a été complètement négligée (dans le sens d'une appréciation worst case).

Le caractère worst case des calculs basés sur les chiffres du tableau 4.3.1 peut également être illustré par la comparaison des teneurs totales effectivement mesurées avec les teneurs totales (plusieurs fois plus élevées) retenues pour les calculs (voir tableau 4.4.9) : en tenant compte des quantités totales effectivement présentes dans la lentille sableuse AG23, les facteurs de dépassement calculés pour les polluants prioritaires se situent nettement <1 pour l'aval global dans les Cailloutis du Sundgau (cheminement c) ; c.-à-d. que les objectifs d'assainissement selon l'OSites ne sont pas dépassés. Le tableau 4.4.12 présente de façon résumée les facteurs de dépassement selon le worst case (du tableau 4.4.8) et selon les quantités de substances présentes en AG23. En outre, la dernière colonne du tableau 4.4.12 indique les quantités de substances pour lesquels l'objectif d'assainissement est tout juste atteint (c.-à-d. pour lesquels le facteur de dépassement est de 1.0 pour le cheminement c). Une comparaison de ces chiffres montre que du fait de la procédure choisie pour établir les objectifs d'assainissement (qui se base en réalité sur les hypothèses worst case) il subsiste de grandes marges de sécurité en ce qui concerne le respect des exigences selon l'OSites. Ceci reste le cas également si la quantité de substances effectivement présente dans les lentilles sableuses latérales était nettement supérieure à la quantité de substances en AG23.

Tableau 4.4.12: Comparaison des concentrations estimées dans les eaux souterraines dues au lessivage dans les lentilles sableuses latérales avec les objectifs d'assainissement pour le scénario standard (facteur de dépassement pour le cheminement c) ainsi que quantités hypothétiques de substances pour lesquelles l'objectif d'assainissement est juste atteint (c.-à-d. avec un facteur de dépassement de 1.0 pour le cheminement c).

Substance	Valeur K* (µg/L)	Facteur de dépassement de l'objectif d'assainissement en aval du Sundgau (cheminement c)		Quantité max. de substances pour laquelle l'objectif d'assainissement encore atteint
		Worst Case	quantité de substances en AG 23	
Aniline	50.0	4.5	0.1	425
2-méthylaniline	2.8	12.8	0.1	33
3-méthylaniline	3.5	0.37	0.0	42
Dichlorméthane	20.0	1.2	0.1	130
1,1,2,2-tétrachloréthane	1.0	1.4	0.0	9
Trichloréthène	70.0	0.0	0.0	668
Benzène	10.0	2.1	0.0	88
Dioxane	61.0	0.6	0.1	545
THF	88.0	0.8	0.1	771
Ammonium	500.0	2.0	0.0	3377
Zinc	5'000.0			
Bromure	-			

Bilan de l'évaluation des risques pour les lentilles sableuses pour des conditions réalistes

Par rapport aux polluants présents dans les lentilles sableuses latérales (après l'assainissement), le bilan suivant peut être tiré :

- Le système des lentilles sableuses (actuellement connues ou non) est dans un état stable.
- Il n'y a pas d'émissions significatives, respectivement non contrôlées, il s'agit donc d'un système étanche.
- Une dégradation (biologique) naturelle des polluants a lieu, son ampleur est importante.
- Les quantités de polluants présentes dans les lentilles sableuses peuvent être considérées comme étant relativement faibles et compatibles avec les objectifs d'assainissement.

Il en résulte les points suivants pour la suite de la procédure, afin de minimiser la probabilité, respectivement les conséquences d'un transfert de polluants des lentilles sableuses vers les biens à protéger:

- Maintenir l'équilibre existant actuellement dans les lentilles sableuses latérales afin de garantir la (bio)dégradation qui s'y déroule ;
- avant le remblayage de la DIB, assurer l'étanchéité latérale de l'encaissant de la décharge par rapport aux lentilles sableuses ;
- en particulier lors de l'éventuelle découverte de zones sableuses (ou relativement perméables) dans l'encaissant de la décharge, décider si en plus de l'étanchéification de ces secteurs, une stimulation de la (bio)dégradation serait envisageable. Ceci pourrait s'effectuer p. ex. par l'apport d'un substrat carboné (p.ex. mélasse) ou aussi de fer de valence nulle. Les détails de ces possibilités doivent encore être examinés dans le cadre du projet d'exécution. Les zones sableuses à proximité immédiate de l'encaissant de la décharge avec des perméabilités plus faibles et une concentration en polluants analogue à celle des zones argileuses seront également excavées dans le cadre du décapage.

4.4.5 Evaluation des impacts possibles issus du lessivage de polluants dans le matériau remblayé

Comme mis en évidence au chapitre 4.4.4 du rapport principal du projet d'assainissement, env. 4'000 à 7'500 m³ de matériau faiblement pollué seront produits dans le cadre de l'assainissement définitif de la DIB (en premier lieu en provenance de l'ancien couvercle de la décharge). Ce matériau n'est pas excavé parce qu'il provoquerait des impacts inadmissibles sur les biens à protéger, mais pour des raisons pratiques, afin d'accéder aux déchets à éliminer. Dans le cas d'un traitement thermique sur place du matériau du sous-sol fortement contaminé (voir rapport annexe du projet d'assainissement N° 7.3 [5]), il faut s'attendre à ce que le matériau traité présente également une certaine pollution résiduelle. C'est pourquoi le chapitre suivant évalue la charge de pollution acceptable pour le matériau de remblayage afin qu'il n'y ait pas d'impacts non admissibles sur les biens à protéger.

Les critères pour le remblayage avec du matériau pollué sont définis dans la directive sur les matériaux d'excavation (DME) et dans l'ordonnance sur le traitement des déchets (OTD). Selon les directives de l'OFEV, seul les matériaux répondant aux exigences de la DME concernant les matériaux d'excavation tolérables peuvent être utilisés pour le remblayage. Pour le sol végétal, c.-à-d. la couche supérieure du couvercle actuel de la décharge, il faut se conformer à l'instruction sur l'évaluation et l'utilisation de matériaux terreux.

Pour la plupart des substances significatives pour la DIB, aucune valeur indicative n'est définie dans les ordonnances, directives et instructions précitées. En particulier pour les polluants prioritaires (voir chapitre 4.2 et tableau 4.2.1), pour lesquels il n'y a pas de valeur indicative dans la DME, les valeurs U et T doivent être déduites dans le cadre du projet d'exécution. Il s'agit là de l'aniline, de la 2-méthylaniline, de la 3-méthylaniline, du 1,1,2,2-tétrachloréthane, du dioxane et du THF. La déduction des valeurs U et T sera effectuée selon les directives de la DME.

En outre il faut examiner la compatibilité de la teneur en polluants dans le matériau de remblayage avec les objectifs d'assainissement définis dans le présent rapport. Pour le matériau faiblement contaminé >T (voir chapitre 5.1) ceci est également important pour la manutention sur le chantier dans le cadre des travaux d'excavation et de tri [23].

4.4.5.1 *Modèle pour l'évaluation des impacts envisageables*

La charge résiduelle maximale tolérable a été calculée avec une version adaptée du modèle TransSim [2]. Les hypothèses retenues pour cette évaluation figurent à l'annexe 3.1 et sont résumées ci-dessous :

- Le matériau faiblement contaminé se compose de matériau peu perméable, remis en place dans la partie inférieure de la fosse (voir figure 4.4.1).
- Les substances sableuses subsistant dans l'encaissant décapé de la décharge et dans les lentilles sableuses ne sont pas prises en considération.
- 90% de l'eau de pluie (c.-à-d. $90\% * 6'000 \text{ m}^3/\text{a} = 5'400 \text{ m}^3/\text{a}$) s'infiltrant dans la fosse circulent à travers la partie supérieure du remblai.
- 10% de l'eau de pluie (c.-à-d. $10\% * 6'000 \text{ m}^3/\text{a} = 600 \text{ m}^3/\text{a}$) s'infiltrant dans la fosse circulent à travers la partie inférieure (partiellement contaminée) du remblai.

Comme pour la rediffusion à partir de l'encaissant de la décharge et pour le lessivage des polluants des lentilles sableuses, la modélisation a été effectuée aussi bien pour un scénario standard que pour un scénario "sorption faible et exfiltration plus importante". Les paramètres de modélisation pour ces deux scénarios sont documentés à l'annexe 3.1.

4.4.5.2 *Estimation des immissions et définition des teneurs tolérables pour le matériau faiblement contaminé*

Pour répondre à la question de base "Combien est nécessaire?" (respectivement "qu'elles sont les teneurs maximales tolérables dans le remblai?"), les teneurs hypothétiques possibles pour lesquelles les objectifs d'assainissement seraient atteints pour toutes les substances et tous les cheminements (écoulement proche de la surface (a), Cailloutis du Sundgau à l'aval immédiat (b) et aval global (c)) ont été calculées pour la partie inférieure du remblai. Pour le matériau faiblement contaminé >T (voir chapitre 5.1) ces valeurs sont aussi importantes en relation avec la manutention sur le chantier dans le cadre des travaux d'excavation et de tri [23].

Ces teneurs tolérables maximales sont représentées au tableau 4.4.13 pour les deux scénarios. Lors de l'interprétation du tableau il faut tenir compte du fait que pour certaines substances telles que p. ex. le zinc, il ne faut pas s'attendre à ce que le matériau faiblement contaminé présente effectivement des concentrations si élevées. Dans le cas du zinc, les teneurs tolérables élevées signifient qu'en raison de sa très faible mobilité, cette substance n'est guère susceptible de provoquer des impacts

non tolérables. Pour des raisons pratiques, pour le zinc une valeur de 1'500 mg/kg a été fixée.

Tableau 4.4.13: Teneurs tolérables maximales pour le matériau faiblement pollué. Pour ces estimations (hypothétiques) il est admis qu'env. 10% du matériau de remblai dans la partie inférieure de la décharge (voir aussi figure 4.4.1) sont faiblement contaminés.

Substance	Scénario standard Teneur tolérable max. ⁽¹⁾ mg/kg	Adsorption faible, exfiltration plus importante Teneur tolérable max. ⁽¹⁾ mg/kg
Aniline	9.7	3.1
2-méthylaniline	0.8	0.2
3-méthylaniline	1.0	0.3
Dichlorméthane	2.9	1.0
1,1,2,2-tétrachloréthane	0.2	0.1
Trichloréthène	15	4.6
Benzène	2.0	0.6
Dioxane	6.1	2.6
THF	8.9	3.8
Ammonium	59	23
Zinc	1500 ⁽²⁾	1500 ⁽²⁾
Bromure		

⁽¹⁾ Afin de respecter les objectifs d'assainissement pour les cheminements a, b et c

⁽²⁾ Pour le zinc, les calculs indiqueraient une valeur tolérable de 75'000 mg/kg

4.4.5.3 Bilan

Si la quantité de matériau faiblement pollué ne dépasse pas les teneurs tolérables maximales présentées au chapitre précédent, les objectifs d'assainissement selon l'OSites seront atteints. En réalité et selon indications de l'OFEV, le matériau de remblai doit satisfaire aux exigences concernant les matériaux d'excavation admissibles de la DME.

4.5 Conclusions

L'objectif premier de l'assainissement, c'est-à-dire la prévention durable à la source, est déjà atteint par l'élimination et le traitement des déchets spéciaux entreposés.

Les impacts envisageables dus aux quantités de polluants résiduelles dans l'encaissant de la décharge peuvent être ramenés à des proportions tolérables par décapage du matériau le plus pollué (décapage de 3'700 à 12'000 m³ d'argiles de Bonfol ainsi que de zones sableuses de l'encaissant originel de la décharge).

Sur la base de la répartition des polluants estimées et observées, les substances présentes dans les lentilles sableuses avec une perméabilité hydraulique élevée (» $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, particulièrement AG23) ont en majeure partie quitté le système proprement dit de la décharge, c.-à-d. l'encaissant de la décharge directement accessible. Les substances présentes dans ces lentilles sableuses latérales représentent une contamination importée et non la source de pollution proprement dite selon l'OSites. Selon les calculs effectués, les quantités de polluants effectivement présentes ne devraient pas provoquer un dépassement des objectifs d'assainissement.

En outre, l'excavation n'est pas une mesure adaptée pour éliminer la pollution résiduelle dans les lentilles sableuses. Jusqu'à présent aucun impact significatif sur les biens à protéger en provenance des lentilles sableuses latérales n'a pu être constaté. Des mesures possibles pour réduire le risque d'occurrence et/ou les impacts d'un éventuel lessivage non désiré de polluants de la fosse avec le nouveau régime hydrique sont: i) éviter les perturbations du système actuellement stable; ii) assurer l'étanchéité latérale de l'encaissant avant le remblayage; iii) le cas échéant stimuler la dégradation biologique lors de l'éventuelle découverte de zones sableuses.

Des teneurs maximales tolérables dans le matériau de remblayage faiblement contaminé ont été estimées permettant le respect des objectifs d'assainissement. En réalité, seul le matériau répondant aux exigences de la DME relatives aux matériaux d'excavation tolérables sera utilisé comme remblai. De ce fait, il existe une marge supplémentaire – non prise en compte dans les calculs effectués – quant à l'atteinte des objectifs d'assainissement.

Il faut souligner à nouveau que les objectifs d'assainissement déterminés pour l'encaissant argileux et les lentilles sableuses se fondent sur différentes hypothèses plausibles et modèles simplifiés. Les mesures appliquées devront être adaptées de façon flexible aux conditions effectivement rencontrées lors des travaux d'assainissement.

Se basant sur les objectifs d'assainissement déterminés au chapitre 4.4, le chapitre suivant présente la façon pratique de procéder durant les travaux d'assainissement ainsi que pour les contrôles de succès correspondants.

5 Procédure durant les travaux d'assainissement

Pendant l'assainissement, trois catégories de matériaux d'excavation apparaîtront en dehors des déchets spéciaux proprement dit (voir tableau 5.1.1 ci-dessous):

- matériau du sous-sol non pollué (teneurs en polluants \leq valeurs U selon DME);
- matériau du sous-sol faiblement pollué (avec les deux sous-catégories matériau toléré pour le remblayage avec des teneurs en polluants \leq valeurs indicatives T selon la DME et matériau faiblement pollué avec des teneurs en polluant $>$ valeurs T, voir tableau 4.4.9) et
- matériau du sous-sol fortement pollué.

Le "matériau du sous-sol" désigne le matériau d'excavation minéral selon la DME. Le matériau du sous-sol faiblement pollué avec une teneur en polluants $>$ T est soit éliminé conformément à l'OTD ou traité comme le matériau fortement pollué (cela sera déterminé dans le cadre du projet d'exécution). Le présent chapitre traite de l'origine et de la quantité ainsi que du tri et de la gestion de ces trois catégories durant les travaux d'assainissement, ainsi que des procédures correspondantes pour la prise d'échantillons/les analyses et les travaux d'excavation.

Le concept pour l'excavation du couvercle et de l'encaissant de la décharge tient compte des objectifs suivants:

- aucun déplacement de substances vers les secteurs non contaminés;
- délimitation verticale précise des secteurs à assainir par sondages préliminaires aux travaux d'excavation;
- remblayage de matériau faiblement pollué et traité thermiquement (dans le cas d'un traitement sur place), répondant aux exigences relatives aux matériaux d'excavation tolérés selon la DME;
- minimisation des risques pendant les travaux d'excavation;
- optimisation du déroulement des travaux.

5.1 Origine et quantité

Des matériaux d'excavation non pollués seront produits lors de l'excavation du nouveau couvercle et de la partie supérieure de l'ancien couvercle de la décharge.

Le matériau faiblement pollué sera produit principalement lors de l'excavation de la partie médiane de l'ancien couvercle. L'hypothèse de travail retenue est que la partie inférieure du nouveau couvercle est elle aussi localement faiblement polluée.

Du matériau du sous-sol fortement pollué sera produit lors de l'excavation de la partie inférieure de l'ancien couvercle, lors de l'excavation des digues intermédiaires présentes dans la décharge et de ses remblayages artificiels et lors du décapage de l'encaissant fortement contaminé de la décharge (voir chapitre 4.4.3).

Les volumes présentés au tableau 5.1.1 servent de base de dimensionnement et sont à considérer comme hypothèses de travail (voir aussi chapitre 4 du rapport principal du projet d'assainissement [3]).

Tableau 5.1.1: Volumes d'excavation estimés (sans les déchets de la DIB)

Catégorie de matériau	Volume total [m ³ solide]	Volume non pollué [m ³ solide]	Volume faiblement pollué [m ³ solide]	Volume fortement pollué [m ³ solide]
Nouveau couvercle	84'000	80'500 – 84'000	0 – 3'500	-
Ancien couvercle	30'000	16'000 – 20'000	ca. 4'000	6'000 – 10'000
Digues intermédiaires, remblais artificiels et divers	20'000 – 22'500	-	-	20'000 – 22'500
Encaissant de la décharge*	3'700 – 12'000	-	-	3'700 – 12'000
Total arrondi	140'000 – 150'000	ca. 100'000	4'000 – 7'500	30'000 – 45'000

*argiles naturelles formant la barrière naturelle de la décharge

Pour les matériaux d'excavation faiblement contaminés il faut distinguer entre 2 qualités de matériaux en ce qui concerne la valorisation. Les matériaux faiblement contaminés qui pourront être remis en place sont ceux qui respectent les valeurs T selon la directive sur les matériaux d'excavation (DME). L'autre partie des matériaux faiblement contaminés qui excède les teneurs T sera éliminée selon l'OTD ou traitée comme les matériaux fortement contaminés. Selon le rapport technique 4 (Procédés d'excavation [23]), cette distinction n'a pas d'influence sur la logistique globale (excavation, transport sur site, lieux de stockage, etc.) du chantier hormis qu'il faudra clairement séparer les matériaux qui pourront être remis en place tels quels des autres.

5.2 Concept et critères de tri

La procédure générale lors du tri des matériaux d'excavation est décrite dans ce chapitre.

Les teneurs maximales pour le matériau de l'encaissant de la décharge pouvant rester sur place ont été déduites par le calcul au chapitre 4.4.2 (tableau 4.4.6). En partant de la discussion au chapitre 4.4.2., c'est le scénario standard qui est en principe considéré comme étant significatif. Dans l'esprit d'une application conservatrice et pragmatique des valeurs du tableau 4.4.6, nous proposons d'arrondir vers le bas de 10-20% les valeurs du scénario standard. Cela conduit d'une part à des valeurs faciles à manier et correspond d'autre part à une réduction des valeurs K_d respectives de grosso modo 50%, ce qui fournit une marge de sécurité supplémentaire. En procédant ainsi, on obtient les teneurs moyennes tolérables maximales dans l'encaissant supérieur restant figurant au tableau 5.2.1 ci-dessous.

Dans le cadre de la phase pilote des opérations d'excavation ces valeurs seront comparées aux contaminations trouvées et vérifiées quant à leur pertinence. Ceci permettra parallèlement la vérification de l'applicabilité des valeurs K_d utilisées pour la détermination de ces valeurs. Le cas échéant, la pertinence des valeurs K_d sera aussi vérifiée par des mesures de laboratoires complémentaires.

Pour compléter resp. pour permettre une comparaison, les valeurs pour le scénario „adsorption faible et exfiltrations plus importantes“ figurent dans le tableau 5.2.2.

Des critères généraux pour le matériau faiblement pollué (traité et non traité) ont été déduits et définis au chapitre 4.4.5 (tableau 4.4.12). Les valeurs indicatives U et T de la DME pour les HHV, le benzène et le zinc définissent des critères relatifs au matériau non pollué ainsi que tolérable en vue de la remise en place de ce matériau dans la fosse.

Comme il ressort du tableau 5.2.1, la DME ne définit pas de valeurs U et T pour tous les polluants prioritaires. Elles doivent donc être déterminées dans le cadre du projet d'exécution (procédure suivant les indications de la DME). Les valeurs correspondantes pour les éluats OTD de ces matériaux sont consignées à l'annexe 4.

Tableau 5.2.1: Critères de tri déterminés applicables pour le triage pour les polluants prioritaires choisis, scénario standard. La procédure correspondante pour le contrôle du succès est décrite au chapitre 5.5. La teneur moyenne tolérable max. fait référence à la totalité de l'encaissant restant. Pour assurer la praticabilité durant l'assainissement, ce critère sera appliqué à chaque secteur d'excavation, c. à d. en règle générale à des grilles de 20 x 20 m.

Substance	DME		Matériau faiblement pollué Teneur tolérable max. ^(1,2)	Encaissant de la décharge Teneur moyenne tolérable max. dans l'encaissant supérieur restant ^(1,3,4)
	Valeur U	Valeur T		
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Aniline	*	*	10.0	130
2-méthylaniline	*	*	1.0	7.0
3-méthylaniline	*	*	3.0	30
Dichlorométhane	voir HCV	voir HCV	3.0	60
1,1,2,2-tétrachloréthane	*	*	0.2	3.0
Trichloréthène	voir HCV	voir HCV	–	48
Hydrocarbures chlorés volatils (HCV) ⁽⁵⁾	0.1	0.2	10.0	–
Benzène	0.1	0.5	2.0	30
Dioxane	*	*	6.0	170
THF	*	*	9.0	270
Ammonium	*	*	59	1100
Zinc	150	500	1500	**
Bromure	–	–	–	–

(1) Afin de respecter les objectifs d'assainissement pour les cheminements a, b et c

(2) Ce matériau en provenance du couvercle de la décharge comprend des charges > T. Il est entreposé séparément sur des places de stockage sécurisées puis éliminé selon l'OTD ou traité comme le matériau d'excavation fortement pollué

(3) Teneurs calculées pour les 0-10 cm supérieurs de la partie inférieure de la décharge (actuellement saturée) respectivement pour les 0-5 cm supérieurs de la partie supérieure de la décharge (actuellement non saturée)

(4) Si le matériau de l'encaissant remplit ce critère, il ne doit pas être décapé. Le matériau plus pollué doit être décapé et traité

(5) Somme 7 HCV: dichlorométhane, chloroforme, tétrachlorure de carbone, cis-1,2-dichloréthylène, 1,1,1-trichloréthane, trichloréthène, perchloréthylène

* Déduites et définies dans le cadre du projet d'exécution

** Dans le cas du zinc, la concentration en zinc dans l'eau interstitielle de l'encaissant de la décharge (calculée) nécessaire au dépassement des objectifs d'assainissement ne peut pas être atteinte en raison de la limite de solubilité du zinc

Tableau 5.2.2: Critères de tri déterminés (uniquement pour comparaison) pour les polluants prioritaires choisis, scénario "adsorption faible et exfiltrations plus importantes".

Substance	DME		Matériau faiblement pollué Teneur tolérable max. ^(1,2)	Encaissant de la décharge Teneur moyenne tolérable max. dans l'encaissant supérieur restant ^(1,3,4)
	Valeur U	Valeur T		
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Aniline	*	*	3.0	75
2-méthylaniline	*	*	0.2	4.3
3-méthylaniline	*	*	1.0	18
Dichlorométhane	voir HCV	voir HCV	1.0	37
1,1,2,2-tétrachloréthane	*	*	0.1	2
Trichloréthène	voir HCV	voir HCV	–	24
Hydrocarbures chlorés volatils (HCV) ⁽⁵⁾	0.1	0.2	5.0	–
Benzène	0.1	0.5	1.0	16
Dioxane	*	*	3.0	103
THF	*	*	4.0	165
Ammonium	*	*	23	681
Zinc	150	500	1500	**
Bromure	–	–	–	–

(1) Afin de respecter les objectifs d'assainissement pour les cheminements a, b et c

(2) Ce matériau en provenance du couvercle de la décharge comprend des charges > T. Il est entreposé séparément sur des places de stockage sécurisées puis éliminé selon l'OTD ou traité comme le matériau d'excavation fortement pollué

(3) Teneurs calculées pour les 0-10 cm supérieurs de la partie inférieure de la décharge (actuellement saturée) respectivement pour les 0-5 cm supérieurs de la partie supérieure de la décharge (actuellement non saturée)

(4) Si le matériau de l'encaissant remplit ce critère, il ne doit pas être décapé. Le matériau plus pollué doit être décapé et traité

(5) Somme 7 HCV: dichlorométhane, chloroforme, tétrachlorure de carbone, cis-1,2-dichloréthylène, 1,1,1-trichloréthane, trichloréthène, perchloréthylène

* Déduites et définies dans le cadre du projet d'exécution

** Dans le cas du zinc, la concentration en zinc dans l'eau interstitielle de l'encaissant de la décharge (calculée) nécessaire au dépassement des objectifs d'assainissement ne peut pas être atteinte en raison de la limite de solubilité du zinc

5.3 Concept pour l'investigation préalable du couvercle de la décharge

Avant l'excavation, le matériau du nouveau et de l'ancien couvercle de la décharge est échantillonné et analysé. Les résultats de cette campagne d'investigation préalable sont documentés sous forme de plans de contamination. Ces plans servent de base pour le tri des matériaux d'excavation selon les qualités de matériaux énumérés au tableau 5.1.1 (y compris la différenciation supplémentaire entre >T et <T pour le matériau faiblement pollué). Cette procédure permet un déroulement des travaux efficace, car le matériau excavé peut être classé directement selon les qualités de matériaux d'excavation correspondantes, sans mise en stock intermédiaire pour analyse.

Le programme d'investigation pour le couvercle de la décharge figure au tableau 5.3.1. Les sondages seront principalement effectués à l'aide de la pelle mécanique. Une grille de prise d'échantillon de 20 x 20 m est prévue, avec une prise d'échantillons échelonnée en profondeur dans tous les secteurs, sauf dans la couche de drainage et la barrière capillaire. Une analyse par échantillon est prévue pour la zone de l'ancien couvercle, pour les autres secteurs il est prévu d'analyser des échantillons moyens. D'autres détails relatifs à l'échantillonnage et aux analyses se trouvent au chapitre 5.4.4.

Tableau 5.3.1: Programme d'investigations (étendue des échantillonnages et analyses) pour le couvercle de la DIB

	Position / matériau		
	Nouveau couvercle :	Nouveau couvercle :	Ancien couvercle :
	a) remblayage à granulométrie grossière, 1.0 m b) étanchéité argileuse, 0.7 m	c) couche drainante en gravier 0.3m d) barrière capillaire en sable 0.2m	env. 1.5m (moins env. 20 cm distance de sécurité)
Prise d'échantillons échelonnés en profondeur	Oui, par couche lithologique	Non, échantillon mixte provenant des deux couches	oui, tous les 40-50 cm ou selon observations de particularités (documentation des profondeurs de prélèvement de matériau marquant)
Grille de prise d'échantillons	20 x 20 m	20 x 20 m	20 x 20 m
Sondage préalable	Oui	Oui	Oui
Méthode de sondage prévue	Tranchées à la pelle mécanique	Tranchées à la pelle mécanique	Tranchées à la pelle mécanique (ou sondages à carotte par battage)
Volume par échantillon moyen [m ³]	a) 400 b) 280	c) + d) = 200	80 – 100 avec 2 échantillons par surface de grille
Analytique	1 analyse par échantillon moyen D'autres analyses sont possibles ou doivent être prévues en cas de caractères organoleptiques marquants lors des investigations préalables ou au fil de cours d'excavation	1 analyse par échantillon moyen D'autres analyses sont possibles ou doivent être prévues en cas de caractères organoleptiques marquants lors des investigations préalables ou au cours de l'excavation (p. ex. dans la zone des conduites de drainage de gaz)	1 analyse par échantillon D'autres analyses sont possibles ou doivent être prévues en cas de caractères organoleptiques marquants lors des investigations préalables ou au cours de l'excavation
Déroulement	Après décapage de la terre végétale et construction du toit de la halle, l'échantillonnage a lieu par couches au moyen de tranchées à la pelle excavatrice jusqu'à une profondeur de 2.2m	Voir la colonne de gauche	Après le terrassement complet du couvercle supérieur, des sondages échelonnés en profondeur ont lieu avec prélèvement d'échantillons pour caractériser les épaisseurs de couches à déblayer

5.4 Concept d'excavation et d'investigations de l'encaissant de la décharge

Ci-dessous figure une description des étapes pour l'investigation respectivement pour l'excavation de l'encaissant de la décharge (les détails concernant l'excavation et la protection des surfaces de prises d'échantillons et d'excavation se trouvent en [23]). Les points sont discutés séparément dans les chapitres suivants.

- *Clarifications préliminaires*
Afin de pouvoir adapter la grille et la procédure de prise d'échantillon aux réalités de la décharge et de l'encaissant, une première observation des conditions effectives et des propriétés du sous-sol est effectuée avant le début des travaux.
- *Plan de prise d'échantillon et analyses (investigation préalable)*
Les zones à excaver sont analysées à l'aide d'une première série de prise d'échantillons (le cas échéant après mise en place de digues de sécurité adaptées). Les profondeurs d'excavation des différentes zones sont ensuite déterminées sur la base de ces résultats d'analyses.
- *Excavation des différentes zones de l'encaissant et du fond de la décharge*
- *Contrôle final*
La diminution de la quantité de polluants nécessaire au respect des objectifs d'assainissement est validée par un contrôle final au moyen d'un échantillonnage/analyse avant le début du remblayage.
- *Mesures de décapage supplémentaires*
Si le contrôle final montre que la quantité de polluants ne peut être suffisamment diminuée avec le décapage effectué, des décapages supplémentaires sont effectués, puis un contrôle final est à nouveau réalisé. Cette procédure est répétée jusqu'à ce que les teneurs en polluants atteignent les objectifs prescrits, tout en respectant les critères d'excavation selon le chapitre 5.4.3.
- *Réception par les autorités*
La décharge (fond, encaissant), respectivement certains secteurs assainis selon les directives du projet sont réceptionnés par les autorités compétentes en vue du remblayage.

5.4.1 Clarifications préliminaires

Avant d'établir la grille d'échantillonnage proprement dite, les zones sableuses/lentilles sableuses et d'éventuelles zones argileuses altérées marquantes d'une part ainsi que les zones argileuses intactes d'autre part sont déterminées.

En principe, les lentilles sableuses et les zones altérées devraient être identifiables d'après leur apparence (granulométrie, éventuellement coloration noire). Au cours de la prise d'échantillons avec sondage à carotte par battage (<1m), la différence entre matériaux argileux et sableux devrait être aisément reconnaissable (visuellement, éventuellement au toucher, voir figure 5.4.1), en particulier après avoir effectué plusieurs dizaines de prélèvements. Il est également pensable que la résistance au battage sera probablement moins élevée pour les lentilles sableuses que pour les couches argileuses.

Il est également envisageable de procéder à un simple tamisage humide (1 tamis) (avec les échantillons des sondages à carotte par battage pour les analyses), afin de déterminer la proportion de granulométrie plus grande ou plus petite que 63 µm. Ceci permettrait de réaliser des corrélations (spécifiques à l'emplacement) simples, p.ex. avec la perméabilité.

5.4.2 Investigation préalable de l'encaissant de la décharge (y compris le fond et les bords)

La prise d'échantillons selon une grille définie et les analyses correspondantes sont effectuées aussi bien au préalable qu'après la réalisation des travaux d'excavation, pour les raisons suivantes:

1. Optimisation des volumes de matériaux d'excavation et des matériaux devant être traités ou éliminés.
2. Contrôle du matériau destiné au traitement thermique (il est prévu que de petites quantités de matériau très fortement contaminé soient traitées dans des usines d'incinération pour déchets spéciaux).
3. Contrôle final avant remblayage: confirmation que les teneurs en polluants permettent d'atteindre les objectifs d'assainissement.

La séparation stricte des matériaux utilisables pour le remblayage (matériau propre, matériau faiblement pollué $\leq T$) du matériau fortement pollué ainsi que du matériau faiblement pollué $>T$ permet une gestion optimale des volumes des différents maté-

riaux décapés. Afin de déterminer la profondeur d'excavation optimale, il est prévu d'effectuer un examen préalable avec échantillonnages échelonnés en profondeur.

5.4.2.1 Concept d'investigation

Le tableau 5.3.2 donne un aperçu des investigations préalables prévues pour tous les secteurs de la décharge (fond, encaissant, digues). La première phase des travaux d'excavation est utilisée comme phase pilote pour tester le concept et prévoir d'éventuelles améliorations.

Les échantillons par surface de grille présentés au tableau 5.3.2 représentent des échantillons moyens selon la profondeur. C'est-à-dire qu'il est prévu d'exécuter env. 5 sondages courts à carotte par battage (<1m) par surface de grille d'env. 20 x 20m et de prélever des échantillons simples selon la profondeur, de les mélanger pour composer un ou plusieurs échantillons moyens et d'analyser ceux-ci (voir figures 5.4.1 et 5.4.2). Un échantillon moyen est donc représentatif de la pollution de la couche correspondante pour toute la grille. Ce procédé est applicable dans son principe aussi bien pour l'encaissant argileux que pour d'éventuelles minces lentilles sableuses.

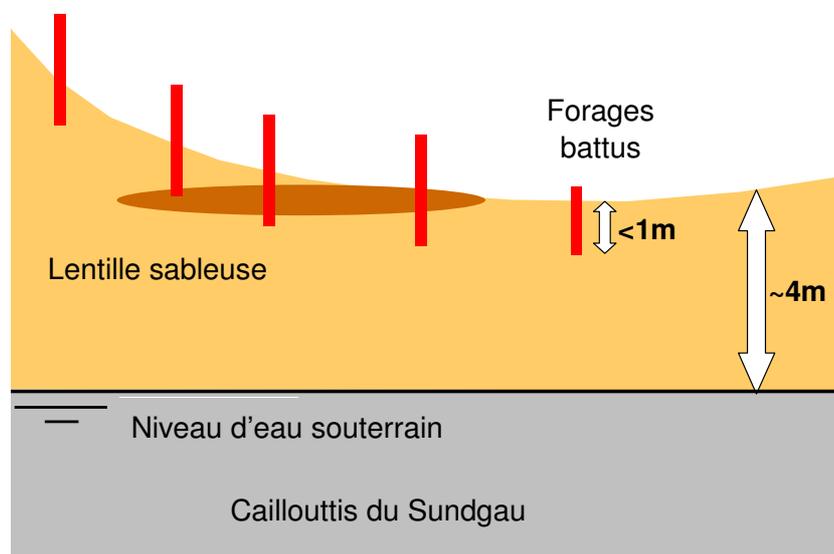


Figure 5.4.1: Disposition possible des sondages à carotte par battage (RKS) pour la prise d'échantillon dans le fond et les bords de la décharge. Important: l'étanchéité du fond et de l'encaissant de la décharge ne doit pas être affectée par la prise d'échantillons, c.-à-d. que les sondages à carotte par battage ne doivent pas dépasser une profondeur maximale de 1 m aux points les plus bas du fond de la décharge.

Tableau 5.3.2: Programme d'investigation (ampleur de la prise d'échantillons et des analyses) pour l'encaissant de la décharge: investigations préalables pour détermination de la zone d'excavation

Emplacement / matériau	Ampleur de la prise d'échantillons / Analyse		
	Remblais / digues intermédiaires	Bords – zone non saturée en eau	Bords – zone saturée en eau et base de la décharge
Profondeur \varnothing de contamination estimée [cm]	Tout le remblai	10 - 35	20 - 70
Sondages préalables	oui	oui	oui
Profondeur de prise d'échantillon [m]	Hauteur du remblai jusqu'à l'encaissant de la décharge	0.2 - 0.5 (légèrement au-dessus de la profondeur de contamination estimée ou selon caractéristiques organoleptiques marquantes)	0.5 - 1.0 (légèrement au-dessus de la profondeur de contamination estimée ou selon caractéristiques organoleptiques marquantes)
Prise d'échantillon échelonnée en profondeur	Oui, si possible, env. tous les 50 cm ou selon caractéristiques organoleptiques marquantes (But: env. 1 échantillon pour 100 m ³)	Env. tous les 20 cm ou selon caractéristiques organoleptiques marquantes	Env. tous les 20-25 cm ou selon caractéristiques organoleptiques marquantes
Grille d'échantillonnage	20 x 20 m	20 x 20 m	20 x 20 m
Volume par échantillon moyen [m ³]	env. 100	80	80 - 100
Analyses	Examen analytique de tous les échantillons. D'autres analyses sont possibles ou doivent être prévues en cas de caractères organoleptiques marquants pendant l'investigation préalable ou au cours de l'excavation.	Examen analytique de tous les échantillons. D'autres analyses sont possibles ou doivent être prévues en cas de caractères organoleptiques marquants pendant l'investigation préalable ou au cours de l'excavation.	Examen analytique des 2 premiers échantillons (0-25, 25-50cm), les échantillons suivants sont examinés en fonction de la contamination des deux premiers échantillons. D'autres analyses sont possibles ou doivent être prévues en cas de caractères organoleptiques marquants pendant l'investigation préalable ou au cours de l'excavation.

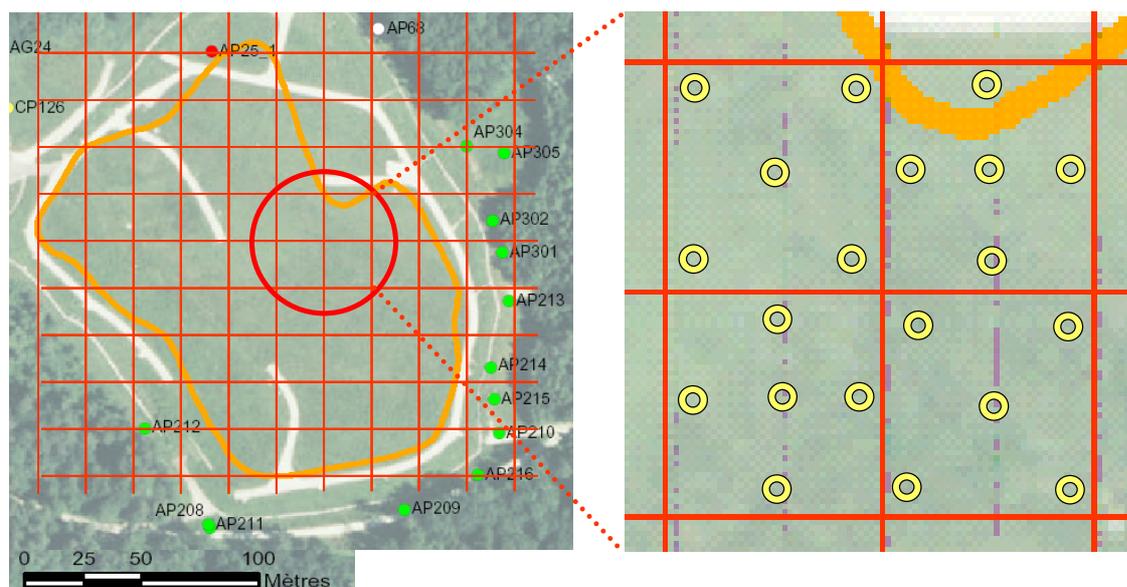


Figure 5.4.2: Disposition possible des emplacements de prise d'échantillon pour échantillons moyens avec grille 20x20 m.

Les emplacements de prise d'échantillons sont déterminés avant le début des travaux. La grille d'échantillonnage et la position exacte des différents sondages ainsi que des échantillons simples et moyens correspondants sont relevés avec les techniques de mensuration habituelles et servent de bases pour la banque de données cartographique. Cette banque de données prend également en compte d'éventuelles zones sableuses, les secteurs argileux altérés/contaminés, des zones d'ex- et d'infiltration latérale etc. En outre, les résultats d'analyses correspondants sont enregistrés. Ceci permet une connaissance détaillée de la pollution résiduelle due aux polluants prioritaires en fonction de l'état d'avancement des travaux d'excavation. Les données correspondantes sont actualisées en continu.

La phase initiale des travaux d'excavation sert de phase pilote afin d'évaluer l'adéquation de la grille d'échantillonnage par rapport à la répartition spatiale des mesures de contrôle en ce qui concerne la représentativité et les incertitudes. Le cas échéant, des adaptations (p.ex. grille plus serrée) peuvent être effectuées, si cela est indiqué par l'hétérogénéité latérale rencontrée. En même temps, durant la phase pilote, la plausibilité du choix des polluants prioritaires sera vérifiée en élargissant la palette des substances analysées (voir aussi Tableau 5.3.3).

Pour le bien à protéger « eaux souterraines », un programme d'observation étendu est déjà en place (voir [24]), qui de notre point de vue ne nécessite aucune adaptation.

5.4.2.2 Programme d'analyses

Méthodes d'échantillonnages et d'analyses

En se référant aux considérations ci-dessus nous partons du principe que la prise d'échantillons s'effectuera par sondage à carotte par battage (mécaniquement). Le type précis d'appareil est à évaluer et définir dans le cadre du projet d'exécution. Il faudra alors prendre en compte le fait que la machine devra si possible également permettre des prises d'échantillons en biais ou non verticales.

Les méthodes d'analyses pour les polluants prioritaires sont connues:

- Les anilines sont quantifiées selon la méthode F2 (édition révisée 2005, méthodes d'analyse pour échantillons solides et aqueux provenant de sites pollués et de matériaux d'excavation, OFEV): extraction à l'aide de solvants organique et GC/MS.
- Les substances volatiles (y compris les HHV et le dioxane) seront probablement extraites avec du méthanol (suivant la méthode EPA 5021) et analysées par Headspace-Trap GC/MS.

Lors de l'analyse d'échantillons moyens, le procédé respectivement la préparation de l'échantillon est plus importante que la méthode d'analyse elle-même, surtout pour les substances volatiles. Actuellement, le procédé suivant est prévu: des extraits au méthanol sont préparés pour tous les échantillons simples; ensuite des quantités correspondantes de chaque extrait individuel sont réunies dans un échantillon moyen, qui est analysé.

Comme les anilines sont peu volatiles, les échantillons simples échelonnés selon la profondeur d'une grille sont réunis pour former un échantillon moyen représentatif selon la profondeur et lui seul est extrait et analysé.

Les derniers détails sont à fixer dans le cadre du projet d'exécution. L'étendue des études analytiques peut être élargie ou réduite selon les conditions rencontrées au cours des travaux.

Les tests de toxicité effectués annuellement jusqu'à ce jour avec des bactéries lumineuses (*vibrio fischeri*) et *Daphnia Magna* sur le lixiviat ont été il y a peu exploités et évalués plus en détail dans le cadre d'un travail de diplôme à l'EPFZ [25]. D'une part, il a été montré que la toxicité calculée à partir de la composition chimique du lixiviat surestime largement la toxicité mesurée et qu'ainsi les estimations anciennes sont à considérer comme conservatrices. D'autre part, il a été démontré que 70 à presque 90% de la toxicité du lixiviat sont dus aux 3 composés anilines, fer dissous

et zinc ([25], chapitre 4.4.1). De ce fait, il n'est judicieux de recourir à de tels tests de toxicité en tant que mesure AQ supplémentaire durant les travaux d'assainissement.

Polluants prioritaires

La sélection des polluants prioritaires est décrite et justifiée en [4] et discutée brièvement au chapitre 4.2 du présent rapport. Les substances à prendre en compte pour établir le respect des objectifs d'assainissement ont été déterminées sur la base des émissions possibles par les cheminements a-c (figure 4.4.1). Toutes les substances déjà présentes dans l'espace interstitiel des argiles de Bonfol ne peuvent affecter les biens à protéger que par ces cheminements (c.-à-d. qu'il n'y a pas de cheminement des émissions direct significatif argile \leftrightarrow Cailloutis du Sundgau sans passer par les lentilles sableuses). Il faut donc considérer les mêmes polluants prioritaires pour l'argile de l'encaissant de la décharge que pour les lentilles sableuses.

L'établissement des teneurs en polluants maximales figurant au tableau 4.4.6 se base sur la quantité totale maximale de polluants pouvant subsister après l'assainissement dans la décharge sans porter atteinte aux objectifs d'assainissement (sur la base de la concentration actuelle moyenne des lixiviats dans la décharge). Dans le cas de certains polluants prioritaires (p.ex. l'aniline) les quantités résiduelles totales après excavation de la décharge sont toujours telles qu'une partie de l'encaissant doit également être éliminé. Dans le cas d'autres polluants prioritaires (p. ex. THF, dioxane) les quantités résiduelles totales après excavation de la décharge sont suffisamment faibles pour pouvoir exclure une atteinte aux biens à protéger selon l'OSites, même sans décapage d'une partie de l'encaissant de la décharge (chiffres en italique dans le tableau 4.4.6).

Afin d'établir des critères d'excavation pour d'éventuelles zones fortement polluées, des teneurs totales tolérables moyennes ont tout de même été déterminées pour ces substances pour l'encaissant de la décharge, car il faut s'attendre à ce que la pollution résiduelle ne soit pas homogène pour tout l'encaissant. Il est par exemple imaginable que certaines zones présentent des concentrations p. ex. 100 fois supérieures à la concentration moyenne pour certains polluants prioritaires. Les valeurs indiquées en italique au tableau 4.4.6 ont donc été déduites afin d'éviter que certaines surfaces présentant une forte pollution restent en place dans l'encaissant de la décharge. Pour l'application pratique, les valeurs en italique figurant au tableau 4.4.6 ont été reprises dans le tableau 5.2.1. Ceci signifie que lorsque la contamination locale dépasse le double environ de la moyenne, ces teneurs sont dépassées et un décapage doit être effectué. Cela donne une marge de sécurité supplémentaire quant à l'atteinte des objectifs d'assainissement.

Au tableau 5.2.1, la valeur pour le trichloréthène représente la seule exception à cette règle. En appliquant une procédure analogue, la très faible teneur (moyenne calculée) dans l'encaissant autoriserait des teneurs locales dans l'encaissant 20 fois plus élevées, avant que la valeur en italique du tableau 4.4.6 soit atteinte. C'est pourquoi une valeur correspondante plus sévère a arbitrairement été adoptée dans le tableau 5.2.1, de sorte que la teneur résiduelle en trichloréthène ne puisse pas dépasser localement le triple environ de la concentration moyenne.

Après assainissement, les teneurs résiduelles maximales de toutes les autres substances (c.-à-d. non couvertes par les polluants prioritaires) sont également suffisamment faibles pour exclure toute atteinte sur les biens à protéger selon l'OSites. C'est pourquoi aucune concentration moyenne maximale tolérable n'a été définie pour d'autres substances.

Il faut cependant tenir compte du fait que les concentrations de certaines substances dans l'encaissant de la décharge peuvent varier localement. Mais comme les objectifs d'assainissement (c.-à-d. les émissions dans les biens à protéger Cailloutis du Sundgau et eaux de surfaces situés hydrologiquement en aval) sont définis en fonctions des teneurs totales en substances présentes dans l'encaissant de la décharge (ou de la décharge remblayée), les variations locales des concentrations n'ont dans ce contexte pas d'importances.

5.4.3 Critères d'excavation

Durant l'exploitation de l'assainissement, les critères d'excavation doivent être adaptés dans l'espace et dans le temps en collaboration avec les autorités compétentes pour garantir que les objectifs d'assainissement soient atteints d'une part et pour éviter de provoquer des points faibles du point de vue de la sécurité et de la construction d'autre part. Sur la base des connaissances actuelles, les critères suivants sont prévus:

- Eviter de dépasser la concentration résiduelle tolérable;
- garantir la sécurité durant les travaux de (dé)construction;
- garantir l'étanchéité de l'encaissant de la décharge ("baignoire"), en particulier à la base des compartiments respectifs de la décharge, mais aussi latéralement;
- Rencontre d'une masse de polluants non négligeable dans le volume excavé "local" par rapport au système global (coûts/bénéfice). Si par exemple des

contaminations locales (élevées) sont rencontrées, qui ne devraient pas impérativement être excavées pour atteindre les objectifs d'assainissement, mais qui sont faciles d'accès et non critiques pour la construction, elles devraient être excavées. Par contre, si des contaminations locales (élevées) apparaissent qui devraient être excavées selon les valeurs des concentrations figurant au tableau 5.2.1, mais qu'elles ne peuvent être éliminées qu'au prix de moyens démesurés ou en mettant en danger la sécurité de la construction, elles pourront demeurer dans la décharge, pour autant que cela ne menace pas la diminution de la masse totale en polluants nécessaire pour atteindre les objectifs d'assainissement.

5.5 Contrôle final

Un contrôle final de l'encaissant de la décharge assaini est effectué avant le début du remblayage. Le contrôle final est coordonné en accord avec les autorités compétentes. Le programme d'échantillonnage et d'analyse pour le contrôle final permettant de vérifier que les objectifs des travaux d'assainissement sont atteints est présenté au tableau 5.3.3. Le programme d'investigation proposé peut être adapté selon les premières expériences d'excavation pendant la phase pilote. Les paramètres d'analyse seront définis selon les résultats de la phase pilote et pourront inclure des substances additionnelles par rapport aux polluants prioritaires.

Tableau 5.3.3: Programme d'investigation (ampleur de la prise d'échantillons et des analyses) pour l'encaissant de la décharge: échantillonnage final pour la réception de l'encaissant (y compris le fond) par les autorités. Les paramètres d'analyse ainsi que la prise d'échantillons (grille, technique de prélèvement, traitement des échantillons) correspondent au programmes des investigations préalables (voir tableau 5.3.2) et peuvent être modifiés selon les résultats de la phase pilote.

Emplacement / matériau	Ampleur de la prise d'échantillons / Analyse		
	Remblais / digues intermédiaires	Bords – Zone non saturée en eau	Bords – zone saturée en eau et base de la décharge
Profondeur [m]		0,2 – 0,3	0,2 – 0,3
Grille d'échantillonnage		20 x 20 m	20 x 20 m
Prise d'échantillons échelonnée en profondeur		Tous les 10 -15 cm	Tous les 10 - 15 cm
Volume par échantillon moyen [m ³]		50	50
Analyse		Examen analytique de l'échantillon supérieur; Lors de caractères organoleptiques marquants et/ou contamination des échantillons supérieurs proche des valeurs des objectifs d'assainissement, analyse du 2 ^e échantillon	Examen analytique de l'échantillon supérieur; Lors de caractères organoleptiques marquants et/ou contamination des échantillons supérieurs proche des valeurs des objectifs d'assainissement, analyse du 2 ^e échantillon

5.5.1.1 Encaissant latéral de la décharge

Après les travaux d'excavation et d'assainissement, la banque de données cartographique décrite ci-dessus avec les résultats d'analyses ainsi que des informations relatives à d'éventuelles zones plus sableuses, à des zones argileuses altérées/contaminées, à des secteurs d'exfiltration et d'infiltration latérales sont à disposition pour le contrôle final. Des mesures d'étanchéification sont évaluées pour les zones plus sableuses et/ou contaminées situées immédiatement à côté de l'encaissant. Hormis l'étanchéification la pertinence d'une stimulation de la dégradation (biologique) des polluants est évaluée comme mesure complémentaire. Cette stimulation pourrait s'effectuer p. ex. par adjonction d'un substrat carboné adéquat (p.ex. mélasse) ou également avec du fer de valence nulle. Ces options doivent être examinées plus en détail au cours du projet d'exécution.

5.5.1.2 Fond de la décharge

Après les travaux d'excavation et d'assainissement, la banque de données cartographique décrite ci-dessus avec résultats d'analyses ainsi que des informations relatives à d'éventuelles zones plus sableuses, à des zones argileuses altérées/contaminées, à des secteurs d'exfiltration et d'infiltration latérales sont à disposition pour le contrôle final.

Si de petites quantités de DNAPL devaient être trouvées au cours des travaux d'assainissement, elles seraient recueillies séparément (p.ex. par aspiration) et éliminées. Le secteur de la décharge correspondant est signalisé pour les contrôles de l'excavation et d'atteinte des objectifs subséquents (prise d'échantillons et excavation telles que décrites au chapitre 5.4, éventuellement adaptées aux conditions particulières du sous-sol). Ce contrôle du succès est également appliqué aux zones faibles ou dépressions locales du fond de la décharge.

Si le respect des teneurs maximales définies est confirmé par le contrôle final, l'autorité compétente donne l'autorisation de remblayer le secteur correspondant. Si les teneurs maximales sont dépassées (tout en respectant les critères d'excavation selon chapitre 5.4.5), le décapage des secteurs concernés est poursuivi en fonction du degré de contamination et ensuite contrôlé à nouveau.

5.5.1.3 Contrôles complémentaires

Dans le cadre des contrôles finaux, l'OEPN exige de nouveaux forages profonds à travers le fond de la décharge afin d'exclure la présence de DNAPL en-dessous de la décharge. Si au cours des travaux d'excavation il s'avère que le fond et l'encaissant de la décharge sont globalement suffisamment étanches et qu'ils présentent des teneurs tolérables en substances significatives (en particulier hydrocarbures chlorés), les sondages profonds ne sont pas nécessaires.

La question de la possible présence de phases DNAPL dans la décharge et de leur propagation a déjà été traitée dans le cadre de l'étude de variante de l'assainissement total Bonfol [9] et dans le projet d'assainissement [4]. Différentes réflexions et observations permettent d'affirmer qu'il ne faut pas s'attendre à rencontrer des phases DNAPL significatives dans les Cailloutis du Sundgau (p.ex. dans des dépressions locales dans le toit de la série des Vosges):

- Dans un aquifère, les phases DNAPL se solubilisent lentement. Les concentrations ainsi potentiellement solubilisées dans les cailloutis du Sundgau ont été modélisées pour différentes compositions de DNAPL et comparées avec

les concentrations mesurées aux piézomètres les plus contaminés. Cette comparaison montre que les concentrations mesurées devraient être nettement plus élevées s'il y avait effectivement une phase DNAPL.

- Il apparaît que les sondages ne sont pas une méthode adaptée pour découvrir d'éventuelles phases DNAPL isolées situées dans les dépressions locales du toit de la série des Vosges. Comme les phases DNAPL se solubilisent, il est plus judicieux de surveiller l'apparition de substances significatives à l'aval immédiat (comme c'est le cas pour la surveillance actuelle des eaux souterraines).
- En outre, la comparaison entre la hauteur d'éventuels pools de DNAPL dans la décharge et le diamètre des pores des argiles de Bonfol montre que les phases DNAPL des hydrocarbures chlorés entreposés dans la décharge ne peuvent pas s'infiltrer dans les argiles.
- De plus, les sondages effectués dans les années 80 jusqu'à différents emplacements profonds de la décharge n'ont jamais permis de trouver des quantités significatives de phases DNAPL.

Sur la base de la discussion ci-dessus, la réalisation de nouveaux sondages profonds (ou similaires) dans l'encaissant mis à nu de la décharge serait une mesure peu significative et donc inadaptée pour le contrôle final. En outre, il n'est pas exclu que de tels sondages ne créent de nouveaux cheminements d'écoulement préférentiels. Les données existantes ainsi que le modèle de base et le concept d'assainissement se basent sur une situation actuelle suffisamment explorée et documentée, avec une cuvette largement étanche. Pour évaluer une situation future avec d'autres points faibles éventuellement significatifs il n'existe guère de bases fiables.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, les sondages profonds à travers l'encaissant de la décharge ne nous apparaissent pas comme une mesure judicieuse ou recommandable. Suite aux exigences de l'OEPN, quelques sondages profonds isolés sont inscrits dans le programme d'échantillonnage pour le contrôle final.

5.6 Réception par les autorités compétentes

Chaque zone assainie et, selon le contrôle final, conforme aux objectifs d'assainissement doit être réceptionnée dans les temps par les autorités compétentes avant le remblayage.

6 Conclusions

Le présent rapport a montré que l'objectif principal de l'assainissement, la prévention durable à la source, est atteint avec l'élimination des déchets déjà, car cette mesure seule permet de supprimer 99% des polluants organiques.

Sur la base des connaissances actuelles, le risque résiduel après l'assainissement a été quantifié et évalué pour les biens à protéger potentiellement menacés. Des mesures ont été proposées afin de limiter les risques résiduels:

- Le décapage partiel de l'encaissant de la décharge et la remise en place ciblée du matériau du sous-sol permettent de réduire le risque résiduel issu de l'encaissant à un niveau tolérable.
- Le matériau prévu pour le remblayage doit respecter les valeurs T selon la DME. Cela confère une marge de sécurité supplémentaire par rapport aux teneurs en polluants maximales tolérables déterminées.

Sur la base des connaissances actuelles, les objectifs d'assainissement définis selon l'OSites (voir tableau 4.4.1) pour le système de la décharge peuvent être atteints sans que des mesures techniques à long termes soient nécessaires pour assurer la sécurité de la fosse revégétalisée.

Un concept détaillé a été élaboré pour le tri et les analyses du matériau du sous-sol. Au cours du projet d'exécution des valeurs U et T spécifiques à l'emplacement seront définis selon la DME.

Sur la base de la répartition des polluants estimées et observée, les substances situées dans les lentilles sableuses avec une perméabilité hydraulique plus élevée ($\gg 1 \cdot 10^{-7}$ m/s, particulièrement AG23) ont en majeure partie quittées le système de la décharge en tant que tel, c.-à-d. l'encaissant de la décharge directement accessible. Pour les substances présentes dans ces lentilles sableuses latérales, il s'agit d'une contamination importée et non de la source de contamination selon l'OSites. D'après les calculs effectués, les quantités de polluants effectives ne devraient pas provoquer de dépassement des objectifs d'assainissement.

De plus, les mesures d'excavation ne sont pas adaptées pour éliminer la part de polluants résiduels dans ces lentilles sableuses. Jusqu'à présent, aucun impact des polluants sur les biens à protéger par l'intermédiaire des lentilles sableuses latérales n'a pu être constaté. Les mesures envisageables pour réduire la probabilité d'occurrence et/ou les impacts d'une éventuelle émission de polluants en cas de nouvelles conditions hydrauliques dans la fosse remblayées sont: i) éviter de perturber le système

actuellement stable; ii) assurer l'étanchéité latérale de l'encaissant de la décharge avant le remblayage; iii) le cas échéant stimuler la dégradation biologique lors de la découverte éventuelle de zones sableuses.

Les objectifs d'assainissement retenus se basent sur différentes hypothèses et modèles simplifiés plausibles. Les mesures à prendre doivent pouvoir être adaptées de façon flexible en fonction des conditions réelles rencontrées au cours des travaux d'assainissement.

Le chef de projet

BMG Engineering AG

Dr. Christoph Munz

Dr. André Bachmann

Collaborateurs:

Dr. Michael Ochs

Dr. Christoph Munz

Schlieren, 14 juillet 2008
DIB-BP, 612003-51

BMG Engineering AG a réalisé cette étude avec son meilleur savoir professionnel et en conformité avec les principes généralement reconnus. Il a pour cela évalué des informations en provenance de tiers, mais ne peut pas garantir l'exactitude et l'exhaustivité de ces informations. Les résultats et conclusions du rapport se basent sur les informations à disposition de BMG Engineering AG au moment de la rédaction du rapport. Ces résultats et conclusions ne peuvent pas être reportés sans vérification sur des conditions futures.

Annexe 1

Essai sur colonne

Durchführung eines Säulenversuchs zur Quantifizierung des Abbaus und der Retardation in den Sundgauschottern

1. Material und Methode

● Material

- Wasser aus SG 19b und SG 36
- Sundgauschotter aus SG 47 und 48
- Porenvolumen ca. 1050 mL

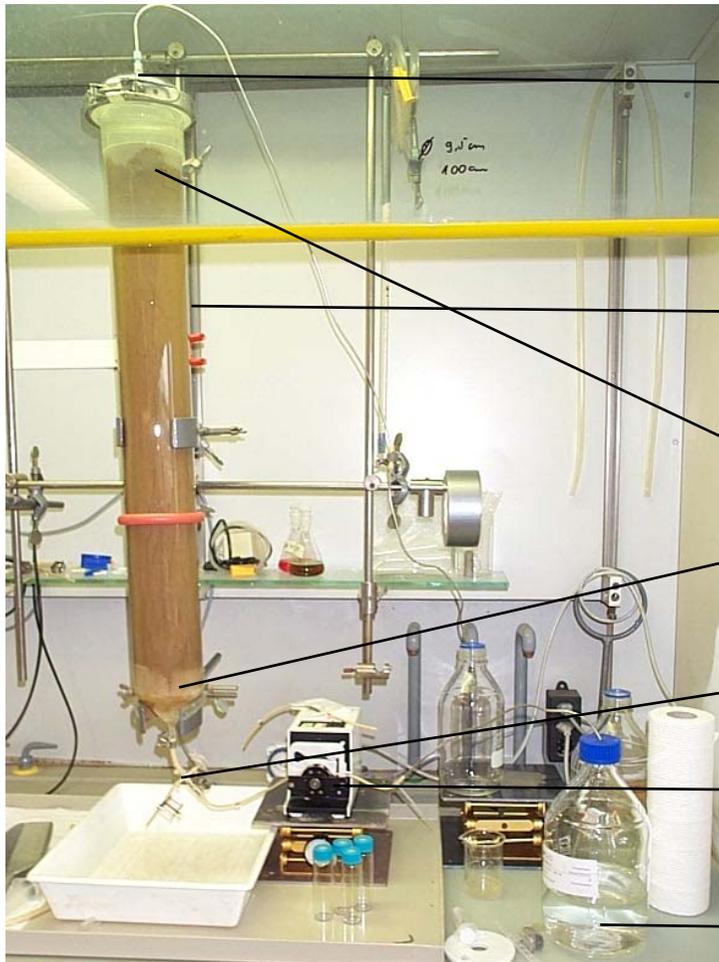
● Vorarbeiten

- Ermittlung des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB) des Wassers
 - BSB < 1.5 mg/L für SG 19b und SG 36
 - Grundwasser ist biologisch aktiv (Kontrolle mit Natriumbenzoat)
- Korngrößenverteilung der Schotter
 - Kies (> 2 mm): 66%
 - Sand (0.06 bis 2 mm): 24%
 - Silte und Tone (< 0.06 mm): 10%

● Konditionierung

- Schotter sieben (10 mm)
- Säule packen
- Säule mit Wasser aus SG 19b „aktivieren“

2. Das Säulensystem (Aufbau nach AltIV)



Auslauf, Messparameter:

- O₂, Leitfähigkeit und pH
- VOC (volatile organic compounds)

Sundgauschotter < 1 cm
(ca. 50% des Schottermaterials)

Sandfilter

Beprobung Zulauf

Pumpe (ca. 2 L pro Tag)

Wasser aus SG 19b bzw. SG 36

3. Durchgeführte Versuche

● Auswaschung

- Nach der Konditionierung, Auswaschung mit Wasser aus SG 36
- Beobachtung der Konzentrationsabnahme

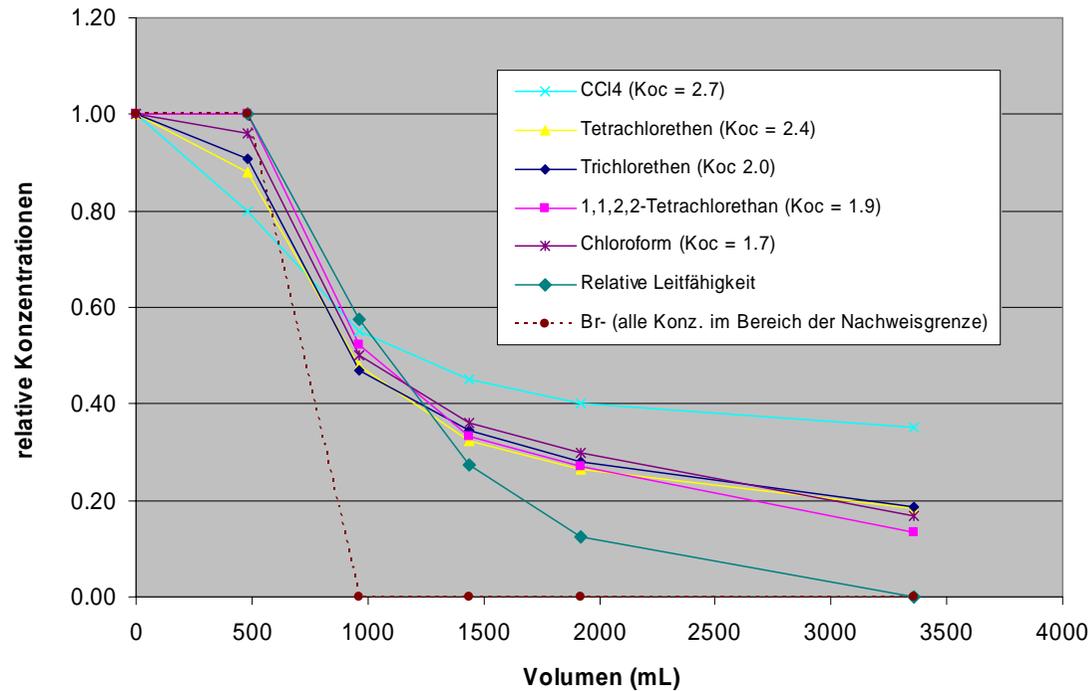
● Hauptversuch

- Wasser aus SG 19b mit VOC (ca. 100 µg/L pro Einzelstoff) gespiked
- Bestimmung der Konzentrationen im Zu- und Ablauf als Funktion der Zeit
- Säule mit Wasser aus SG 36 gespült
- Bestimmung der Konzentrationen im Ablauf als Funktion der Zeit

● Versuch mit hohen Konzentrationen

- Hohe Konzentrationen (ca. Sättigung) im Zulauf
- Bestimmung der Konzentrationen im Ablauf als Funktion der Zeit

4. Auswaschung nach der Konditionierung mit SG 19b (ca. 2 Wochen)

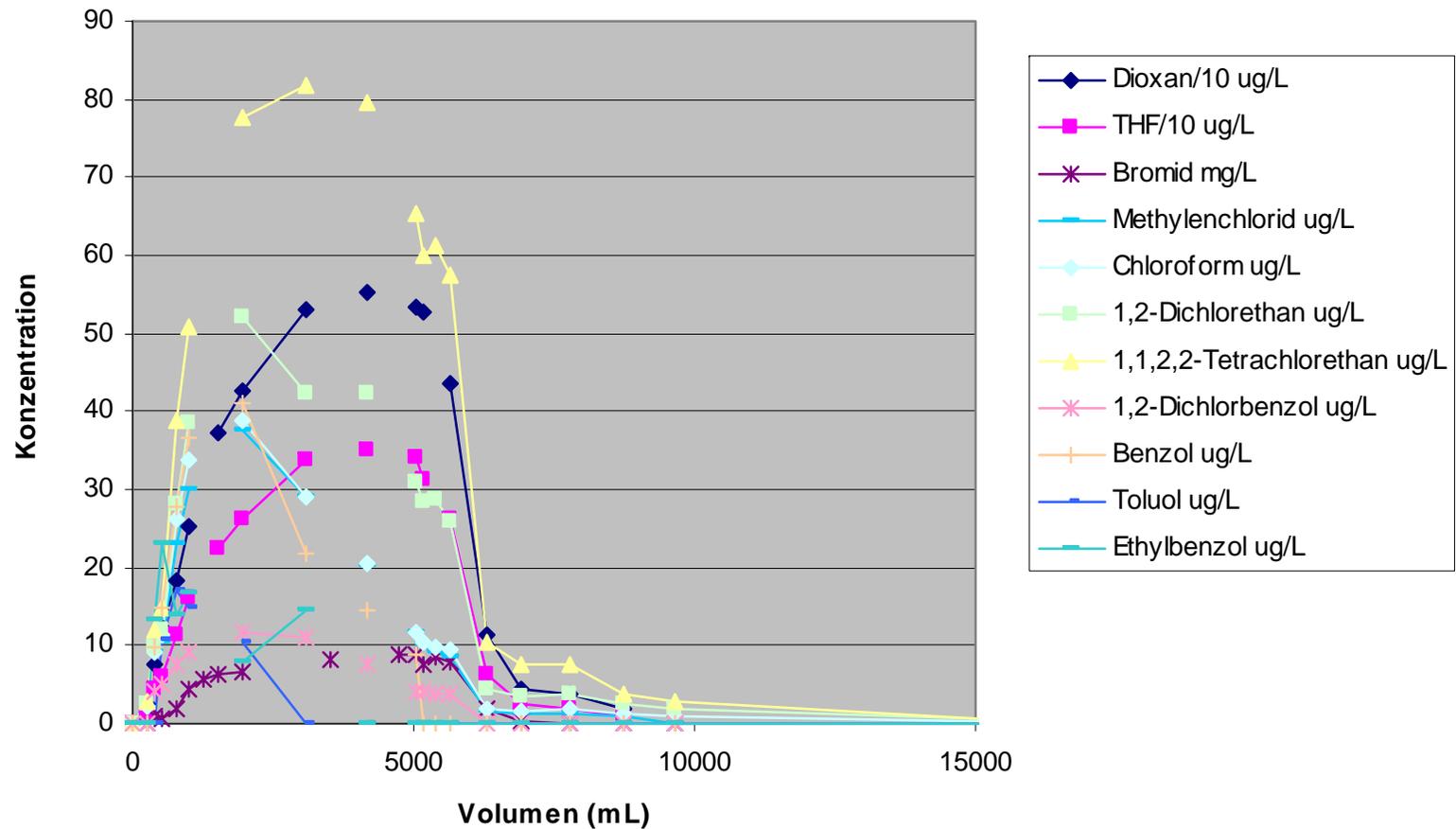


● Nach ca. 3 x Säulenvolumen (d.h. 3 x spülen)

- Bromid und Leitfähigkeit: Steady-State ca. erreicht
- Tetrachlormethan: Abnahme um 50%
- Tetrachlorethan: Abnahme um 80%

5. Ergebnisse des Hauptversuchs

5.1 Durchbruchskurven



5. Ergebnisse des Hauptversuchs

5.2 Retardationsfaktoren und Abbau

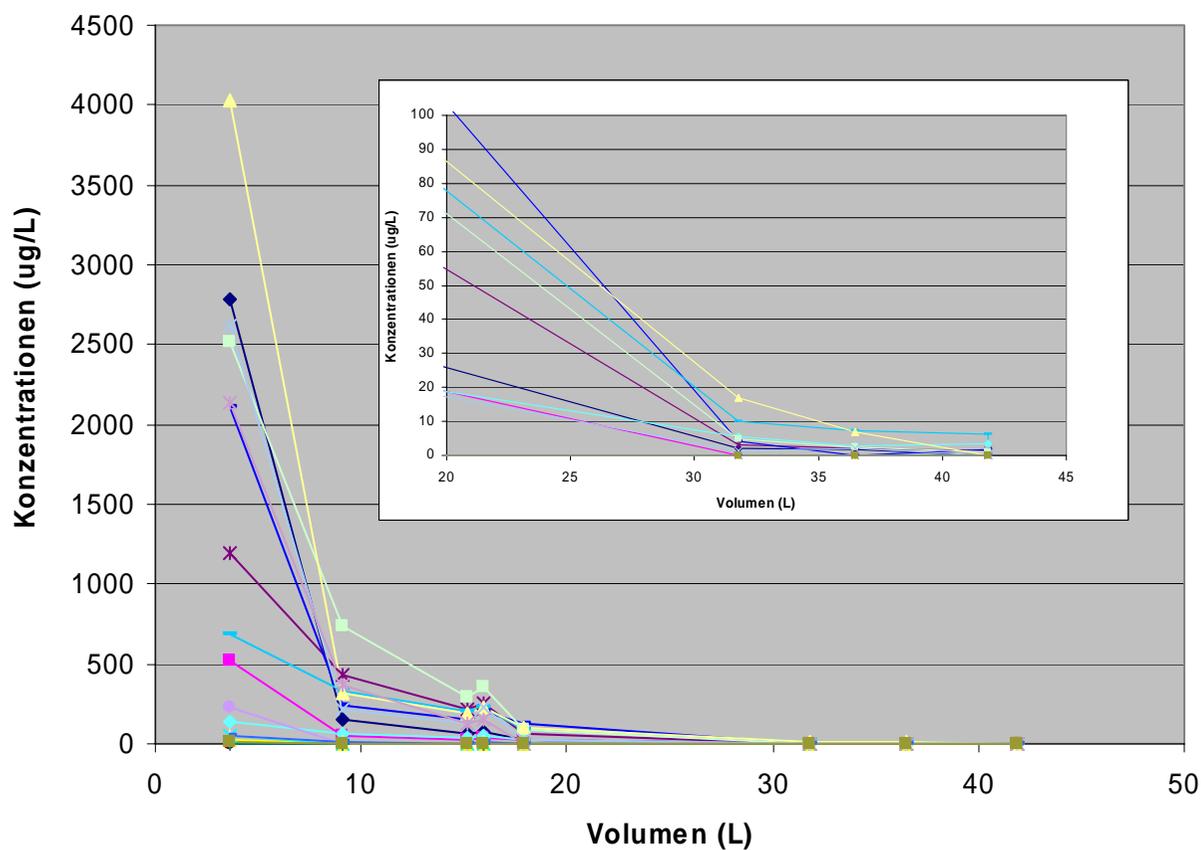
Stoffe	Retardationsfaktor*	Abbau**
Br-, Dioxan, THF	1.0	0%
Chloroform, Dichlorethan, 1,1,2,2-Tetrachlorethan	1.4 – 1.6	0%
Benzol, Toluol, Ethylbenzol, 1,2-Dichlorbenzol	1.0 – 1.3	50 bis 80%
Methylenchlorid	1.1	25%

*Berechnet mit den Massenschwerpunkten der jeweiligen Peaks

**Berechnet mittels Massenbilanz

6 Langzeitversuch mit hohen Konzentrationen

Auswaschung nach Konditionierung mit Einzelstoffkonz. von ca. 30 mg/L



7 Schlussfolgerungen

● **Abbau**

- Schneller aerober Abbau abbaubarer Stoffe (solange Sauerstoff vorhanden)
- Die meisten LHKW (mit der Ausnahme von Methylenchlorid) werden in den Sandguschottern (aerob) nur sehr langsam abgebaut

● **Retardation**

- Der Hauptteil der gelösten Stoffe wird nur schwach retardiert
- Stoffe, die in den feinen Poren der Schotter enthalten sind, werden nur langsam ausgewaschen, dies gilt insbesondere für hydrophobe Stoffe

● **Nach Quellenstopp (kein Stoffeintrag mehr in die Sandguschotter)**

- In einer ersten Phase, schnelle Konzentrationsabnahme im direkten Abstrom des ehemaligen Eintragortes
- Dann sehr langsame Konzentrationsabnahme

Annexe 2

Répartition actuelle des substances

- 2.1 Perméabilité des argiles de Bonfol et bilan hydrique
- 2.2a-c Répartition spatiale des substances dans les lentilles sableuses suite au transport advectif avec lixiviats exfiltrés
- 2.3a-c Répartition spatiale des substances dans l'encaissant argileux de la décharge suite aux apports par diffusion en provenance de la décharge

Anhang 2.1: Permeabilität der Bonfoltone und Wasserbilanz

Vorgehen

Die statistische Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte (Permeabilitäten) beruht auf gemessenen Werten (siehe Beilagenbericht 6.1 [4]). Insgesamt befinden sich ca. 12'000 m² Saum im Kontakt mit Sickerwasser. Auf rund der Hälfte dieser Fläche können Exfiltrationen stattfinden (auf der anderen Hälfte finden Infiltrationen aus der Umwelt in die Deponie statt).

Für jede Permeabilität (k) wurden Exfiltrationsdistanz und -volumen folgendermassen berechnet:

$$\text{Exfiltrationsdistanz} = \frac{k \cdot i \cdot t}{n} \qquad \text{Exfiltrationsvolumen} = \text{Fläche} \cdot k \cdot i \cdot t = (6000 \text{ m}^2 \cdot \text{Häufigkeit}) \cdot k \cdot i \cdot t$$

Das gewählte Vorgehen ermöglicht durch das Summieren der berechneten Volumina der einzelnen k-Werte eine grobe Schätzung des gesamten Exfiltrationsvolumens. Die Exfiltrationsdistanz kann mit dem Vorgehen nur sehr grob geschätzt werden, da der Gradient i lokal stark variieren kann.

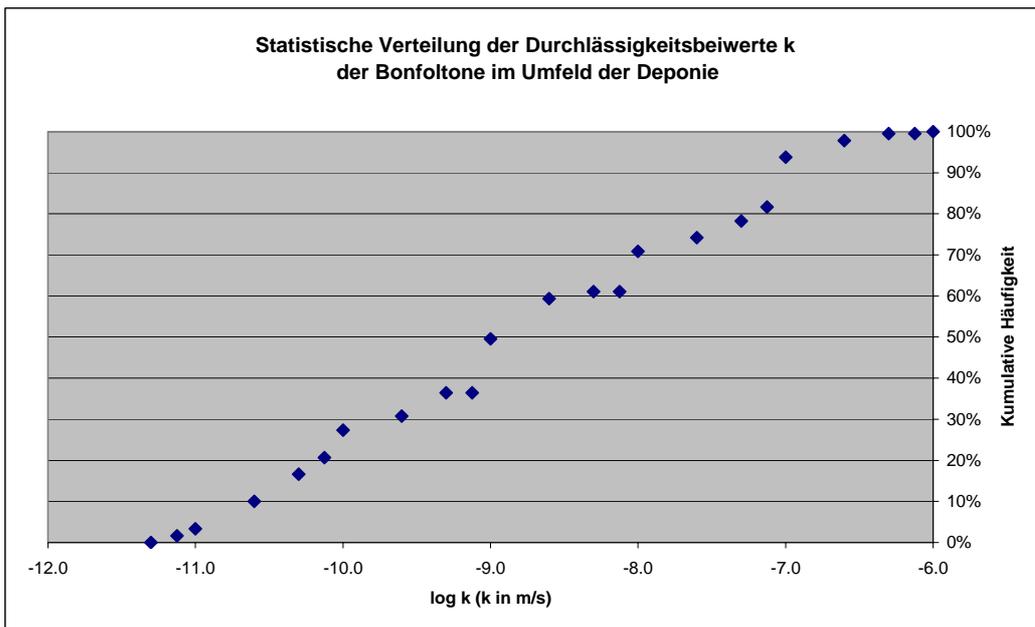
Parameter	
Exfiltrationsdauer t	40 Jahre
Gradient i	0.02 geschätzter durchschnittlicher Gradient
Gesamtporosität n	0.44 geschätzte Porosität für die Bonfoltone

Durchlässigkeitsbeiwert log k (k in m/s)	Prozentuale Verteilung ⁽³⁾		Exfiltrationsdistanz ⁽¹⁾ (m)	Exfiltrationsvolumen ⁽²⁾ (m ³)
	Häufigkeit	Kum. Häufigkeit		
-11.3	0%	0%	0.0	0.0
-11.1	2%	2%	0.0	0.0
-11.0	2%	3%	0.0	0.0
-10.6	7%	10%	0.0	0.3
-10.3	7%	17%	0.0	0.5
-10.1	4%	21%	0.0	0.5
-10.0	7%	27%	0.0	1.0
-9.6	3%	31%	0.0	1.3
-9.3	6%	36%	0.0	4.3
-9.1	0%	36%	0.0	0.0
-9.0	13%	50%	0.1	19.9
-8.6	10%	59%	0.1	37.1
-8.3	2%	61%	0.3	12.7
-8.1	0%	61%	0.4	0.0
-8.0	10%	71%	0.6	148.3
-7.6	3%	74%	1.4	127.6
-7.3	4%	78%	2.9	307.4
-7.1	3%	82%	4.3	382.7
-7.0	12%	94%	5.7	1836.4
-6.6	4%	98%	14.3	1537.0
-6.3	2%	100%	28.7	1265.2
-6.1	0%	100%	43.0	0.0
-6.0	1%	100%	57.4	757.4
Summe (gerundet)				6000.0

⁽¹⁾Die angegebene Distanz ab Deponierand entspricht der Spitze der Wasserfahne

⁽²⁾Volumen inkl. bereits ausgewaschenem Anteil

⁽³⁾Verteilung der Permeabilität aufgrund der durchgeführten Messungen, vgl. Beilagenbericht 6.1 [4]



Anhang 2.2a: Räumliche Verteilung von Anilin in den Sandlinsen als Folge des advektiven Transports mit exfiltrierendem Sickerwasser

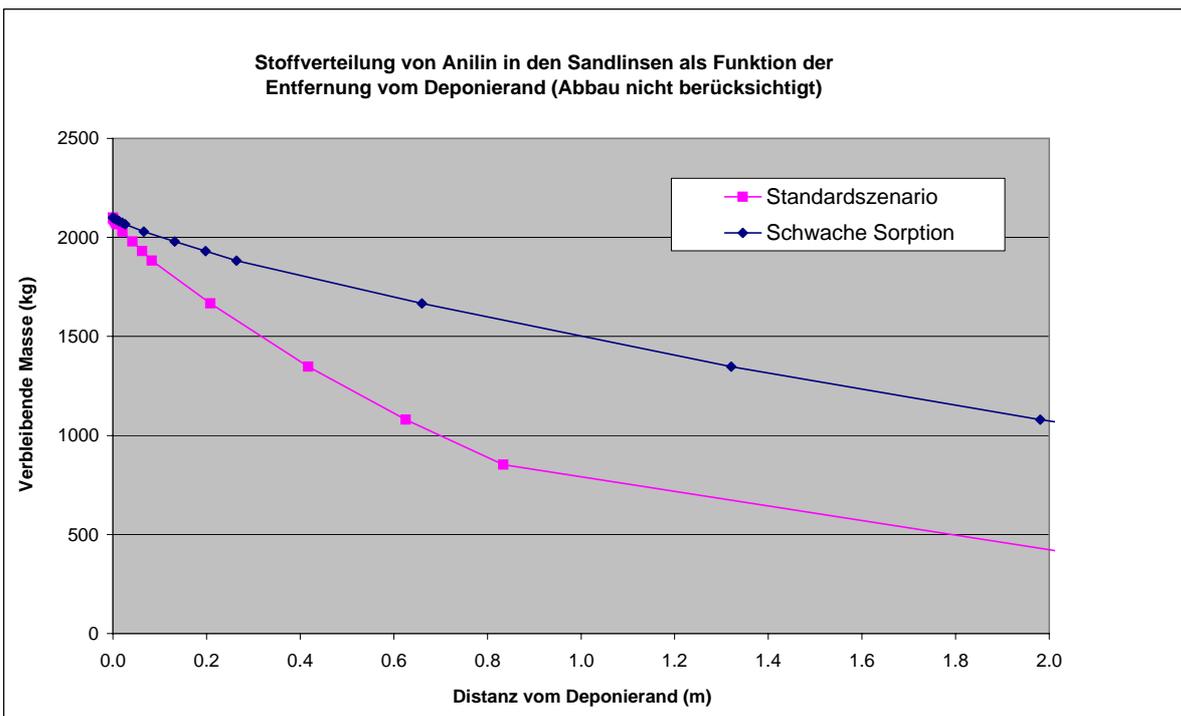
Vorgehen

Bei Stoffen, die nicht sorbieren (wie z.B. Bromid), wird die Massenverteilung als Funktion der Entfernung vom Deponierand aufgrund der in Anhang 2.1 grob geschätzten Exfiltrationsdistanzen berechnet. Für sorbierende Stoffe (d.h. $K_d > 0$ L/kg) wird zuerst ein Retardationsfaktor berechnet (siehe Schwarzenbach et al. 2003 [11]). Die Exfiltrationsdistanz ergibt sich aus der Exfiltrationsdistanz des Wassers (bzw. eines Tracers) dividiert durch den Retardationsfaktor. Siehe auch Abschnitt 4.3.2.1 dieses Berichts.

Stoffverteilung von Anilin in den Sandlinsen als Funktion der Entfernung vom Deponierand

Parameter für Anilin	
log K_{oc}	1.7 (-)
log K_d (Labor)	0.52 (-), K_d in L/kg
Konz. Sickerwasser	420 mg/L
Kumulative Masse	2100 kg
Retardationsfaktor	6.88 Standardszenario
Retardationsfaktor	2.17 Schwache Sorption
Abbau	nicht berücksichtigt

Verbleibende Masse (kg) (y-Achse der Graphik)	Distanz ab Deponierand (m) (x-Achse der Graphik)	
	Standardszenario	Schwache Sorption
	2100	0.00
2096	0.00	0.00
2091	0.00	0.01
2082	0.00	0.01
2074	0.01	0.02
2066	0.01	0.03
2029	0.02	0.07
1979	0.04	0.13
1931	0.06	0.20
1883	0.08	0.26
1667	0.21	0.66
1348	0.42	1.32
1080	0.63	1.98
853	0.83	2.64
392	2.09	6.60
124	4.17	13.20
62	6.26	19.81
0	8.34	26.41



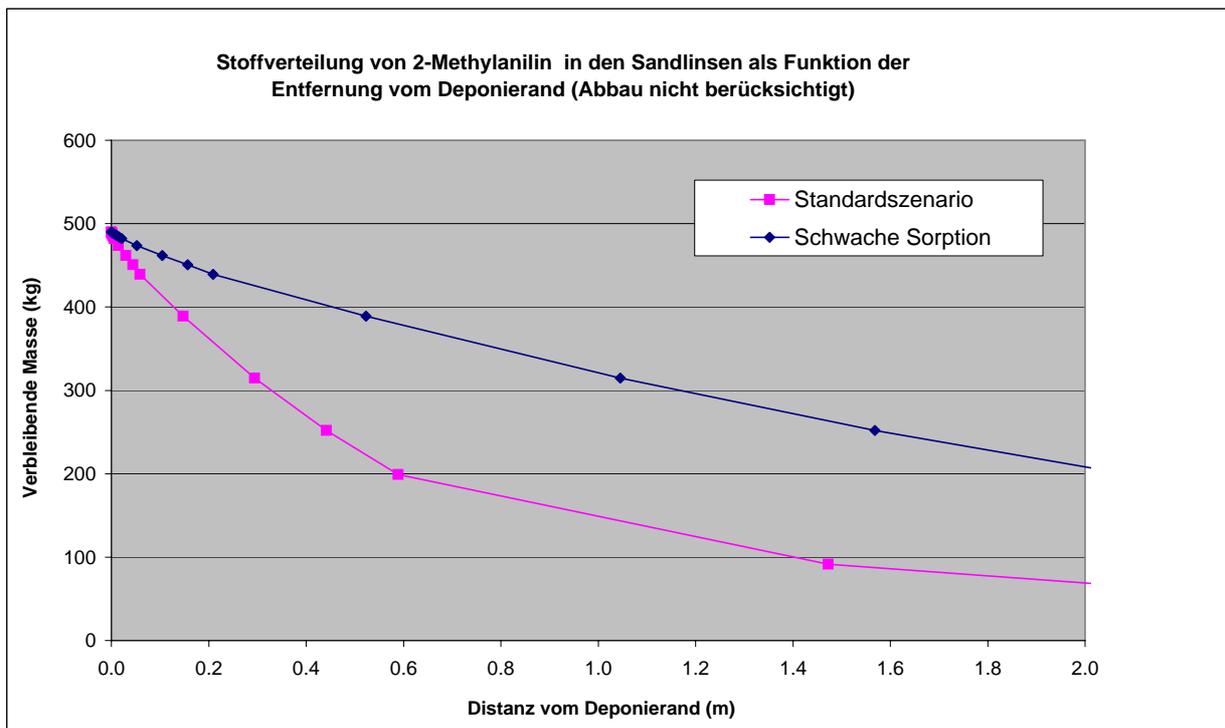
Anhang 2.2b: Räumliche Verteilung von 2-Methylanilin in den Sandlinsen als Folge des advektiven Transports mit exfiltrierendem Sickerwasser

Vorgehen: siehe Anhang 2.2a

Stoffverteilung von 2-Methylanilin in den Sandlinsen als Funktion der Entfernung vom Deponierand

Parameter für 2-Methylanilin	
log K_{oc}	2.5 (-)
log K_d (Labor)	0.7 (-), K_d in L/kg
Konz. Sickerwasser	98 mg/L
Kumulative Masse	490 kg
Retardationsfaktor	9.7 Standardszenario
Retardationsfaktor	2.7 Schwache Sorption
Abbau	nicht berücksichtigt

Verbleibende Masse (kg) (y-Achse der Graphik)	Distanz ab Deponierand (m) (x-Achse der Graphik)	
	Standardszenario	Schwache Sorption
490	0.00	0.00
489	0.00	0.00
488	0.00	0.01
486	0.00	0.01
484	0.00	0.02
482	0.01	0.02
473	0.01	0.05
462	0.03	0.10
451	0.04	0.16
439	0.06	0.21
389	0.15	0.52
315	0.29	1.05
252	0.44	1.57
199	0.59	2.09
91	1.47	5.23
29	2.94	10.45
14	4.42	15.68
0	5.89	20.91



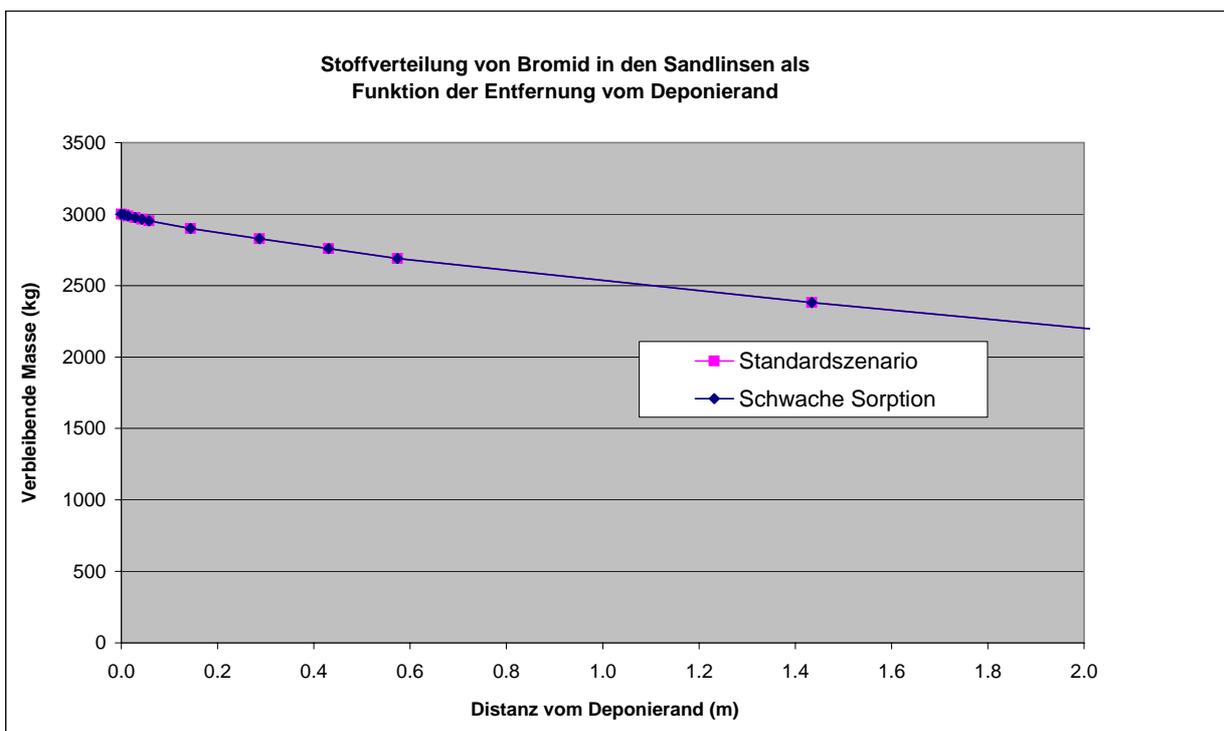
Anhang 2.2c: Räumliche Verteilung von Bromid in den Sandlinsen als Folge des advektiven Transports mit exfiltrierendem Sickerwasser

Vorgehen: siehe Anhang 2.2a

Stoffverteilung von Bromid in den Sandlinsen als Funktion der Entfernung vom Deponierand

Parameter für Bromid	
log K_{oc}	0 (-)
log K_d (Labor)	0 (-), K_d in L/kg
Konz. Sickerwasser	600 mg/L
Kumulative Masse	3000 kg
Retardationsfaktor	1 Standardszenario
Retardationsfaktor	1 Schwache Sorption

Verbleibende Masse (kg) (y-Achse der Graphik)	Distanz ab Deponierand (m) (x-Achse der Graphik)	
	Standardszenario	Schwache Sorption
3000	0.00	0.00
2994	0.01	0.01
2987	0.01	0.01
2975	0.03	0.03
2963	0.04	0.04
2952	0.06	0.06
2899	0.14	0.14
2827	0.29	0.29
2758	0.43	0.43
2690	0.57	0.57
2381	1.43	1.43
1926	2.87	2.87
1543	4.30	4.30
1219	5.74	5.74
559	14.34	14.34
176	28.69	28.69
88	43.03	43.03
0	57.38	57.38



Anhang 2.3a: Räumliche Verteilung von Anilin im tonigen Deponiesaum als Folge des diffusiven Eintrags aus der Deponie

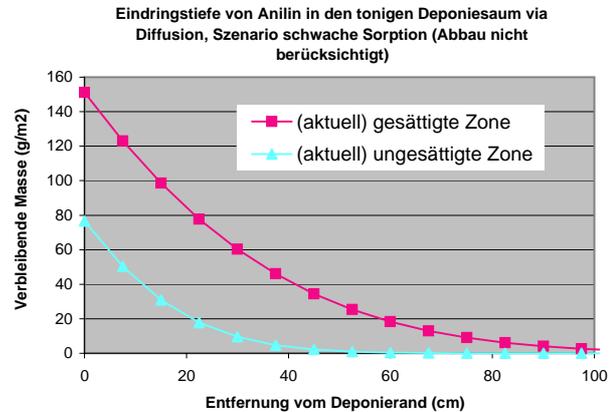
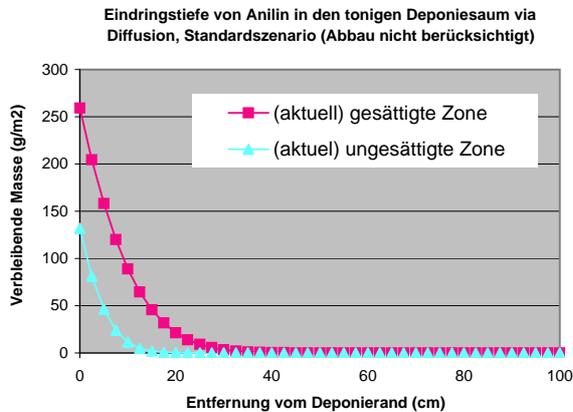
Vorgehen (siehe auch Abschnitt 4.3.2.2 dieses Berichts):

Die Stoffkonzentration (c) in Funktion der Zeit (t) und der Entfernung vom Deponiesaum (x, wobei bei x=0 von einer zeitlich konstanten Sickerwasserkonzentration c₀ ausgegangen wird) wird anhand des 2. Fick'schen Gesetzes berechnet (siehe Gratwohl [10]):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_a \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2. \text{ Fick'sches Gesetz})$$

Der Diffusionskoeffizient im tonigen Deponiesaum ("Apparent" Diffusionskoeffizient, D_a) berechnet sich ausgehend vom Diffusionskoeffizienten des Stoffes in Wasser, unter Berücksichtigung der Sorptionseigenschaften des Stoffes (K_d) sowie der durch die Tone verminderten Diffusionsgeschwindigkeit ("Effective" Diffusionskoeffizient, D_e, von den Eigenschaften der Bonfoltone abhängig), siehe Gratwohl [10].

Parameter	Szenario		Einheit	Datenquelle/Kommentar
	Standard	Schwache Sorption		
Stoffeigenschaften				
Molvolumen	110.2	110.2	cm ³ /mol	berechnet nach Gratwohl [10]
K _{oc}	50	50	L/kg	aus TransSim [2]
K _d	3.3	0.33	L/kg	berechnet aus Laborvorversuchen
Diffusionskoeffizient im Wasser bei 10°C, D_w				
Temperatur	10	10	°C	Temperatur im Untergrund
Temperatur	283.15	283.15	K	Temperatur im Untergrund
psiH ₂ O ("association" parameter für Wasser)	2.26	2.26	-	Aus CRC Handbook
Molekulargewicht Wasser	18	18	g/mol	Aus CRC Handbook
Viskosität des Wassers	1.307	1.307	centipoises	Aus CRC Handbook
Eigenschaften der Bonfoltone				
Gesamtporosität (n) der Bonfoltone	0.44	0.44	-	siehe Beilagenbericht 6.1 [4]
Trockendichte der Bonfoltone	1.56	1.56	kg/L	siehe Beilagenbericht 6.1 [4]
Anteil Tone in der Serie der Bonfoltone	40	20	%	siehe auch Abschnitt 4.2.2
Tortuosität	6.4	3.2	-	Interpoliert siehe unten
(vgl. Tortuosität Kunipia-Tone	18.3	18.3	-	aus Ochs et al. [15]
(vgl. Tortuosität Kunigel-Tone	6.5	6.5	-	aus Ochs et al. [15]
"Apparent" Diffusionskoeffizient, D _a	7.47E-08	8.75E-07	cm ² /s	berechnet nach Gratwohl [10]
"Effective" Diffusionskoeffizient, D _e	4.18E-07	8.37E-07	cm ² /s	berechnet nach Gratwohl [10]
"Capacity factor" alpha	5.6	1.0	-	berechnet nach Gratwohl [10]
"Pore Retardation" R _p	12.7	2.2	-	berechnet nach Gratwohl [10]

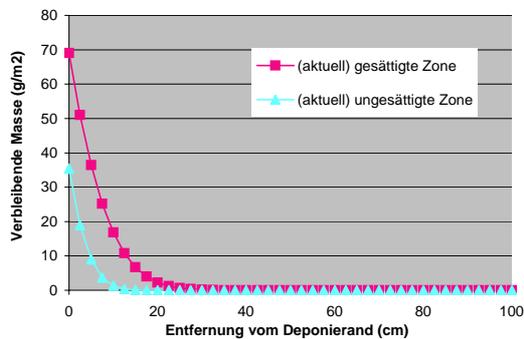


Anhang 2.3b: Räumliche Verteilung von 2-Methylanilin im tonigen Deponiesaum als Folge des diffusiven Eintrags aus der Deponie

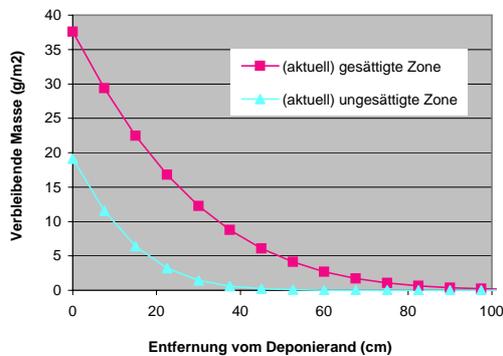
Vorgehen: siehe Anhang 2.3a

Parameter	Szenario		Einheit	Datenquelle/Kommentar
	Standard	Schwache Sorption		
Stoffeigenschaften				
Molvolumen	132.4	132.4	cm ³ /mol	berechnet nach Gratwohl [10]
K _{oc}	316.227766	316.227766	L/kg	aus TransSim [2]
K _d	4.9	0.49	L/kg	berechnet aus Laborvorversuchen
Diffusionskoeffizient im Wasser bei 10°C, D_w				
Temperatur	5.45E-06	5.45E-06	cm ² /s	D _w nach Wilke/Chang [18]
Temperatur	10	10	°C	Temperatur im Untergrund
Temperatur	283.15	283.15	K	Temperatur im Untergrund
psiH ₂ O ("association" parameter für Wasser)	2.26	2.26	-	Aus CRC Handbook
Molekulargewicht Wasser	18	18	g/mol	Aus CRC Handbook
Viskosität des Wassers	1.307	1.307	centipoises	Aus CRC Handbook
Eigenschaften der Bonfoltone				
Gesamtporosität (n) der Bonfoltone	0.44	0.44	-	siehe Beilagenbericht 6.1 [4]
Trockendichte der Bonfoltone	1.56	1.56	kg/L	siehe Beilagenbericht 6.1 [4]
Anteil Tone in der Serie der Bonfoltone	40	20	%	siehe auch Abschnitt 4.2.2
Tortuosität	6.4	3.2	-	Interpoliert siehe unten
(vgl. Tortuosität Kunipia-Tone)	18.3	18.3	-	aus Ochs et al. [15]
(vgl. Tortuosität Kunigel-Tone)	6.5	6.5	-	aus Ochs et al. [15]
"Apparent" Diffusionskoeffizient, D _a	4.61E-08	6.20E-07	cm ² /s	berechnet nach Gratwohl [10]
"Effective" Diffusionskoeffizient, D _e	3.74E-07	7.49E-07	cm ² /s	berechnet nach Gratwohl [10]
"Capacity factor" alpha	8.1	1.2	-	berechnet nach Gratwohl [10]
"Pore Retardation" R _p	18.4	2.7	-	berechnet nach Gratwohl [10]

Eindringtiefe von 2-Methylanilin in den tonigen Deponiesaum via Diffusion, Standardszenario (Abbau nicht berücksichtigt)



Eindringtiefe von 2-Methylanilin in den tonigen Deponiesaum via Diffusion, Szenario schwache Sorption (Abbau nicht berücksichtigt)

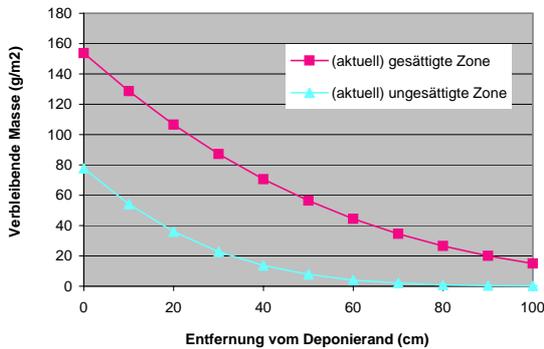


Anhang 2.3c: Räumliche Verteilung von Bromid im tonigen Deponiesaum als Folge des diffusiven Eintrags aus der Deponie

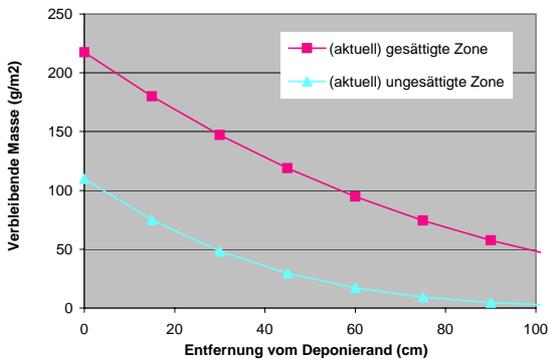
Vorgehen: siehe Anhang 2.3a

Parameter	Szenario		Einheit	Datenquelle/Kommentar
	Standard	Schwache Sorption		
Stoffeigenschaften				
Molvolumen	110.2	110.2	cm ³ /mol	berechnet nach Gratwohl [10]
K _{oc}			L/kg	aus TransSim [2]
K _d	0.0	0.0	L/kg	
Diffusionskoeffizient im Wasser bei 10°C, D_w				
Temperatur	10	10	°C	Temperatur im Untergrund
Viskosität des Wassers (10°C)	1.307	1.307	centipoises	aus CRC Handbook
Diffusionskoeffizient im Wasser bei 25°C, D_w				
"Equivalent Ionic Conductance" (25°C)	7.81E-03	7.81E-03	m ² S/mol	aus CRC Handbook
Eigenschaften der Bonfoltone				
Gesamtporosität (n) der Bonfoltone	0.44	0.44	-	siehe Beilagenbericht 6.1 [4]
Trockendichte der Bonfoltone	1.56	1.56	kg/L	siehe Beilagenbericht 6.1 [4]
Anteil Tone in der Serie der Bonfoltone	40	20	%	siehe auch Tabelle 4.2.2
Tortuosität	6.4	3.2	-	Interpoliert siehe unten
(vgl. Tortuosität Kunipia-Tone	18.3	18.3	-	aus Ochs et al. [15]
(vgl. Tortuosität Kunigel-Tone	6.5	6.5	-	aus Ochs et al. [15]
"Apparent" Diffusionskoeffizient, D_a				
"Effective" Diffusionskoeffizient, D _e	2.09E-06	4.18E-06	cm ² /s	berechnet nach Gratwohl [10]
"Capacity factor" alpha	9.20E-07	1.84E-06	cm ² /s	berechnet nach Gratwohl [10]
"Pore Retardation" R _p	0.4	0.4	-	berechnet nach Gratwohl [10]
	1.0	1.0	-	berechnet nach Gratwohl [10]

Eindringtiefe von Bromid in den tonigen Deponiesaum via Diffusion, Standardszenario



Eindringtiefe von Bromid in den tonigen Deponiesaum via Diffusion, Szenario schwache Sorption



Annexe 3

Evaluation de la pollution résiduelle tolérable

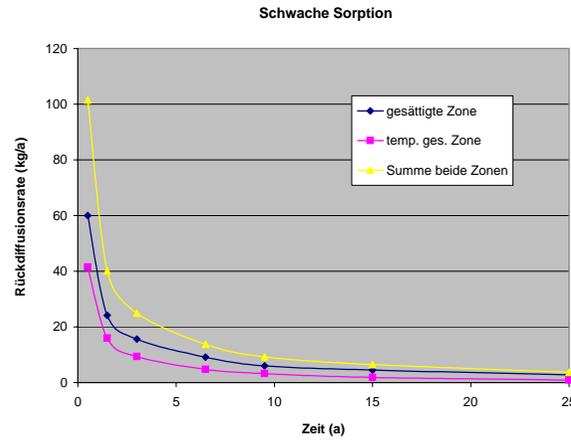
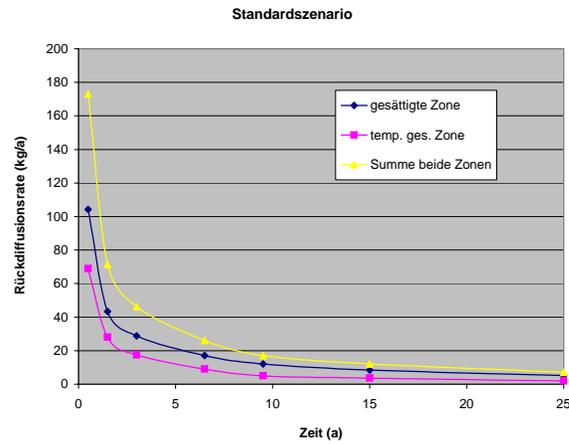
- 3.1 Paramètres de modélisation pour les calculs effectués
- 3.2a Calcul des taux de rediffusion issus de l'encaissant argileux de la décharge
- 3.2b Répartition des substances rediffusant à partir de l'encaissant
- 3.3a-c Etablissement des mesures d'assainissement pour l'encaissant argileux de la décharge
- 3.4a-c Calcul des taux de lessivage dans les lentilles sableuses
- 3.4d Comparaison des concentrations dans les eaux souterraines dues au lessivage dans les lentilles sableuses avec l'objectif d'assainissement

Anhang 3.1: Modellparameter zur Abschätzung der tolerierbaren Restbelastung

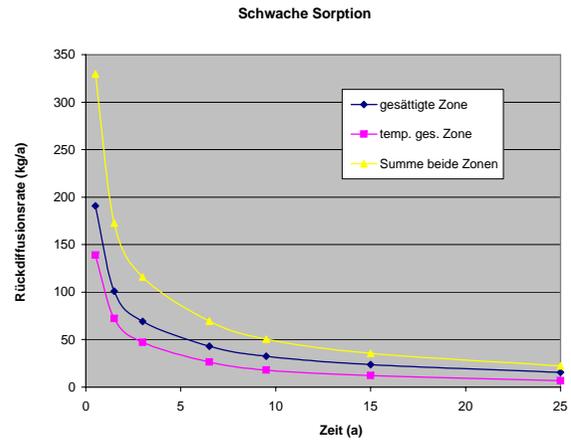
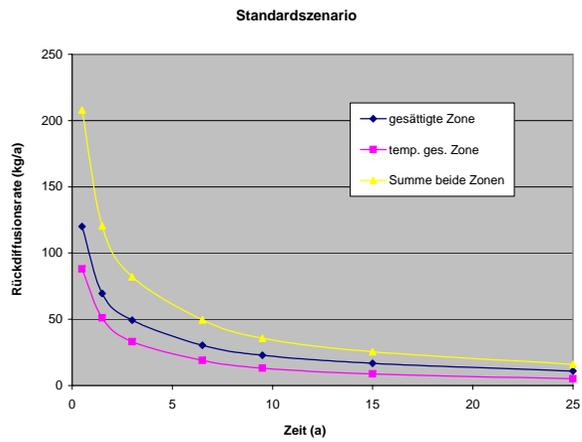
Modellparameter	Standardszenario	Schwache Sorption, vermehrte Exfiltrationen	Bemerkungen zu den Parametern	
A) Deponiekennzahlen				
Gesättigte Fläche (während 40 Jahren gesättigt)	(m ²)	12'000	12'000	-> gemäss Hauptbericht Sanierungsprojekt
Temporär gesättigte Fläche (während 10 Jahren)	(m ²)	10'000	10'000	-> gemäss Hauptbericht Sanierungsprojekt
B) Wasserhaltung				
Vor der Sanierung, Exfiltrationen, über 40 a, netto	(m ³)	5'000	5'000	-> siehe Anhang 2
Nach der Sanierung -> Sandlinsen unterhalb der Deponie	(m ³ /a)	20	40	-> je nach Wiedereinbau des Untergrunds im Bereich der Linsen
Nach der Sanierung -> Sandlinsen am Rand der Deponie	(m ³ /a)	200	750	-> je nach Wiedereinbau des Untergrunds im Bereich der Linsen
Nach der Sanierung -> oberflächennaher Abfluss	(m ³ /a)	6'000	6'000	-> ca. 1/3 der Niederschlagsmenge
C) Toneigenschaften und Sorption				
Tonanteil	(-)	40%	20%	-> siehe Text und Anhang 2
Rohdichte trocken	kg/L	1.56	1.56	-> siehe Anhang 2
Gesamtporosität		44%	44%	-> siehe Anhang 2
D) Sundgauschotter				
Wasserdurchfluss im Bereich SG 19-19b	(m ³ /a)	3'700	3'700	-> vgl. Beilagenbericht 6.1
Wasserdurchfluss Infiltrationszone der Linsen	(m ³ /a)	56'000	56'000	-> vgl. Text und Beilagenbericht 6.1
E) Parameter für die Rückdiffusion aus dem Deponiesaum				
Es wird kein Abbau berücksichtigt				-> solange genug Sauerstoff vorhanden ist, wird ein aerober Abbau in den Sundgauschottern stattfinden, siehe Anhang 1
K _d	(L/kg)	K _{d(Labor)}	0.1*K _{d(Labor)}	-> siehe Text
Verteilung der Rückgelösten Stoffe				
temporär gesättigte Zone -> oberflächennaher Abfluss	(-)	50%	50%	-> siehe Text
gesättigte Zone -> oberflächennaher Abfluss	(-)	10%	10%	-> siehe Text
gesättigte Zone -> Linsen unterhalb der Deponie	(-)	0.9%	2.0%	-> siehe Text
gesättigte Zone -> Linsen am Rand der Deponie	(-)	9.1%	38.0%	-> siehe Text
Diffusion via Porenluft wird vernachlässigt				
C _w in der Grube << C _w in den belasteten Tonen				-> hat keinen signifikanten Einfluss auf die Stofffrachten
F) Parameter für die Auswaschung der Sandlinsen				
Es wird kein Abbau berücksichtigt				-> in den Sandlinsen wird ein anaerober Stoffabbau beobachtet
K _d	(L/kg)	0.5*K _{d(Labor)}	0.1*K _{d(Labor)}	-> siehe Text (Tabelle 5.2.1)
Die Linse(n) unterhalb der Deponie ist (sind) mit Schadstoffen gesättigt (Sättigung berechnet mit dem jeweiligen K _d)				
Die restlichen Schadstoffe sind in den 'lateralen' Linsen homogen verteilt				
<i>Präferentielle Fliesswege</i>				
Volumen- bzw. Schadstoffanteil präf. Fliesswege	(-)	20%	20%	-> Best Guess, im Rahmen der von TransSim zugelassenen Werte
Anteil exfiltrierendes Wasser durch präf. Fliesswege	(-)	80%	80%	-> Best Guess, im Rahmen der von TransSim zugelassenen Werte
<i>Volumen der Linsen</i>				
Seitliche Linse(n)	(m ³)	5'000	5'000	-> entspricht einer Linse mit einem Querschnitt von ca. 100 m ² und einer Länge von ca 50 m
Vertikale Linse(n)	(m ³)	160	160	-> entspricht einer Linse mit einem Querschnitt von ca. 20 m ² und einer Länge von ca 8 m
G) Parameter für die Auswaschung aus dem wiederverfüllten Material				
Volumen unbelastetes Material bei Wiederverfüllung	(m ³)	60'000	60'000	oberer Bereich der Wiederverfüllung, bestehend aus Oberboden, Kies und unbelasteter Tonbarriere
Volumen un- & schwach belastetes Material bei Wiederverfüllung	(m ³)	90'000	90'000	unterer Bereich der Wiederverfüllung, bestehend aus sauberem und schwach belastetem (<T) Ton
Eintrag in Oberflächengewässer: unbelastete Verfüllung	(m ³ /a)	5400	5400	-> vgl. B) Wasserhaltung; Wasserhaltung für Sandlinsen wie in B)
Eintrag in Oberflächengewässer: belastete Verfüllung	(m ³ /a)	600	600	-> d.h. Sickerwasser aus belastetem Bereich wird 10x verdünnt
K _d	(L/kg)	0.5*K _{d(Labor)}	0.1*K _{d(Labor)}	
Belastung via (verbleibenden) Saum nicht berücksichtigt				
Mit max. tolerierbarer Belastung für gesamte belastete Verfüllung gerechnet				-> nicht konservative Annahme
Da lediglich 10% des aufgefüllten Materials belastet sein werden, sind die getroffenen Annahmen und Vereinfachungen insgesamt plausibel				-> konservative Annahme

Anhang 3.2a: Rückdiffusion aus dem Deponiesaum

Berechnete Rückdiffusionsraten aus dem Deponiesaum von 2-Methylanilin



Berechnete Rückdiffusionsraten aus dem Deponiesaum von Bromid



Anhang 3.2b: Verteilung der aus dem Deponiesaum rückdiffundierenden Schadstoffe (Erklärungen zu Tabelle 4.4.2)

Schadstoffe aus der (aktuell) ungesättigten Zone

- Die Schadstoffe des Deponiesaums der südlichen Hälfte der Deponie müssten zuerst rückgelöst und über eine grössere Distanz durch die Auffüllung transportiert werden, um die Schutzgüter (Beobachtungspunkte a, b oder c) zu erreichen. Die Schadstoffe aus diesem Deponiebereich werden vor dem Erreichen der Schutzgüter durch Sorption zurückgehalten und sind deshalb kaum relevant.
- Die Schadstoffe aus der nördlichen Deponiehälfte, d.h. ca. 50% der Schadstoffe, werden in Richtung der Auffüllung rückdiffundieren und können nach einer verhältnismässig kurzen Transportstrecke mit dem oberflächennahen Wasser exfiltrieren. Es wird deshalb angenommen, dass 50% der rückdiffundierenden Schadstoffe via oberflächennahe Ausflüsse ausgetragen werden.

Schadstoffe aus der (aktuell) gesättigten Zone

- Die Schadstoffe aus dem unteren Teil der Grube werden mehrheitlich in die Auffüllung sorbieren, weil sie über eine grössere Distanz transportiert werden müssten, bevor sie in die Schutzgüter gelangen würden.

Im Standardszenario wird angenommen, dass 80% der rückdiffundierenden Stoffe in die Auffüllung sorbieren.

Für das Szenario "schwache Sorption", wurde angenommen, dass lediglich die Hälfte der Schadstoffe wieder in die Auffüllung sorbiert.

- Wie bereits erwähnt wird die sanierte und wiederverfüllte Grube verhältnismässig dicht bleiben, so dass nur ein Bruchteil der rückdiffundierenden Schadstoffe via Sandlinsen ausgetragen werden kann.

Im Standardszenario wird angenommen, dass rund 10% der rückdiffundierenden Schadstoffe ausgetragen werden. Da im Standardszenario 10 Mal mehr Wasser lateral (ca. 200 m³/a) als vertikal (ca. 20 m³/a) exfiltriert, wird auch angenommen, dass 10 Mal mehr Schadstoffe lateral als vertikal ausgetragen werden (d.h. 9.1% vs. 0.9%).

Im Szenario "Schwache Sorption mit vermehrten Exfiltrationen" sind die gesamten Exfiltrationen (insgesamt ca. 800 m³/a) 4 Mal grösser als im Standardszenario. Entsprechend wird angenommen, dass der Anteil der rückdiffundierenden Schadstoffe, der via Sandlinsen ausgetragen wird, auch 4 Mal grösser ist (d.h. 40% statt 10%). Da in diesem Szenario ca. 20 Mal mehr Wasser lateral (ca. 750 m³/a) als vertikal (ca. 40 m³/a) exfiltriert, wird weiter angenommen, dass ca. 20 Mal mehr Schadstoffe lateral als vertikal ausgetragen werden (d.h. 38% vs. 2%).

Anhang 3.3a: Rückdiffusion aus dem belasteten Deponiesaum in die wiederverfüllte Grube und Emission in die Schutzgüter über die Pfade a, b und c (Berechnungen)

Stoff		Anilin	2-Methylanilin	3-Methylanilin	Dichlormethan	Cl ₂ CCl ₂	Trichlorethen	Benzol	Dioxan	THF	Ammonium	Zink	Bromid
Rückdiffusion, Standardszenario													
<i>Rückdiffusionsrate</i>													
Gesättigte Zone, 1. Jahr	(g/a/m ²)	33.7	8.7	0.32	2.38	0.21	0.18	3.6	4.4	8.2	129.0	48.2	10.0
Gesättigte Zone, Durchschnitt 0-10 Jahre	(g/a/m ²)	9.5	2.5	0.09	0.7	0.06	0.06	1.0	1.2	2.2	36.1	17.0	3.9
Gesättigte Zone, 10. Jahr	(g/a/m ²)	3.8	1.0	0.04	0.3	0.03	0.03	0.4	0.4	0.8	14.0	8.0	1.9
Ungesättigte Zone, Durchschnitt 1. Jahr	(g/a/m ²)	28.2	6.9	0.25	2.1	0.17	0.36	3.1	3.9	7.3	107.0	64.5	8.8
Ungesättigte Zone, Durchschnitt 0-10 Jahre	(g/a/m ²)	7.1	1.8	0.07	0.5	0.05	0.10	0.8	0.9	1.7	26.4	15.0	3.1
Ungesättigte Zone, Durchschnitt 10. Jahr	(g/a/m ²)	2.1	0.5	0.02	0.2	0.02	0.03	0.2	0.3	0.4	7.0	4.0	1.3
<i>Immissionen (ohne "Abkratzen" des belasteten Saums)</i>													
Konz. im Oberflächenabfluss (Pfad a), 10. Jahr	(mg/L)	2.5	0.6	0.02	0.2	0.02	0.03	0.3	0.3	0.5	8.6	4.9	1.5
Überschreitungsfaktor im oberflächennahen Abfluss	(-)	5.0	22.0	0.64	0.9	1.8	0.0	2.7	0.5	0.6	1.7	0.1	
Konz. in den Sundgauschottern im unmittelbaren Abstrom (Pfad b), 10. Jahr	(µg/L)	112.0	29.5	1.08	8.0	0.74	0.88	11.8	11.8	23.6	412.8	235.9	56.0
Überschreitungsfaktor in den Sundgauschottern im unmittelbaren Abstrom, 10. Jahr	(-)	1.1	5.3	0.15	0.2	0.4	0.0	0.6	0.1	0.1	0.4	0.0	
Konz. in den Sundgauschottern im gesamten Abstrom (Pfad c), 10. Jahr	(µg/L)	74.0	19.5	0.72	5.3	0.49	0.58	7.8	7.8	15.6	272.7	155.8	37.0
Überschreitungsfaktor in den Sundgauschottern im gesamten Abstrom, 10. Jahr	(-)	0.7	3.5	0.10	0.1	0.2	0.0	0.4	0.1	0.1	0.3	0.0	
<i>Maximale Überschreitung des Sanierungsziels ohne "Abkratzen" des Saumes</i>	(-)	5.0	22.0	0.64	0.9	1.8	0.0	2.7	0.5	0.6	1.7	0.1	
<i>Massnahmen zum Erreichen des Sanierungsziels</i>													
Aushubtiefe gesättigte Zone bis keine Überschreitung	(m)	0.18	0.22	0.00	0.00	0.08	0.00	0.13	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Aushubtiefe ungesättigte Zone bis keine Überschreitung	(m)	0.09	0.11	0.00	0.00	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
Aushubkubatur (fest)	(m ³)	3000	3700	0.00	0	1000	0	2000	0	0	3000	0	0
Rückdiffusion, Schwache Sorption und vermehrte Exfiltrationen													
<i>Rückdiffusionsrate</i>													
Gesättigte Zone, 1. Jahr	(g/a/m ²)	20.3	5.0	0.18	1.5	0.12	0.25	2.2	3.1	5.8	116.0	33.7	15.9
Gesättigte Zone, Durchschnitt 0-10 Jahre	(g/a/m ²)	5.6	1.4	0.05	0.4	0.03	0.07	0.6	0.8	1.6	31.6	8.9	5.6
Gesättigte Zone, 10. Jahr	(g/a/m ²)	2.2	0.5	0.02	0.2	0.01	0.03	0.2	0.3	0.6	12.0	3.2	2.7
Ungesättigte Zone, Durchschnitt 1. Jahr	(g/a/m ²)	17.4	4.2	0.15	1.3	0.10	0.20	1.9	2.7	5.1	98.6	30.2	13.9
Ungesättigte Zone, Durchschnitt 0-10 Jahre	(g/a/m ²)	4.2	1.0	0.04	0.3	0.03	0.05	0.4	0.6	1.2	23.4	6.6	4.6
Ungesättigte Zone, Durchschnitt 10. Jahr	(g/a/m ²)	1.2	0.3	0.01	0.1	0.01	0.02	0.1	0.2	0.3	6.0	1.6	1.8
<i>Immissionen (ohne "Abkratzen" des belasteten Saums)</i>													
Konz. im Oberflächenabfluss (Pfad a), 10. Jahr	(mg/L)	1.4	0.4	0.01	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	7.4	2.0	2.0
Überschreitungsfaktor im oberflächennahen Abfluss	(-)	2.9	13.1	0.38	0.6	0.9	0.0	1.5	0.4	0.4	1.5	0.0	
Konz. in den Sundgauschottern im unmittelbaren Abstrom (Pfad b), 10. Jahr	(µg/L)	142.7	32.4	1.19	11.0	0.9	1.9	14.9	21.4	38.9	778.4	207.6	175.1
Überschreitungsfaktor in den Sundgauschottern im unmittelbaren Abstrom, 10. Jahr	(-)	1.4	5.8	0.17	0.3	0.5	0.0	0.7	0.2	0.2	0.8	0.0	
Konz. in den Sundgauschottern im gesamten Abstrom (Pfad c), 10. Jahr	(µg/L)	179.1	40.7	1.50	13.8	1.1	2.4	18.7	26.9	48.9	977.1	260.6	219.9
Überschreitungsfaktor in den Sundgauschottern im gesamten Abstrom, 10. Jahr	(-)	1.8	7.3	0.21	0.3	0.6	0.0	0.9	0.2	0.3	1.0	0.0	
<i>Maximale Überschreitung des Sanierungsziels ohne "Abkratzen" des Saumes</i>	(-)	2.9	13.1	0.38	0.6	0.9	0.0	1.5	0.4	0.4	1.5	0.0	
<i>Massnahmen zum Erreichen des Sanierungsziels</i>													
Aushubtiefe gesättigte Zone bis keine Überschreitung	(m)	0.45	0.71	0.00	0.00	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Aushubtiefe temporäre gesättigte Zone bis keine Überschreitung	(m)	0.23	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
Aushubkubatur (fest)	(m ³)	8000.0	12000.0	0.00	0.0	0.0	0.0	3000.0	0.0	0.0	4000.0	0.0	0.0

Anhang 3.3b: Rückdiffusion aus dem belasteten Deponiesaum in die wiederverfüllte Grube und Emission in die Schutzgüter über die Pfade a, b und c (Ergebnisse)

Schwache Sorption und vermehrte Exfiltrationen

Vergleich der aufgrund der Emissionen aus dem nicht abgeschalteten Deponiesaum geschätzten Konzentrationen in den Schutzgütern mit den Sanierungszielen

Stoff	K-Wert* (µg/L)	Überschreitungsfaktor des Sanierungsziels		
		Oberfl.abfluss (Pfad a)	Sundgau SG 19b (Pfad b)	Sundgau Abstrom (Pfad c)
Anilin	50.0	2.9	1.4	1.8
2-Methylanilin	2.8	13.1	5.8	7.3
3-Methylanilin	3.5	0.4	0.2	0.2
Dichlormethan	20.0	0.6	0.3	0.3
1,1,2,2-Tetrachlorethan	1.0	0.9	0.4	0.6
Trichlorethen	70.0	0.0	0.0	0.0
Benzol	10.0	1.5	0.7	0.9
Dioxan	61.0	0.4	0.2	0.2
THF	88.0	0.4	0.2	0.3
Ammonium	500.0	1.5	0.8	1.0
Zink	5'000.0	0.0	0.0	0.0
Bromid	-			

*Für 2-Methylanilin, Dioxan und THF wird der Toxizitätswert anstelle des K-Wertes nach AltIV herangezogen

Mögliche Aushubmassnahmen im Bereich des Deponiesaums zum Erreichen der Sanierungsziele

Stoff	K-Wert* (µg/L)	Überschreitungsfaktor des Sanierungsziels			Aushubtiefe** (m)		
		Oberfl.abfluss (Pfad a)	Sundgau SG 19b (Pfad b)	Sundgau Abstrom (Pfad c)	Oberfl.abfluss (Pfad a)	Sundgau SG 19b (Pfad b)	Sundgau Abstrom (Pfad c)
Anilin	50.0	< 1	< 1	< 1	0.45	0.175	0.28
2-Methylanilin	2.8	< 1	< 1	< 1	0.71	0.53	0.6
3-Methylanilin	3.5	0.4	0.2	0.2	0	0	0
Dichlormethan	20.0	0.6	0.3	0.3	0	0	0
1,1,2,2-Tetrachlorethan	1.0	0.9	0.4	0.6	0	0	0
Trichlorethen	70.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
Benzol	10.0	< 1	0.7	0.9	0.2	0	0
Dioxan	61.0	0.4	0.2	0.2	0	0	0
THF	88.0	0.4	0.2	0.3	0	0	0
Ammonium	500.0	< 1	0.8	1.0	0.25	0	0
Zink	5'000.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
Bromid	-				0	0	0
Aushubvolumen (m ³)					12000	9000	10000

*Für 2-Methylanilin, Dioxan und THF wird der Toxizitätswert anstelle des K-Wertes nach AltIV herangezogen

**Aushubtiefen (m) für die (aktuell) gesättigte Zone (für die temporär gesättigte Zone beträgt die Aushubtiefe die Hälfte)

Anhang 3.3c: Schadstoffgehalte im entfernten Deponiesaum

Stoff	Standardszenario ⁽¹⁾		Schwache Sorption, vermehrte Exfiltrationen ⁽²⁾	
	maximaler Gehalt im entfernten Saum ⁽³⁾	mittlerer Gehalt im entfernten Saum	maximaler Gehalt im entfernten Saum ⁽³⁾	mittlerer Gehalt im entfernten Saum
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Anilin	1507	720	257	131
2-Methylanilin	510	200	76	33
3-Methylanilin	19	7	3	1
Dichlormethan	85	49	17	10
1,1,2,2-Tetrachlorethan	11	5.0	1.9	0.9
Trichlorethen	23	10	3.7	1.8
Benzol	157	77	26	13
Dioxan	127	79	31	18
THF	226	142	56	33
Ammonium	2936	2034	1103	643
Zink	27476	1321	2771	182
Bromid	169	151	169	125

⁽¹⁾ Massnahmen: 22 cm Saum im (aktuell) gesättigten und 11 cm im (aktuell) ungesättigten Deponiebereich ausgehoben

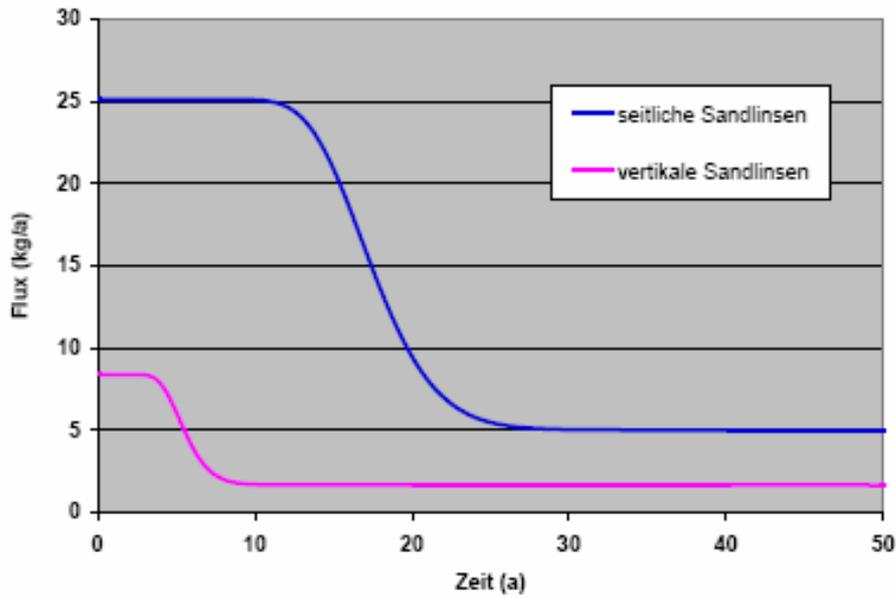
⁽²⁾ Massnahmen: 71 cm Saum im (aktuell) gesättigten und 35.5 cm im (aktuell) ungesättigten Deponiebereich ausgehoben

⁽³⁾ Entspricht der obersten Schicht des aktuellen Deponiesaums (in direktem Kontakt mit dem Sickerwasser)

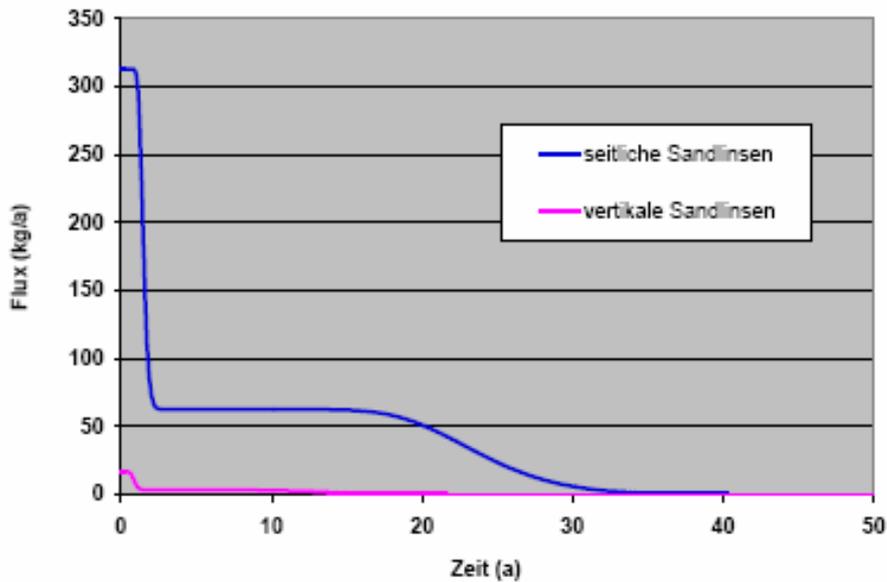
Anhang 3.4a: Auswaschung von Anilin aus den Sandlinsen

Berechnete Auswaschraten von Anilin aus den Sandlinsen

Standardszenario



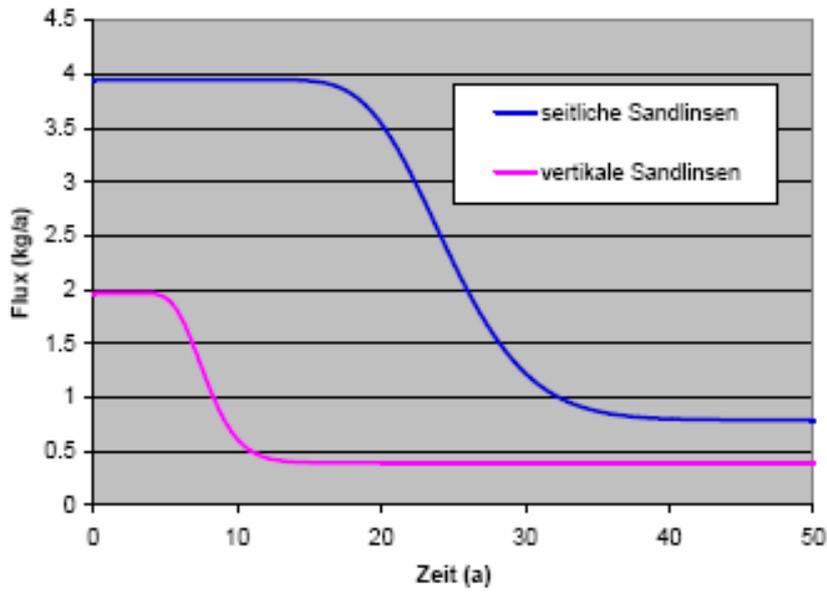
Schwache Sorption und vermehrte Exfiltrationen



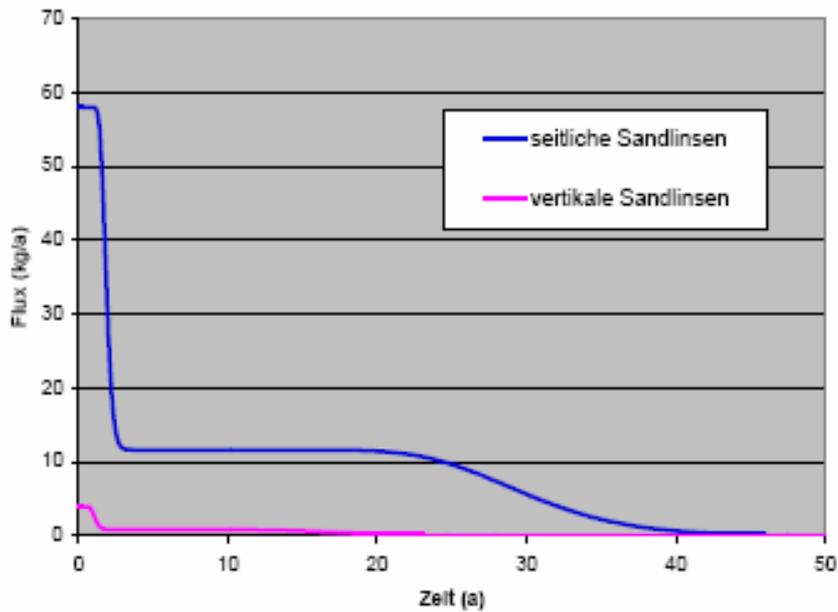
Anhang 3.4b: Auswaschung von 2-Methylanilin aus den Sandlinsen

Berechnete Auswaschraten von 2-Methylanilin aus den Sandlinsen

Standardszenario



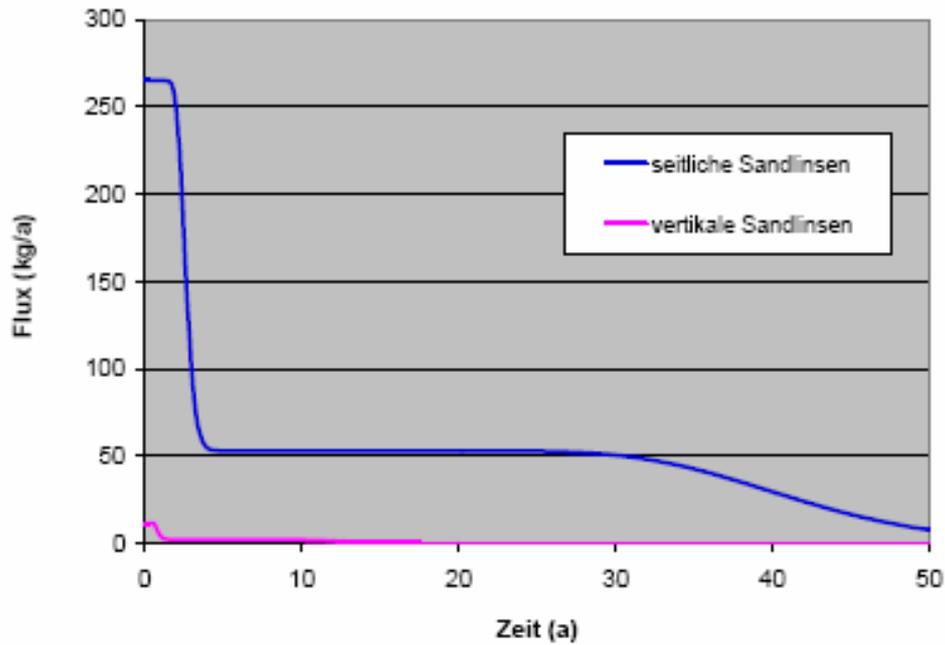
Schwache Sorption und vermehrte Exfiltrationen



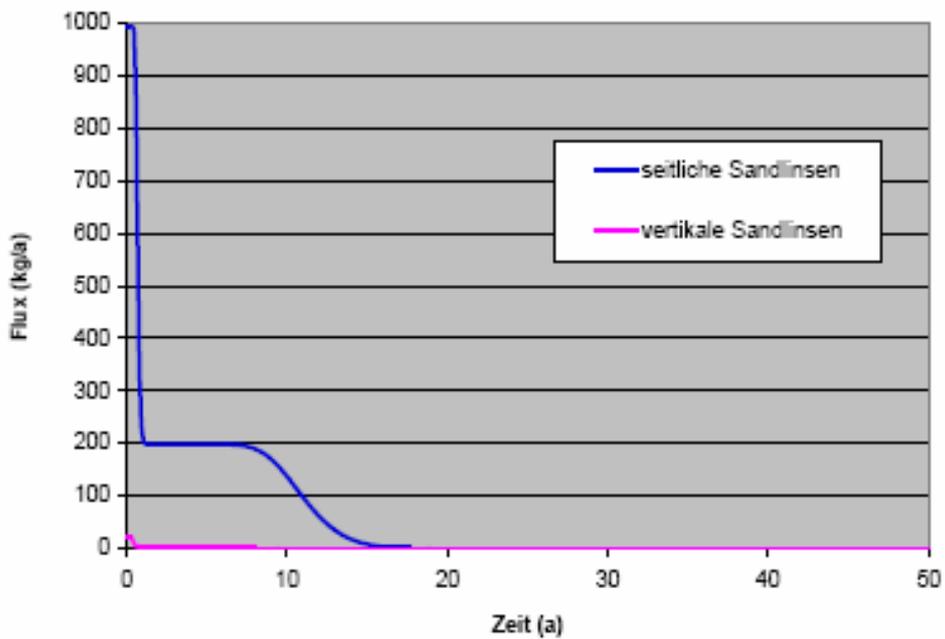
Anhang 3.4c: Auswaschung von Bromid aus den Sandlinsen

Berechnete Auswaschraten von Bromid aus den Sandlinsen

Standardszenario



Schwache Sorption und vermehrte Exfiltrationen



Anhang 3.4d: Auswaschung aus den Sandlinsen (Ergebnisse)

Schwache Sorption und vermehrte Exfiltrationen

Vergleich der aufgrund der Auswaschung aus den Sandlinsen geschätzten Konzentration im Grundwasser mit dem Sanierungsziel

Stoff	K-Wert* (µg/L)	Überschreitungsfaktor des Sanierungsziels	
		Sundgau SG 19b (Pfad b)	Sundgau Abstrom (Pfad c)
Anilin	50.0	8.6	10.7
2-Methylanilin	2.8	38.6	38.3
3-Methylanilin	3.5	1.4	1.4
Dichlormethan	20.0	1.5	2.2
1,1,2,2-Tetrachlorethan	1.0	3.1	3.8
Trichlorethen	70.0	0.1	0.1
Benzol	10.0	4.5	5.5
Dioxan	61.0	0.7	1.6
THF	88.0	0.9	2.0
Ammonium	500.0	3.0	2.9
Zink	5'000.0		
Bromid	-		

*Für Methylaniline, Dioxan und THF wird der Toxizitätswert anstelle des K-Wertes herangezogen

Anhang 3.4d: Auswaschung aus den Sandlinsen (Ergebnisse)

Schwache Sorption und vermehrte Exfiltrationen

Vergleich der aufgrund der Auswaschung aus den lateralen Sandlinsen geschätzten Konzentration im Grundwasser mit dem Sanierungsziel (Überschreitungsfaktoren für Pfad c) sowie hypothetische Stoffmengen, bei der das Sanierungsziel gerade noch erreicht wird (d.h., bei der sich via Pfad c ein Überschreitungsfaktor von 1.0 ergibt)

Stoff	K-Wert* (µg/L)	Überschreitungsfaktor des Sanierungsziels Sundgau Abstrom (Pfad c)		max. Stoffmenge bei der das (kg)
		Worst Case	Stoffmenge AG 23	
Anilin	50.0	10.7	0.2	189
2-Methylanilin	2.8	38.3	0.2	12
3-Methylanilin	3.5	1.4	0.1	12
Dichlormethan	20.0	2.2	0.2	71
1,1,2,2-Tetrachlorethe	1.0	3.8	0.0	4
Trichlorethen	70.0	0.1	0.0	265
Benzol	10.0	5.5	0.1	37
Dioxan	61.0	1.6	0.2	225
THF	88.0	2.0	0.2	318
Ammonium	500.0	2.9	0.1	2371
Zink	5'000.0			
Bromid	-			

Annexe 4

Valeurs calculées d'éluat selon l'OTD

Anhang 4: Berechnete TVA-Eluatwerte für das schwach belastete bzw. im Deponiesaum verbleibende Material

Aus den Feststoffgehalten aus Tabelle 5.2.1 und 5.2.2 berechnete Gehalte im Eluat nach TVA

Standardszenario

Stoff	AltIV	schwach belastetes Material	Deponiesaum
	K-Wert	Konz. Eluat nach TVA berechnet aus max. tolerierbarem Gehalt ⁽²⁾	Konz. Eluat nach TVA aus max. tolerierbarem mittlerem Gehalt im verblei- benden obersten Saum ⁽³⁾
	mg/L	mg/L	mg/L
Anilin	0.05	0.8	11.8
2-Methylanilin	0.0028 ⁽¹⁾	0.1	0.56
3-Methylanilin	0.0035 ⁽¹⁾	0.3	2.4
Dichlormethan	0.02	0.3	5.9
1,1,2,2-Tetrachlorethan	0.001	0.02	0.26
Trichlorethen	0.07	1.3	3.5
Benzol	0.01	0.2	2.5
Dioxan	0.061 ⁽¹⁾	0.6	18.0
THF	0.089 ⁽¹⁾	0.8	29.0
Ammonium	0.5	5.4	111
Zink	5	470	-
Bromid			-

⁽¹⁾ Für Methylaniline, Dioxan und THF wird der Toxizitätswert anstelle des K-Wertes herangezogen

⁽²⁾ So dass die Sanierungsziele in den Pfaden a, b und c eingehalten werden

⁽³⁾ Berechnete Gehalte für die obersten 0-10 cm des unteren Deponiebereichs (aktuell gesättigt) bzw. für die obersten 0-5 cm des oberen Deponiebereichs (aktuell ungesättigt)

- Kein Aushub des Deponiesaums nötig zum Erreichen der Sanierungsziele

Schwache Sorption und vermehrte Exfiltrationen

Stoff	AltIV	schwach belastetes Material	Deponiesaum
	K-Wert	Konz. Eluat nach TVA berechnet aus max. tolerierbarem Gehalt ⁽²⁾	Konz. Eluat nach TVA aus max. tolerierbarem mittlerem Gehalt im verblei- benden obersten Saum ⁽³⁾
	mg/L	mg/L	mg/L
Anilin	0.05	0.30	7.3
2-Methylanilin	0.0028 ⁽¹⁾	0.021	0.41
3-Methylanilin	0.0035(1)	0.086	1.72
Dichlormethan	0.02	0.10	3.62
1,1,2,2-Tetrachlorethan	0.001	0.006	0.19
Trichlorethen	0.07	0.45	16.9
LCKW			
Benzol	0.01	0.061	1.5
Dioxan	0.061 ⁽¹⁾	0.26	10.2
THF	0.089 ⁽¹⁾	0.37	16.3
Ammonium	0.5	2.3	65
Zink	5	379	-
Bromid			-

⁽¹⁾ Für Methylaniline, Dioxan und THF wird der Toxizitätswert anstelle des K-Wertes herangezogen

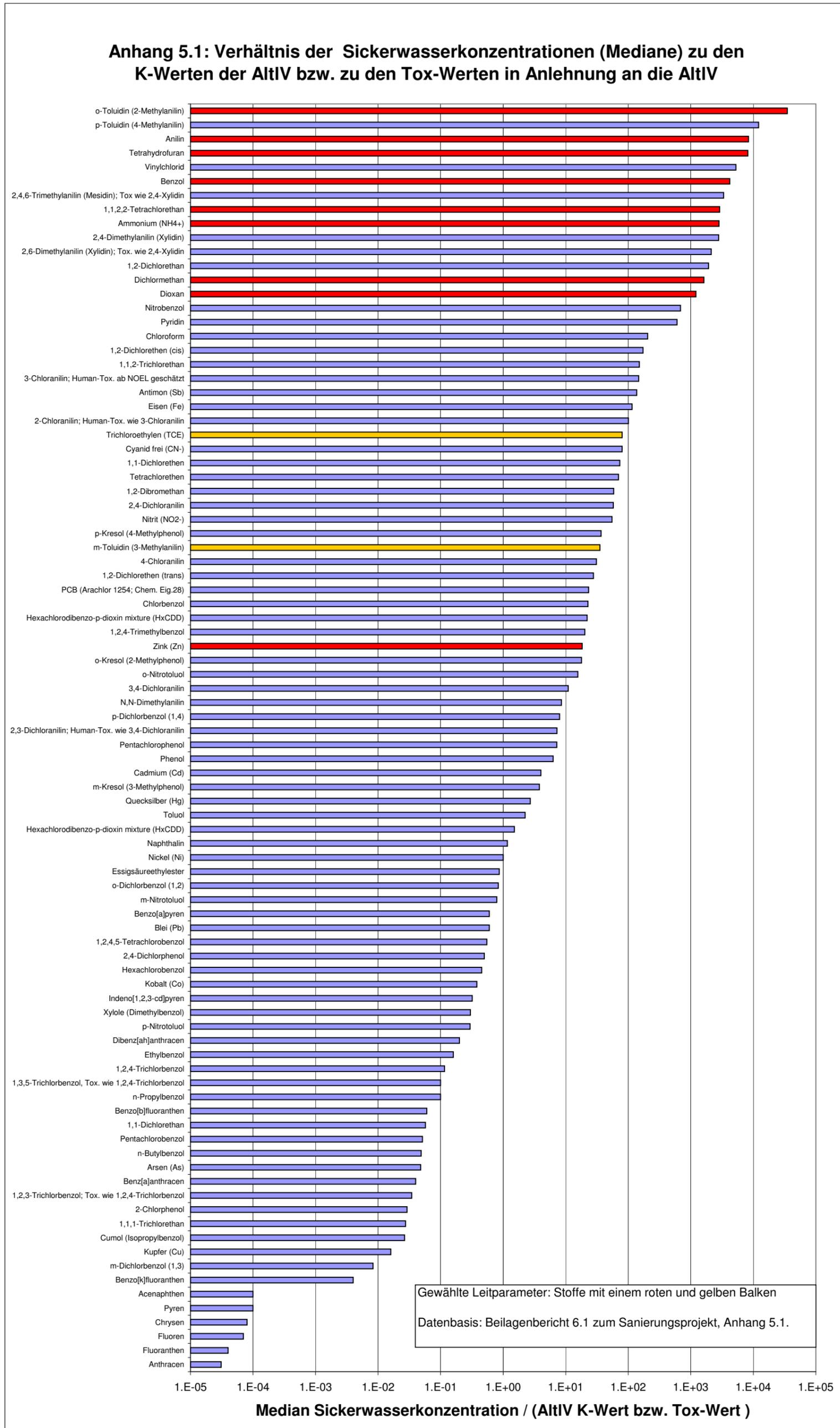
⁽²⁾ So dass die Sanierungsziele in den Pfaden a, b und c eingehalten werden

⁽³⁾ Berechnete Gehalte für die obersten 0-10 cm des unteren Deponiebereichs (aktuell gesättigt) bzw. für die obersten 0-5 cm des oberen Deponiebereichs (aktuell ungesättigt)

- Kein Aushub des Deponiesaums nötig zum Erreichen der Sanierungsziele

Annexe 5

Choix des polluants prioritaires



Anhang 5.2: Vergleich der Konzentrationen von Pflanzenschutzmittel im Sickerwasser der DIB mit hergeleiteten Pseudo Konzentrationen-Werten in Anlehnung an die AltIV (alle Werte in µg/l)

Bemerkungen	Pseudo K-Wert (µg/l)	SFo (1/mg/kg-d)	ADI/TDI (mg/kg-d)	Datenquelle	Gemessene Konzentration im Sickerwasser	Mittelwert		Ø Überschreitung des Pseudo K-Werts im Sickerwasser (=Mittelwert/Pseudo K-Wert)	
						16.02.2005	30.03.2000		
					Stoff				
B	525		0.015	2	Ametryn	µg/L	590	590	1.12
A		0.22	0.005	3	Atrazin	µg/L	<1	<1	
A*		0.22			Atrazin-Desethyl	µg/L	<1	<1	
A*		0.22			Atrazin-Desisopropyl	µg/L	<1	<1	
B**					Chlorbromuron	µg/L	<1	<1	
B	700		0.02	2	Chlortoluron	µg/L	1860	495	1177.5
B	525		0.015	2	Isoproturon	µg/L	270	270	0.51
B			0.005	2	Simazine	µg/L	<1	<1	
B			0.002	2	Terbutylazin	µg/L	<1	<1	
B			0.025	2	Terbutryn	µg/L	<1	<1	
A***		0.24			2,4-DDD	µg/L	<0.1	<0.1	
A***		3.4			2,4-DDE	µg/L	<0.1	<0.1	
A***		0.24			4,4-DDD	µg/L	<0.1	<0.1	
A***		3.4			4,4-DDE	µg/L	<0.1	<0.1	
A		0.081	0.0005	3	Alachlor	µg/L	<1	<1	
A		17	0.0001	3	Aldrin	µg/L	<0.1	<0.1	
B			0.006	1	alpha-Endosulfan	µg/L	<0.1	<0.1	
B			0.006	1	beta-Endosulfan	µg/L	<0.1	<0.1	
B			0.006	1	Endosulfan Sulfat	µg/L	<0.1	<0.1	
A		6.3	0.001	1	alpha-Lindan (HCH)	µg/L	<0.1	<0.1	
A		1.8	0.001	1	beta-Lindan	µg/L	<0.1	<0.1	
A****		6.3	0.001	1	delta-Lindan	µg/L	<0.1	<0.1	
A		1.3	0.001	1	gamma-Lindan	µg/L	<0.1	<0.1	
A		0.35	0.0005	3	cis-Chlordan	µg/L	<0.1	<0.1	
A		16	0.0001	3	Dieldrin	µg/L	<0.1	<0.1	
B			0.02	2	Dimeturon	µg/L	<1	<1	
B			0.007	2	Diuron	µg/L	<1	<1	
B			0.0002	3	Endrin	µg/L	<0.1	<0.1	
B			0.003	2	Linuron	µg/L	<1	<1	
B			0.003	2	Monolinuron	µg/L	<1	<1	
B			0.025	2	Metamitron	µg/L	<1	<1	
B			0.013	2	Metribuzin	µg/L	<1	<1	
B			0.22	2	Metsulfuron-Methyl	µg/L	<1	<1	
B			0.02	1	Pirimicarb	µg/L	<1	<1	
B			0.1	1	Procymidon	µg/L	<0.1	<0.1	
A		0.26	0.007	3	Qintozen (PCNB)	µg/L	<0.1	<0.1	
B			0.01	1	Vinclozolin	µg/L	<0.1	<0.1	

Kommentar

Pseudo K-Wert Abgeleitet aufgrund von validierten toxikologischen Daten (wie z.B. ADI-Werten, reference Dose, slope factor) analog dem bei der Herleitung von K-Werten in Anhang 1 AltIV angewandten Vorgehen bzw. Expositio
K-Wert oder Pseudo K-Wert überschritten

Quellen

- 1 World Health Organisation (WHO)
2 Deutsches Bundesamt für Risikobewertung (BfR)
3 ADI-List: Australian Government, Department of Health and Ageing, Office of Chemical Safety

A Krebserrregender Stoff: massgebend "Slope Factor" für die orale Aufnahme (SFo)

B Nicht-krebserrregender Stoff: massgebend "Allowable Daily Intake" (ADI) oder "Tolerable Daily Intake" (TDI)

* Berechnet aufgrund des "Slope Factor" für Atrazin

** Einzig gefundener Wert: 90-Tage NOEL für Hunde von 10.5 mg/kg-d

*** Es wurden keine separaten Werte für 2,4- und 4,4 DDE/DDD in der Literatur gefunden

**** Wert für alpha-Lindan wurde für delta-Lindan verwendet, für delta-Lindan wurde in der Literatur kein entsprechender Wert gefunden

SFo "Slope Factor" für die orale Aufnahme, alle Daten stammen aus den PRG-Tabellen der US-EPA